



# Klimafreundlicher Garten

Bewässerung von Hochbeeten

**BWGV**

**Volksbanken  
Raiffeisenbanken**

**ph** University of Education  
Pädagogische Hochschule  
**karlsruhe**

**GEWINN SPAREN**  
Immer ein Gewinn.

...Mein  
**Raiffeisen Markt**

Pädagogische Hochschule  
**HEIDELBERG**  
University of Education



**Baden-Württemberg**

# Impressum

## Herausgeber

Gewinnspaarverein 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](mailto:Anita.Bartolcic@vr-gewinnsparen.de)

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

## Projektpartner

Pädagogische Hochschule Heidelberg  
Keplerstraße 87, 69120 Heidelberg  
Telefon: 06221 477-0  
Text: Prof. Dr. Lissy Jäkel

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

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](http://oekomedia.com)

## Stand

© 09/2025

## Druck

CO<sub>2</sub>-kompensiert gedruckt auf 100 Prozent Recycling-  
Papier, das mit dem „Blauen Engel“ zertifiziert ist.

## Bildnachweis

Seite 1: © ÖkoMedia GmbH / KI generiert  
Seite 4 links: © Lukas Breusch  
Seite 4 rechts: © KD Busch  
Seite 5 links: © BWGV  
Seite 5 rechts: © Fine-Art-Pictures  
Seite 6: © Prof. Dr. Dorothee Benkowitz  
Seite 7: © Dorothee Benkowitz  
Seite 8: © Dorothee Benkowitz  
Seite 9: © Birgitta Goldschmidt  
Seite 10: © Dorothee Benkowitz  
Seite 11: © Dorothee Benkowitz  
Seite 12: © ÖkoMedia GmbH  
Seite 13: © Dorothee Benkowitz  
Seite 14: © Dorothee Benkowitz  
Seite 15: © Dorothee Benkowitz  
Seite 16 alle: © Dorothee Benkowitz  
Seite 17 unten: © Lissy Jäkel  
Seite 18 alle: © Lissy Jäkel  
Seite 19: © Lissy Jäkel  
Seite 20: © Lissy Jäkel  
Seite 21: SDGs: © United Nations  
Seite 22: © Lissy Jäkel  
Seite 23: © PH HD  
Seite 24: © Dorothee Benkowitz  
Seite 26 links: © ÖkoMedia GmbH  
Seite 26 rechts: © Dorothee Benkowitz  
Seite 27 alle: © Lissy Jäkel  
Seite 28 alle: © Lissy Jäkel  
Seite 30 alle: © Lissy Jäkel  
Seite 31: © logos2012 / stock.adobe.com  
Seite 32 alle: © Lissy Jäkel  
Seite 33: © Lissy Jäkel  
Seite 34 links: © Lissy Jäkel / ÖkoMedia  
Seite 34 rechts: © Lissy Jäkel



# Inhaltsverzeichnis

|    |  |
|----|--|
| 4  | <b>1. Grußworte</b>  |
| 6  | <b>2. Klimapotenzial im Garten</b>   |
| 7  | 2.1 Pflanzen binden CO <sub>2</sub> : Kohlenstoffspeicherung                       |
| 8  | 2.2 Kompost statt Müll: Klimafreundlich Düngen                                     |
| 10 | 2.3 Weniger Hitze: Temperaturregulierung   |
| 10 | 2.4 Lebensraum schaffen und optimal nutzen – Permakultur                           |
| 13 | <b>3. Ökosystem Schulgarten – Natur erleben, Klima schützen, Zukunft gestalten</b> |
| 14 | 3.1 Ökonomische Dimension – Versorgungsleistungen                                  |
| 16 | 3.2 Ökologische Dimension – Regulationsleistungen                                  |
| 18 | 3.3 Soziale Dimension – Soziokulturelle Leistung                                   |
| 20 | <b>4. Ressource Wasser als kostbares Gut</b>                                       |
| 22 | <b>5. Gewässer- und Wasserqualität</b>   |
| 25 | <b>6. Bedürfnisse von Pflanzen an Mineralstoffen</b>                               |
| 26 | 6.1 Bio-geochemische Stoffströme – was ist das?                                    |
| 27 | 6.2 Schauen wir genauer auf chemische Elemente, zunächst Stickstoff                |
| 28 | 6.3 Kalium, Calcium und Co.  |
| 29 | 6.4 Schwefel   |
| 30 | 6.5 Eisen und Phosphat   |
| 31 | 6.6 Magnesium hat eine zentrale Stellung   |
| 32 | <b>7. Bedürfnisse verschiedener Pflanzen an Wasser</b>                             |
| 33 | 7.1 Warum brauchen Wurzeln Luft zum Atmen?   |
| 33 | 7.2 Warum darf man die Baumrinde nicht beschädigen?                                |
| 34 | <b>8. Konkretes Beispiel erfolgreicher computergesteuerter Bewässerung</b>         |
| 35 | <b>9. Hinweise zu Unterrichts- und Begleitmaterial</b>                             |



# 1. Grußworte



Im Kabinettsausschuss Ländlicher Raum unterstützen wir dieses erfolgreiche Projekt, mit dem frühzeitig das Bewusstsein für gesunde Ernährung, regionale Produkte und ökologische Zusammenhänge gefördert wird.

Hier wird der Garten als ganzheitlicher Lebensraum betrachtet. Alles, was in unseren Gärten kriecht, krabbelt, fliegt oder wächst, trägt zur Biodiversität bei. Die Schülerinnen und Schüler erleben unsere vielfältige heimische Tier- und Pflanzenwelt und lernen nebenbei deren zahlreiche Leistungen für ein intaktes Ökosystem kennen.

Der neue Baustein fügt sich passend in die bestehenden Angebote ein und sorgt dafür, dass auch in Ferienzeiten eine Bewässerung der Beete gewährleistet ist. Der umfassende Ansatz des Projekts Garten<sup>3</sup> unterstreicht das vielfältige Potenzial des Gartens und macht zudem deutlich: Wasser ist ein kostbares Gut. So wachsen junge Menschen heran, die einen direkten Bezug zu regionalen Produkten und Erzeugnissen aus unseren heimischen Gärten haben.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Peter Hauk'.

**Peter Hauk MdL**  
**Minister für Ernährung,**  
**Ländlichen Raum und**  
**Verbraucherschutz**  
**Baden-Württemberg**



Ein klimafreundlicher Garten ist ein Lernort mit Zukunft. Im Schulalltag werden durch ihn Themen wie nachhaltige Bewässerung, der verantwortungsvolle Umgang mit Ressourcen und der Schutz der biologischen Vielfalt praktisch erfahrbar.

Die Initiative „Garten<sup>3</sup>“ macht Klimaschutz greifbar – direkt vor Ort, mit Kopf, Herz und Hand. Ich danke allen Beteiligten herzlich für Ihr Engagement und ermutige Sie, die vielfältigen Materialien und Anregungen aktiv zu nutzen. Bringen wir gemeinsam mehr Naturerfahrung, Umweltbewusstsein und Zukunftskompetenz in unsere Schulen. Denn Bildung für nachhaltige Entwicklung beginnt genau hier – im eigenen Schulgarten.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Th. Schopper'.

**Theresa Schopper**  
**Ministerin für Kultus,**  
**Jugend und Sport**  
**Baden-Württemberg**





Das großartige Projekt Garten<sup>3</sup> hat Schülerinnen und Schülern bereits gezeigt, wie einfach man regionale Produkte anbauen und verwenden kann. Zu einer vollumfänglichen und nachhaltigen Bildung gehört aber auch, sich darüber Gedanken zu machen, was es langfristig für unsere heimische Biodiversität braucht – ein zentraler Faktor ist hier das Thema Wasser.

Das intelligente Bewässerungssystem ermöglicht es, einerseits die Pflege der Hochbeete zu erleichtern, aber auch bewusst Wasser einzusparen. Dies zeigt den Schülerinnen und Schülern den respektvollen und schonenden Umgang mit der lebenswichtigen Ressource Wasser, die für unsere heimische Natur unabdingbar ist. So wird Natur- und Artenschutz durch einen weiteren Baustein für die Kinder aktiv erlebbar

und führt sie zu mehr Nachhaltigkeit und Verantwortungsbewusstsein.

Genau diese Werte mit dem Prinzip der Hilfe zur Selbsthilfe sind auch das Fundament unserer Genossenschaften. Voller Überzeugung unterstützen wir als Baden-Württembergischer Genossenschaftsverband gemeinsam mit den Volksbanken und Raiffeisenbanken im Land, den Raiffeisen-Märkten sowie dem Gewinnsparsverein der Volksbanken und Raiffeisenbanken Baden-Württemberg das beeindruckende Projekt „Bewässerung von Hochbeeten“, das genau diese Werte vermitteln soll.

Ich bedanke mich herzlich bei allen Beteiligten und wünsche allen Schülerinnen und Schülern viel Freude beim Lernen.

**Dr. Ulrich Theileis**  
Präsident des Baden-Württembergischen Genossenschaftsverbandes e. V.



Nachhaltigkeit beginnt dort, wo junge Menschen erfahren, dass ihr Handeln etwas bewirken kann – im Schulgarten, im Klassenzimmer oder darüber hinaus. Das Bildungsprojekt Garten<sup>3</sup> macht genau das möglich: Seit 2018 bringen die bewährten Hochbeete praktische Umweltbildung und Bildung nachhaltige Entwicklung an Schulen. Jetzt werden sie durch ein intelligentes Bewässerungssystem ergänzt – eine durchdachte Weiterentwicklung, die Wasser spart, die Pflege erleichtert und Klimaschutz ganz konkret erlebbar macht.

Ein herzliches Dankeschön gilt allen beteiligten Ministerien, Hochschulen und Partnern, die dieses Projekt mit Fachwissen und Engagement unterstützen – gemeinsam gestalten wir eine zukunftsfähige Bildungskultur.

**Jürgen Rehm**  
Mitglied des Vorstandes Gewinnsparsverein der Volksbanken und Raiffeisenbanken in Baden-Württemberg e. V.

## 2. Klimapotenzial im Garten

Die Folgen des Klimawandels sind weltweit spürbar und nicht mehr zu übersehen. Hitzewellen, Dürren, Starkregenereignisse und der Verlust der Artenvielfalt sind nur einige Anzeichen dafür, wie sehr sich unser Klima bereits verändert hat. Vor allem junge Menschen fragen sich, wie sich der Klimawandel langfristig auf ihr Leben auswirken wird – auf ihre Gesundheit, ihre beruflichen Perspektiven und ihre Umwelt.

Gerade in der Schule ist es daher wichtig, Räume zu schaffen, in denen Kinder und Jugendliche lernen, wie sie aktiv zum Klimaschutz beitragen können. Im Schulgarten wird Resilienz gefördert, einmal was das Klima und seine Veränderung angeht, aber auch was den praktischen Umgang mit Pflanzen angeht.

Der Schulgarten wird zum Lernort, an dem klimafreundliches Gärtnern und die damit verbundenen Herausforderungen ganz praktisch erfahren werden können. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln ein Bewusstsein dafür, wie wichtig der schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen ist – und wie jeder Einzelne zum Schutz des Klimas beitragen kann (Abbildung 1). Dies stärkt die Selbstkompetenz,

die elementar für erwartbares Handeln ist. Ein Schulgarten besitzt ein beachtliches Klimapotenzial – nicht im Sinne einer großflächigen CO<sub>2</sub>-Kompensation, wie es zum Beispiel Wälder leisten, sondern als vielfältiger Bildungsort und beispielhafter Klimaschutzraum mit messbarer Wirkung im Kleinen. Ein klimafitter Schulgarten sollte daher gezielt mit entsprechenden Elementen ausgestattet und klimaschonend bearbeitet werden. Die Förderung der Biodiversität im Schulgarten unterstützt vielfältige Lebensräume für Insekten, Vögel und Kleintiere, und stärkt so die ökologische Resilienz (Abbildung 2). Der Schulgarten wird so nicht nur Ort der Wissensvermittlung, sondern leistet einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz – mit nachhaltiger Wirkung.



Abbildung 1: Gewächshaus und Hochbeete im Schulgarten



Abbildung 2: Vielgestaltige Insektennisthilfe



## 2.1 Pflanzen binden CO<sub>2</sub>: Kohlenstoffspeicherung

Pflanzen nehmen während ihres Wachstums CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre auf und speichern den Kohlenstoff in ihrer Biomasse – sowohl im lebenden Gewebe als auch im abgestorbenen Material. Das hilft, die Klimaerwärmung zu bremsen. Besonders effektiv sind daher Strukturen im Garten, die über einen längeren Zeitraum bestehen bleiben. So leistet jeder Strauch, jede Staude, jeder Baum und jede Humusschicht einen kleinen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Bindung. Besonders langlebige Strukturen wie Gehölze, Hecken oder Totholz speichern Kohlenstoff über Jahre hinweg. Beim langsamen Zerfall des Holzes durch Pilze, Bakterien und weitere Zersetzer werden zersetzte Stoffe wieder dem Boden zugeführt. Ein Totholzhaufen speichert zudem Feuchtigkeit, bietet Lebensraum für Insekten, Amphibien und Reptilien und trägt zur Regulierung des Mikroklimas bei – gerade in heißen Sommern hilfreich für viele Arten (Abbildung 3).

Aber auch der Boden kann CO<sub>2</sub> speichern. Der sogenannte Dauerhumus im Beet kann Kohlenstoff über Jahre speichern und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Bindung. Dauerhumus entsteht durch schonende Bodenbearbeitung: Mulchen, also das Bedecken des Bodens mit Pflanzenmaterial, schützt vor Austrocknung und Erosion und fördert gleichzeitig die Humusbildung. Eine möglichst schonende Bodenbearbeitung trägt dazu bei, die Bodenstruktur zu erhalten und die im Boden gespeicherten Kohlenstoffverbindungen nicht unnötig freizusetzen. Der Boden im Beet wird daher nicht umgegraben, sondern höchstens gelockert (Goldschmidt, 2023).

Das Anlegen eines Komposthaufens kann ebenfalls zur Bodenverbesserung beitragen. Pflanzenreste werden auf dem Kompost gesammelt, wo sie abgebaut und zu Humuserde werden, die wieder auf das Beet aufgebracht werden kann: Direkt erlebtes, beobachtbares Naturrecycling als Element für das Verständnis späterer ökologischer Modellbildung im Zusammenhang von Nahrungsketten, Nahrungsnetzen und Stoffkreisläufen. **(Material M1-A1 – Kreislauf)**

Je mehr organisches Material sich in einem Boden befindet, umso vielfältiger ist die dort lebende Fauna. Besonders die Bodentiere haben eine wichtige Funktion: Sie sind am Abbau und der Zersetzung organischer Abfälle beteiligt, sie bilden die für das Pflanzenwachstum so wichtigen Ton-Humus-Komplexe, sie sorgen für die Durchmischung und Lockerung des Bodens und bereiten ihn so für das Wachstum der unterirdischen optimal Pflanzenteile vor. Ohne Bodenlebewesen würde die Verrottung der Pflanzenabfälle viel länger dauern, die natürlichen Stoffkreisläufe würden nicht funktionieren. Schonende Bodenbearbeitung ist daher notwendig, um dieses Gleichgewicht nicht zu stören. Warum sollten Lebewesen, die in 20 cm Tiefe leben, an die Oberfläche gebracht werden, und umgekehrt. Um Bodentiere genauer zu bestimmen, gibt es sehr hilfreiche Bestimmungskarten, zum Beispiel die Bodentierkartei der Uni Münster (<https://hypersoil.uni-muenster.de/1/05.htm>). Hier findet man zudem umfangreiches Unterrichtsmaterial rund ums Thema Boden.



Abbildung 3: Ein Totholzhaufen speichert CO<sub>2</sub> über viele Jahre hinweg, ernährt viele Zersetzer und bietet Nistmöglichkeiten und Schutz für viele Arten.



## 2.2 Kompost statt Müll: Klimafreundlich Düngen

Pflanzenreste und Schnittabfälle werden im Schulgarten kompostiert statt weggeworfen. So entsteht weniger Abfall, die Deponien werden entlastet und neue Erde entsteht – gut fürs Klima! Um den Boden fruchtbar zu halten, spielt die richtige Düngung eine wichtige Rolle. Durch Ernten werden dem Boden wichtige Mineralstoffe entnommen, die man mit der richtigen Düngung dem Boden wieder zurückgibt und ihn für die nächste Pflanzung vorbereitet. Der Dünger versorgt die wachsenden Pflanzen mit wichtigen Mineralstoffen und fördert zugleich den Humusaufbau. Dies ist ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz, denn humusreiche Böden speichern nicht nur Wasser, sondern auch Kohlenstoff in Form von Dauerhumus.

In vielen Schulgärten wird ein Kompost angelegt. Die Größe wird nach der Fläche des Nutzgartens berechnet. Bei ausreichend vorhandenem Platz ist eine Kompostmiete die beste Lösung. Sie lässt sich leicht aufschichten und ermöglicht ein bequemes Umsetzen des Komposts. Die Miete wird dreieckig geformt und kann in ihrer Länge beliebig erweitert werden. Eine fertige Kompostmiete sollte mit Stroh oder Rasenschnitt abgedeckt oder bepflanzt werden, um Austrocknen oder Nitratauswaschungen durch Starkregen zu verhindern. Günstig ist das Anlegen von drei Mieten, damit der frische Pflanzenschnitt und der ruhende Kompost bzw. die fertige Komposterde

nicht vermischt werden (Abbildung 4). Die einzelnen Komposthaufen sollten immer wieder umgeschichtet werden, um die Verrottung zu beschleunigen und Schimmelbildung zu verhindern. Die Fläche, auf denen die Komposthaufen sind, sollte nie zweimal hintereinander mit Kompost belegt werden. Für einen neuen Kompost sollte idealerweise auch eine neue Fläche genutzt werden.

Außer der Düngung mit Kompost, kann auf weitere bewährte und einfach herzustellende Düngemittel zurückgegriffen werden, zum Beispiel die Brennnesseljauche. Dafür werden zerkleinerte Brennnesseln, mit Wurzeln, in Wasser ansetzt und einige Tage stehen gelassen. Dabei entsteht durch Gärung eine düngerreiche Flüssigkeit, die besonders stickstoffliebenden Pflanzen zugutekommt. Fast alle Pflanzenreste aus dem Schulgarten eignen sich zur Herstellung solcher Jauchen. Sogar eventuell enthaltene Krankheitserreger werden bei der sogenannten Fäulnisgärung unschädlich gemacht. Allerdings entsteht dabei ein sehr intensiver Geruch. Deshalb sollte der Behälter an einem schattigen und möglichst abgelegenen Ort aufgestellt und abgedeckt werden. Vorsicht: Bei der Erstellung von Pflanzenjauche können Ammoniak und evtl. Schwefelwasserstoff entstehen. Wer den Geruch vermeiden möchte, kann alternativ einen Kaltaufguss zubereiten. Die Pflanzenteile werden für etwa 24 Stun-



Abbildung 4: Aufbau des Komposts in drei Kompostmieten, mit Kürbis überwachsen, um das Austrocknen zu verhindern.

den wie bei der Teezubereitung in kaltes Wasser eingeweicht. Die Flüssigkeit kann anschließend gesiebt, verdünnt und als Dünger im Beet verteilt werden. Wichtig ist hierbei, genau wie im Gartenbau und in der Landwirtschaft, der Ausbringungszeitraum. Da die Jauche Nitrat enthält, das schädlich fürs Grundwasser sein kann, sollte der Boden weder zu trocken noch zu feucht sein. Ebenfalls spielt die Wetterlage eine entscheidende Rolle. Bei aufziehendem Regen droht Auswaschung. Auch das Stadium der Pflanze ist zu berücksichtigen, zum Beispiel hinsichtlich des aktuellen Nährstoffbedarfs, sonst droht eine Überdüngung, die ebenfalls wieder zur Auswaschung führen kann.

**(Material M2 – Jauche)**

**Tipp:**

Werden die festen Bestandteile aus der fertigen Jauche gesiebt, können diese entweder auf den Kompost gegeben oder als Mulch im Beet eingearbeitet werden.

Ein weiterer Bestandteil klimafreundlicher Bodendüngung ist Pflanzenkohle. Man kann sie fertig kaufen oder selbst herstellen. Industriell produzierte Pflanzenkohle wird in einem energieintensiven Prozess hergestellt, bei dem oft nicht klar ist, welche Biomasse dafür verwendet wurde. Lange Transportwege, fehlende Kreislaufwirtschaft, Verpackung in Plastik verschlechtern die ökologische Bilanz erheblich. Daher sollte beim Kauf genau auf die Anbieter geachtet werden. Bei der Nutzung im Schulgarten kann man aber auch selbst aktiv werden. Durch die Oberflächenstruktur kann die Kohle das fünffache ihres Gewichts an Wasser mit den darin gelösten Mineralstoffen aufnehmen (Ertl-Marko, 2019). Die Pflanzenkohle speichert viel Kohlenstoff, da Kohlenstoff durch Einarbeiten im Boden gebunden wird und so einen positiven Effekt für die Treibhausgasemission und das Weltklima haben kann.

Über das Jahr werden zum Beispiel Äste und Zapfen im Schulgarten gesammelt und getrocknet, um sie im Erd-Kon-Tiki zu verkohlen. Pflanzenkohle wird durch Pyrolyse (Verkohlung) im speziellen Ofen oder im selbst gegrabenen Erdloch hergestellt. Dabei wird pflanzliches Material, zum Beispiel trockene Äste, in einer extra dazu angelegten, konischen 30–50 cm tiefen Erdloch, dem sog. Erd-Kon-Tiki, zu Kohle verbrannt. Vorsicht: Nicht zu Asche verbrennen lassen! Der Haufen sollte dabei von oben nach unten verkohlen, am besten rauchlos glühen. Es werden immer



Abbildung 5: Kochen auf der noch heißen Pflanzenkohle

wieder neue Äste aufgelegt, sobald auf der oberen Schicht weiße Asche in der Glut sichtbar wird. Alle paar Minuten werden Äste nachgelegt. Zum Schluss wird alles mit Wasser abgelöscht und auskühlen gelassen – es entsteht Aktivkohle. **(Material M1-A3 – Pflanzenkohle).**

Die Pflanzkohle kann zur Bodenverbesserung direkt in den Boden eingearbeitet werden – etwa 1 kg pro qm, oder bei starkzehrenden Nutzpflanzen, zum Beispiel Kartoffeln oder Kohl, direkt in die Aussaatrille gegeben werden (Ertl-Marko, 2019).

Um die entstehende Hitze zu nutzen, kann auf der Glut gekocht werden. Mit einem Dreibein kann ein Topf über die Glut gehängt werden, um die eigene Ernte zu verkochen. Dies verdeutlicht das Prinzip des Ressourcen schonenden Umgangs mit Energie.

Mischt man diese Pflanzenkohle mit Kompost oder Jauche, kann sie als sog. Terra Preta in die Beete eingearbeitet werden. Dadurch wird nicht nur der Boden nachhaltig verbessert, sondern auch ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft geleistet. Das Verkohlen von Pflanzen lohnt sich aber nur, wenn eine ausreichende Menge an trockenem Holz vorhanden ist. Sonst stehen Aufwand und Ertrag in keinem guten Verhältnis. **(Materialien M1-A4 und M1-A5 – Terra preta)**

Die ökologische Bilanz von Terra Preta hängt stark davon ab, wie die Pflanzenkohle hergestellt wird.



## 2.3 Weniger Hitze: Temperaturregulierung

Das Anpflanzen von Bäumen und Sträuchern trägt zur Beschattung bei und senkt so die Umgebungstemperatur, insbesondere auf versiegelten Flächen. Pflanzen geben Wasser an die Luft ab und wirken damit kühlend auf das Mikroklima – besonders an heißen Sommertagen ein spürbarer und messbarer Effekt (Abbildung 6). **(Material M1-A6 – Können Pflanzen das Klima beeinflussen?)**



Abbildung 6: Pflanzen senken die Umgebungstemperatur

## 2.4 Lebensraum schaffen und optimal nutzen – Permakultur

Permakultur ist ein ganzheitliches Gestaltungsprinzip zur Schaffung nachhaltiger, resilienter und klimafreundlicher Lebensräume. Der Begriff „Permakultur“ setzt sich aus den Wörtern „permanent“ und „agriculture“ zusammen. Das Konzept wurde in den 1970er Jahren von Bill Mollison und David Holmgren entwickelt. Zielsetzung war, die Landwirtschaft nach dem Vorbild natürlicher Ökosysteme zu gestalten. Diese Anbaumethode eignet sich vor allem für die Selbstversorgung mit Obst und Gemüse. Die Versorgung mit kohlenhydratreichen Grundnahrungsmitteln wie z. B. Getreide ist in einem solchen System kaum möglich. Permakultur steht für die Planung und Pflege von Ökosystemen, die nachhaltig, kreislaforientiert und klimastabil sind – nach dem Vorbild der Natur (Gastl, 2021). Der Garten wird dabei in Zonen unterteilt, die unterschiedliche Funktionen erfüllen.

So wird beispielsweise auf der Homepage des Hortus das Drei-Zonen-Modell vorgeschlagen (<https://www.hortus-insectorum.de/die-drei-zonen/>):

- **A Pufferzone** – Eine artenreiche Hecke aus heimischen Sträuchern schützt den Hortus vor äußeren Einflüssen und bietet Raum, um Energieüberschüsse naturnah und biodiversitätsschonend zwischen- oder endzulagern.
- **B Hotspot Zone** – Magere Böden schaffen die Grundlage für die Vielfalt heimischer Blumen und Kräuter. Sie bieten Lebensraum für zahlreiche Insektenarten, die wiederum eine zentrale Nahrungsquelle für viele andere Tiere bilden.

- **C Ertragszone** – Auf den humosen Böden dieser Zone wird Gemüse angebaut. Die Bodenqualität wird kontinuierlich durch die Zugabe organischen Materials verbessert – Material, das zuvor in Zone B anfiel und dort zur Förderung der Artenvielfalt entfernt werden muss.

Permakultur beruht auf drei ethischen Grundprinzipien: Sorge für die Erde (earth care), Sorge für die Menschen (people care) und gerechtes Teilen und Begrenzen des Konsums (fair share).

Daraus hat David Holmgren folgende Prinzipien abgeleitet, die sich im Schulgarten handlungsorientiert vermitteln und umsetzen lassen:

1. Beobachte und interagiere
2. Sammle und speichere Energie
3. Erziele eine Ernte
4. Nutze Selbstregulierung und akzeptiere Feedback
5. Nutze erneuerbare Ressourcen und Leistungen
6. Produziere keinen Abfall
7. Gestalte vom Muster zum Detail
8. Integriere statt abzugrenzen
9. Nutze kleine und langsame Lösungen
10. Nutze und schätze Vielfalt
11. Nutze Randzonen und schätze Marginales
12. Reagiere kreativ auf Veränderung





Abbildung 7: Kartoffelturm mit Stangenbohnen und Kapuzinerkresse: Auf kleine Raum werden möglichst viele Kultursorten angebaut, die sich gegenseitig im Wachstum fördern beziehungsweise nicht behindern

Der Anbau von eigenem Gemüse im Schulgarten reduziert, wenn auch im Kleinen, Transportwege und Verpackungsmüll. Das spart Energie und CO<sub>2</sub>. Das kann als Grundlage für Diskussionen für die Begriffe Regionalität und Saisonalität genutzt werden. Werden bereits im Garten vorhandenen Materialien genutzt, hilft dies zusätzlich, Ressourcen zu schonen – zum Beispiel Rankhilfen aus Zweigen selbst herstellen, reparieren, statt neu kaufen. Die sechs grundlegenden Prinzipien für einen Permakultur-Garten umfassen Vielfalt, Schönheit, Nachhaltigkeit, Kreislauf, Nutzen und Kreativität. Viele praktische Tipps und Ideen zum Thema findet man auf der Internetseite <https://www.hortus-insectorum.de>.

Um möglichst Räume optimal zu nutzen, kann zum Beispiel ein Kartoffelturm oder Salatturm angelegt werden (Hellinger & Benkowitz, 2023). Während im Turm innen Kartoffeln wachsen, werden oben drauf Kapuzinerkresse gepflanzt, die von Bohnenranken vor Wind und Sonne geschützt werden (Abbildung 7).

Die Schülerinnen und Schüler können ihren eigenen Schulgarten untersuchen und bewerten, ob und wo bereits Prinzipien der Permakultur umgesetzt werden und wo kleine oder größere Aktivitäten den Beitrag steigern könnten (**Materialien M1-A6, M1-A7, M1-A8 – Kartographen gesucht, Checkliste Permakultur, Verbesserung**).

Im Kontext eines Schulgartens bietet Permakultur wertvolle Ansätze, um ökologische, soziale und pädagogische Ziele miteinander zu verbinden und konkrete Beiträge zum Klimaschutz zu leisten.

Ein Schulgarten kann somit ein kleiner Helfer gegen den Klimawandel sein!







# 3. Ökosystem Schulgarten – Natur erleben, Klima schützen, Zukunft gestalten

Der Schulgarten ist in vielerlei Hinsicht ein besonderer Ort: Er ist Rückzugsraum, Experimentierfeld, Lernort, Naturraum und sozialer Treffpunkt zugleich. Vor allem aber ist er ein Ort, an dem Ökosystemleistungen – also die „Dienstleistungen“, die die Natur für den Menschen erbringt, konkret erlebt und begriffen werden können.

In einer Zeit, in der ökologische und klimatische Krisen immer spürbarer werden, zeigt der Schulgarten eindrucksvoll, wie eng unsere Lebensqualität mit der Gesundheit von Boden, Pflanzen, Tieren und Klima verbunden ist.

Ein funktionierender Schulgarten ist ein kleines, aber komplexes Ökosystem. Er besteht aus einer Vielzahl von Strukturen: Gemüsebeete, Obstbäume, Hecken, Blumenwiesen, Komposthaufen, Wasserstellen, Totholzhecken – all diese Elemente bilden ein Netzwerk, das auf natürlichen Kreisläufen basiert (Benkowitz & Köhler, 2019). Ein solches Netzwerk erbringt eine Vielzahl von Leistungen, die nicht nur der Natur, sondern auch dem Menschen zugutekommen. Diese sogenannten Ökosystemleistungen stehen inhaltlich im engen Zusammenhang mit dem menschlichen Wohlbefinden und der Lebensqualität und stützen sich auf die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit. Die Bereitstellung von natürlichen Ressourcen (Versorgungsleistungen), die Regulierung ökologischer Prozesse oder Faktoren (Regulationsleistungen) und die Förderung kultureller und sozialer Werte (soziokulturelle Leistungen). Der Mensch zieht aus den ökonomischen und soziokulturellen Leistungen häufig direkten – materiellen oder immateriellen – Nutzen. Ökologische Leistungen hingegen wirken meist indirekt und bleiben im Alltag oft unsichtbar, obwohl sie die essenzielle Grundlage für wirtschaftlichen, gesundheitlichen und psychischen Nutzen bilden. Angesichts des

Klimawandels und dem Verlust der Biodiversität verdient die ökologische Leistung besondere Aufmerksamkeit (Grunewald und Bastian, 2018).

Je vielfältiger und naturnäher ein Garten gestaltet ist, desto stabiler und resilienter ist dieses System (Abbildung 8).

Im Schulgarten lassen sich die verschiedenen Ökosystemleistungen nicht nur theoretisch beschreiben, sondern ganz konkret erleben. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie sich die einzelnen Leistungen im Schulalltag umsetzen lassen.



Abbildung 8: Vielfältige Strukturen im Schulgarten



## 3.1 Ökonomische Dimension – Versorgungsleistungen

### Anbau von Nutzpflanzen

Der Schulgarten bietet eine Fülle an natürlichen Ressourcen, die unmittelbar genutzt und erlebt werden können. Zu den sogenannten Versorgungsleistungen zählt in erster Linie die Lebensmittelproduktion. Obst, Gemüse und Kräuter aus den eigenen Beeten vermitteln auf anschauliche Weise, wie Nahrungsmittel wachsen, welche Pflege sie benötigen und wie schmackhaft und wertvoll frische, saisonale Produkte sind. Saisonale Produkte wie Erdbeeren im Frühsommer und Kürbisse im Herbst zeigen, wie stark regionale Ernährung mit natürlichen Anbauzyklen verknüpft ist. Gleichzeitig begreifen die Lernenden, dass Lebensmittel keine Selbstverständlichkeit sind und nicht einfach im Supermarktregal entstehen. Der Eigenanbau vermittelt ein realistisches Bild davon, wie viel Arbeit, Zeit und natürliche Ressourcen für unser Essen nötig werden. Der Weg „vom Beet auf den Teller“ fördert nicht nur das Ernährungsbewusstsein und ein reflektiertes Konsumverhalten, sondern stärkt auch das Verständnis für nachhaltige Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion. Das anschau-



Abbildung 9: Weltacker in Berlin: Im Beet sind alle Pflanzen angepflanzt, die für ein Früchte-Müsli mit Sojamilch benötigt werden.

liche Verstehen der benötigten Flächen zeigen die Weltacker-Initiativen: <https://www.2000m2.eu/de/>. Das Thema bietet gute Gesprächsanlässe über nachhaltige Nutzung von Flächen und Nahrungsmittelverschwendung. Die Schülerinnen und Schüler können eigene Beet anlegen, in denen sie ihre Lieblingssessen anpflanzen (Abbildung 9).

Der Schulgarten kann die Mensa oder Schulkantine beliefern oder durch eigene Ernteprodukte aus dem Garten bereichern. Kresse als Brotbelag ist jederzeit leicht zu ziehen und bringt viel Vitamine auf das Schulbrot. Aktionen wie „Pflanz’ dir dein Schulbrot“ zeigen Möglichkeiten der Selbstversorgung auf (<https://www.ima-agrar.de/wissen/unterrichtsbausteine/270-pflanz-dir-dein-schulbrot>).

### Wasserressource

Durch das Sammeln von Regenwasser in Tonnen und den Einsatz von wassersparenden Gießtechniken erfahren die Schülerinnen und Schüler ganz konkret, dass Wasser eine kostbare und begrenzte Ressource ist, die im Schulgarten mit Bedacht eingesetzt werden muss.

Nicht alle Pflanzen benötigen gleich viel Wasser zum Wachsen. Einen guten Überblick hierzu gibt die Hochschule Geisenheim: Hier wurde für viele Nutzpflanzen der genaue Wasserbedarf in verschiedenen Wachstumsphasen berechnet ([https://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/redaktion/FORSCHUNG/Institut\\_fuer\\_Gemuesebau/Ueberblick\\_Institut\\_fuer\\_Gemuesebau/Geisenheimer\\_Steuerung/kc-Werte\\_FAO\\_Grasreferenzverdunstung\\_2022.pdf](https://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/redaktion/FORSCHUNG/Institut_fuer_Gemuesebau/Ueberblick_Institut_fuer_Gemuesebau/Geisenheimer_Steuerung/kc-Werte_FAO_Grasreferenzverdunstung_2022.pdf)).

Für die Schule sind die Berechnungen zu komplex. Dennoch können die Schülerinnen und Schüler mit einfachen Methoden messen, wie viel Regen auf ihr Beet fällt. Das gibt einen guten Überblick über die tatsächliche Regenmenge, auch während der Zeit, in der sie nicht im Garten sind. Hierzu können sie einfache Regenmesser bauen und vergleichen. Sie können Niederschlagskurven anlegen und diese miteinander vergleichen. Werden diese Kurven über die Jahre gesammelt, kann der Klimawandel direkt sichtbar und erfahrbar gemacht werden. Zusätzlich können die Regenmengen in den unterschiedlichen Gartenbereichen verglichen werden – unter Bäumen, auf der Wiese, neben Hecken (**Material M1-A9 – Regenmesser**).



Praktische Methoden wie das regelmäßige Hacken und Mulchen zur Verdunstungsreduktion zeigen, wie mit einfachen Mitteln Wasser gezielt und effizient gespart werden kann. Auf diese Weise wird nicht nur der Wasserbedarf reduziert, sondern Wasser als Ressource geschont. Dies ist ein wesentlicher Beitrag zur Anpassung an die zunehmenden Trockenheitsphasen.

Eine weitere Möglichkeit ist das Bewässern mit einer Olla, einem Tongefäß, mit dem Wasser gespart werden kann, da die Pflanzen gezielt bewässert werden. Diese einfache Methode stammt aus uralten Kulturen und erlebt heute ein Comeback: Unglasierte Tongefäße, sogenannte Ollas, wurden bereits in den Gärten vergangener Zivilisationen von China bis Südamerika eingesetzt – und sie bewähren sich bis heute (Abbildung 10)

Der Einsatz ist denkbar einfach: Die Olla wird zwischen den Pflanzen im Beet, Gemüsegarten oder Pflanzkasten in die Erde eingegraben und mit Wasser befüllt. Die Pflanzenwurzeln entnehmen über die poröse Wand des Gefäßes genau so viel Wasser, wie sie benötigen. Sobald die Erde ausreichend feucht ist, stoppt der Wasserfluss automatisch. Je nach Wasserbedarf der Pflanzen genügt es, das Gefäß nur ein- bis zweimal pro Woche nachzufüllen – und dabei bis zu 70 Prozent Wasser im Garten sparen. Eine Olla bewässert je nach Bodenart und Feuchtigkeit einen Umkreis von etwa 50 cm – ganz ohne Schlauch, Strom oder App. Die Schülerinnen und Schüler können einfach eine Olla selbst anfertigen und die Effektivität untersuchen (**Materialien M1-A10 und M1-A11 – Ollas bauen und testen**).



Abbildung 10: Ollas werden zur Bewässerung eines Hochbeets eingesetzt.



## 3.2 Ökologische Dimension – Regulationsleistungen

### Verbesserung der Luftqualität

Pflanzen spielen eine zentrale Rolle bei der Reinigung unserer Luft: Sie filtern Schadstoffe aus der Luft, binden Feinstaub in ihren Blättern und produzieren lebenswichtigen Sauerstoff. Gerade in städtischen Gebieten, in denen Luftverschmutzung ein zunehmendes Problem darstellt, wirkt die Bepflanzung des Schulgartens wie eine grüne Lunge. Die Schülerinnen und Schüler erleben diese Funktion unmittelbar – etwa wenn sie an heißen Tagen unter schattigen Bäumen sitzen oder nach einem Regen den frischen Duft der Natur wahrnehmen. Diese Erfahrung fördert ein tieferes Verständnis für die Bedeutung von Stadtgrün und die Rolle von Pflanzen für unser Klima.

### Bestäubung

Im Schulgarten werden die Zusammenhänge zwischen Bestäubung, Artenvielfalt und Ernährung unmittelbar sichtbar: Obstbäume tragen nur dann reichlich Früchte, wenn genügend bestäubende Insekten aktiv waren. Wildbienen, Hummeln, Schmetterlinge, Käfer und andere Bestäuber finden in einem naturnahen Garten Pollen, Nektar, Nistplätze und Rückzugsmöglichkeiten (Abbildung 11).



Abbildung 11: Eine Gartenhumme (*Bombus hortorum*) frisst Pollen einer Brombeerblüte (*Rubus fruticosus*) und wird dabei mit Pollen eingestäubt, den sie zur nächsten Blüte weiterträgt.

Bestäuber sichern nicht nur den Ertrag im Schulgarten, sondern die Ernährung der Menschheit insgesamt – ein Drittel unserer Nahrung hängt direkt von ihrer Bestäubungsleistung ab. Der Schulgarten veranschaulicht diese abstrakten Zahlen und vermittelt gleichzeitig Wertschätzung für oft übersehene Tiergruppen. Diese Erfahrung stärkt das Bewusstsein für die Bedeutung der Biodiversität und den Wert natürlicher Prozesse (**Material M1-A12 – Pflanzen-Reporter im Einsatz**).

### Wasserreinigung und -speicherung

Ein naturnah gestalteter Schulgarten besitzt meist wenig oder gar keine versiegelten Flächen. Regenwasser kann somit direkt in den Boden einsickern, anstatt ungenutzt in die Kanalisation abzufließen. Entsiegelte Flächen fördern zudem die Regenwasserversickerung bei Starkregen und entlasten städtische Abwassersysteme. Wird das Regenwasser im Garten gesammelt und genutzt, sinkt der Verbrauch von frischem Leitungswasser (Abbildung 12). Durch die Versickerung wird das Wasser gefiltert, Schadstoffe werden durch Bodenorganismen abgebaut und das Grundwasser wird angereichert. Gleichzeitig sorgen



Abbildung 12: Regentonne zu Sammeln von Regenwasser – Voraussetzung: Es regnet überhaupt!



Pflanzenwurzeln dafür, dass der Boden stabil bleibt und vor Erosion geschützt ist. Der Garten wirkt somit wie ein natürlicher Wasserspeicher und -reiniger, der auch in Zeiten zunehmender Trockenheit und Starkregenereignisse eine große Bedeutung haben kann. Der Schulgarten bietet ideale Voraussetzungen, um den natürlichen Wasserkreislauf zu beobachten. Durch Kompostierung, Humusaufbau und Mulchen wird die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens gesteigert – ein wichtiger Aspekt in Zeiten zunehmender Trockenheit.

### **Intakte Biodiversität – Grundlage aller Leistungen**

Alle genannten Ökosystemleistungen hängen entscheidend von einer hohen biologischen Vielfalt ab. Pflanzenvielfalt fördert tierische Vielfalt, die wiederum für Bestäubung, Schädlingsregulierung und Bodenfruchtbarkeit sorgen. Mikroorganismen im Boden zersetzen organisches Material und machen Mineralstoffe verfügbar. Je vielfältiger das Leben im Garten, desto stabiler ist das System – und desto widerstandsfähiger gegen Störungen wie Trockenheit oder Schädlingsbefall. Biodiversität ist keine Nebensache, sondern das tragende Fundament aller ökologischen Prozesse. Ein artenreicher Schulgarten ist daher ein aktiver Beitrag zum Erhalt von Lebensräumen in Zeiten des Artensterbens.



Abbildung 13: Ein artenreicher Schulgarten ist ein aktiver Beitrag zum Erhalt von Lebensräumen.

### 3.3 Soziale Dimension – Soziokulturelle Leistung

Diese Leistung umfasst das Miteinander, das persönliche Wohlbefinden und gesellschaftliches Lernen.

#### **Bildung und Verantwortung – ein lebendiger Lernort**

All diese Prozesse – Luftreinigung, Wasserspeicherung, Bestäubung, CO<sub>2</sub>-Bindung, Artenvielfalt – können im Schulgarten nicht nur beobachtet, sondern praktisch erfahren und mitgestaltet werden. So wird der Garten zu einem Ort der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE), der die ökologischen, ökonomischen und sozialen Zusammenhänge begreifbar macht. Die Schülerinnen und Schüler übernehmen Verantwortung, treffen Entscheidungen, arbeiten im Team, erleben Erfolg und Misserfolg – und entwickeln dabei nicht nur fachliche, sondern auch personale und soziale Kompetenzen. Der Schulgarten wird damit zu einem unverzichtbaren Lern- und Erfahrungsraum, der Wissen, Handeln und Haltung miteinander verbindet und die persönliche Gesundheit fördert (Retzlaff-Fürst & Pollin, 2022).

Der Garten vermittelt ein Gefühl von Wirksamkeit: „Ich kann etwas tun – für die Umwelt, für andere, für mich selbst“. Diese Erfahrungen, die eng mit dem praktischen Arbeiten verknüpft sind, sorgen für die Erfahrung der Selbstwirksamkeit des eigenen Tuns.

**Fazit:** Ein gut geplanter und genutzter Schulgarten bietet vielfältige Ökosystemleistungen: Er reinigt Luft und Wasser, speichert Kohlenstoff, liefert gesunde Nahrungsmittel, schützt die Biodiversität und wirkt sich positiv auf das Mikroklima und die eigene Gesundheit aus. Darüber hinaus hat er einen unschätzbaren Wert als Lernort, der Kinder und Jugendliche auf dem Weg zu einem nachhaltigen und verantwortungsbewussten Leben begleitet. In einer Zeit globaler ökologischer Krisen ist der Schulgarten damit mehr als ein pädagogisches Instrument – er ist ein Ort gelebter Zukunftsfähigkeit.



Abbildung 14: Lernstation der BUGA 2019



Abbildung 15: Zuckertest





# 4. Ressource Wasser als kostbares Gut

Sicherer Zugang zu sauberem Wasser ist ein Menschenrecht. Über zwei Milliarden Menschen weltweit haben derzeit keinen Zugang zu geeigneter Trinkwasserversorgung, insbesondere Menschen mit geringem Einkommen oder ohne Einkommen.

Auch viele Mitglieder unserer Gesellschaft beschäftigen sich mit der Frage nach der Verfügbarkeit von genießbarem Wasser. So stellte der Deutsche Naturschutztag 2024 Überlegungen ins Zentrum der Expertendiskussionen, inwiefern das Wasserangebot in unserem Land für das Überleben der Natur und vielfältiger menschlicher Trinkwasser-Nutzung ausreiche. In mehreren Regionen Deutschlands ist die mehrjährige Trockenheit bereits jetzt ein gravierendes Problem, so im Berliner Raum oder in Sachsen-Anhalt, zeigen unter anderem Statistiken des Bundesumweltamtes (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/extremereignisse/klimawandel/trockenheit-in-deutschland-fragen-antworten#trockenheit-aktuelle-situation>).



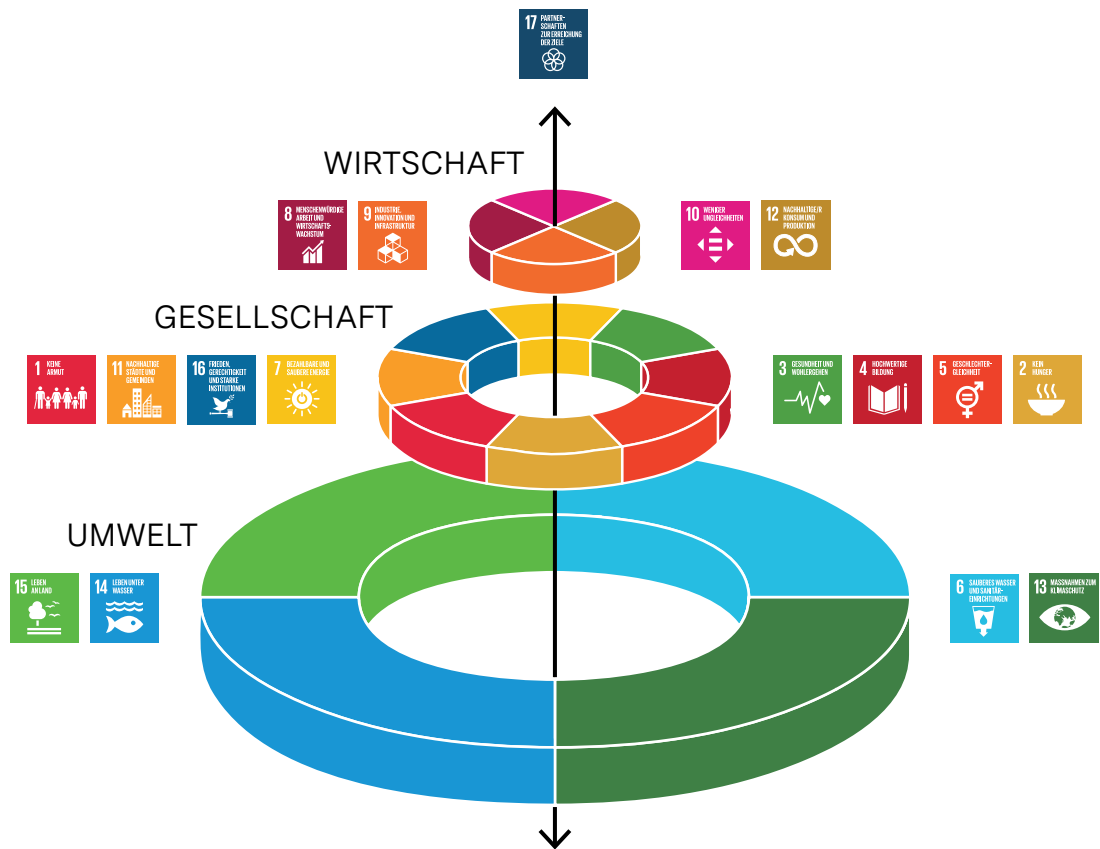
Abbildung 16: Mit starken Nagezähnen kann der Biber Gehölze fällen und Gewässer renaturieren.

Gärtnerinnen und Gärtner und bereits viele Kinder wissen, wieviel Arbeit das sommerliche Gießen machen kann – sofern man denn in der glücklichen Lage ist, genügend Wasser zur Bewässerung der Pflanzen zur Verfügung zu haben. Starkwetterereignisse wiederum, deren Häufigkeiten mit dem Klimawandel zunehmen, können wertvollen Boden wegspülen oder Land überschwemmen. Auch über den eigenen Garten hinaus sorgt man sich um sauberes Trinkwasser für alle Menschen oder um Veränderungen von ganzen Ökosystemen in trockeneren Regionen. Auch Tiere sind auf Zugang zum Wasser angewiesen, von Honigbienen bis zu Lurchen oder Vögeln. Der Biber trägt mit seinen Zähnen dazu bei, Flüsse umzuleiten, Wasser aufzustauen und Fließgeschwindigkeiten zu minimieren. So entstehen immer wieder neue Feuchtbiotope. Je nach Örtlichkeit ist das praktisch oder eine starke Herausforderung für Gesellschaft und Landwirtschaft.

Die Renaturierung von Mooren kann wie die Aufforstung von Regenwäldern zur nachhaltigen Verbesserung der Wasser- und Temperatursituation beitragen.

Die Qualität des Wassers, das Leben an Land und im Wasser sowie der Klimaschutz sind die vier international vereinbarten Nachhaltigkeitsziele (SDGs), welche die Grundlage der Umsetzung aller anderen anspruchsvollen sozialen oder wirtschaftlichen Ziele der Nachhaltigkeit bilden. Diese Erkenntnis bündelten Folke et al. (2016) im sogenannten Hochzeitstortenmodell der BNE (Vergleiche Abbildung 17).





## ZIELE FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG



Abbildung 17: Das Hochzeitstortenmodell der BNE gewichtet die SDGs, das Wasser und die Biodiversität bilden die Basis

# 5. Gewässer- und Wasserqualität

Die Einbeziehung der Qualität des Wassers ist in vielen bildungsplan-relevanten Zusammenhängen sinnvoll. Politische Bildung und Entscheidungen innerhalb der EU sind ebenso von Bedeutung im Kontext Wasserqualität wie die Gesundheit von Ökosystemen oder auch von Menschen.

Chemische und mathematische Zusammenhänge sind verflochten mit Fragen der Biologie. Konkrete Unterrichtsvorschläge für den Umgang mit Hochbeeten, deren Bepflanzung, Bewässerung und Düngung nach entsprechender Diagnostik des Bodens, ergänzen das Begreifen globaler Zusammenhänge. Aus bereits jetzt wasserarmen Gebieten (zum Beispiel Marokko) können wir lernen, wie das Wasser gezielt und sparsam zu Bewässerung gärtnerischer oder landwirtschaftlicher Kulturen eingesetzt werden kann. So können beispielsweise kleine Erdwälle um die Pflanzen beim gezielten Gießen mit dem kostbaren Wasser helfen (Abbildung 18).

Kompetenzen im Bedienen computergestützter Bewässerungssysteme sind im Schulgarten hilfreich, um Wasser effizient einzusetzen. Manche Schulen haben damit bereits gute Erfahrungen gemacht. Automatische Bewässerung erleichtert beim Schulgärtnern wesentlich die Arbeit. Auch der Schulgarten auf der Bundesgartenschau in Mannheim 2023 auf der heißen Spinelli-Fläche hätte ohne automatisierte Bewässerung der Hochbeete mit Schläuchen nicht überlebt (Abbildung 19).



Abbildung 18: Effizienter Einsatz des kostbaren Wassers durch Erdwälle in Marokko





Abbildung 19: Auf den Hochbeeten des Schulgartens der BUGA 2023 wurde effizient und gezielt beregnet, mit Schläuchen und Minicomputer

Um Zusammenhänge zwischen Wasser und Lebensqualität geht es in diesem Baustein und den Begleitmaterialien (**Material M1-A2 bis M1-A9**). Im Leitfaden Demokratiebildung zum Bildungsplan Baden-Württemberg sind die globale Gerechtigkeit, das „Menschenrecht auf Wasser“ und die „Biodiversitätskonvention“ explizit benannt. Auch die „infrastrukturelle Erschließung und Verbreitung zivilisatorischer Erfin-

dungen“ (Badanlagen, Straßennetz) im Zuge der Romanisierung bietet Lernanlässe gemäß Bildungsplan, die Bedeutung von Flüssen und Wasserleitungen in den Fokus zu nehmen und dabei außerschulische Lernorte (zum Beispiel Wurmlinger Römerbad) auch zum historischen Lernen zu nutzen. Wer die Zukunft nachhaltig gestalten will, sollte aus den Erfahrungen der Menschheitsgeschichte lernen.







# 6. Bedürfnisse von Pflanzen an Mineralstoffen

COHNS Margarete kocht prima Cafe – kennen Sie diesen Merkspruch noch aus Ihrer Schulzeit? Die unterstrichenen Buchstaben stehen für die lebensnotwendigen chemischen Elemente Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Schwefel (S), Magnesium (Mg), Kalium (K), Phosphor (P), Calcium (Ca), und Eisen (Fe). Aber natürlich sind auch weitere Mineralstoffe für gesunde Pflanzen unverzichtbar.

Konzentrieren wir uns in diesem Baustein auf diese wenigen – für die Gewässergüte und das Pflanzenwachstum aber enorm wichtigen – chemischen Elemente und deren Verbindungen. Das ist relevant zum Bildungsplan – nicht nur – aber auch im Chemieunterricht ab Klasse 8 bei Stoffen und deren Eigenschaften. Wir eröffnen Kontexte des Verstehens der Gewässerqualität und ermöglichen persönliche assoziative Verbindungen, um Wissen zu vertiefen. Dies brauchen mündige Bürger für sinnvolle Entscheidungen. Selbst im Bildungsplan für Sonderpädagogik wird erwartet, dass die Schülerinnen und Schüler „lernen, sich auf der Erdoberfläche zu orientieren. ... geographische Basiskompetenzen ... können genutzt werden, um auch mit komplexeren Sachverhalten umzugehen und ... Entwicklungen zu erkennen. Das zunehmend umfassendere Weltbild ... sowie ... Wissen um Zusammenhänge zwischen Natur- und Kulturräumen schaffen die Voraussetzungen für ... persönliche Handlungskompetenz.“

[https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/BP2022BW\\_SOP\\_LERNEN\\_TEIL-C\\_GEO](https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/BP2022BW_SOP_LERNEN_TEIL-C_GEO)

Was haben eigene Kaufentscheidungen im Supermarkt mit der Qualität unserer Flüsse oder dem Weltklima zu tun? Welche politischen Entwicklungen in unserem Land oder der EU kann man verstehen oder unterstützen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken? Einfach sind die Antworten auf solche Fragen nicht.

Konkrete „Denkanstöße“ für die Einbeziehung des Schulumfeldes, des Schulgartens und der Hochbeete mit Bewässerungssystem liefert bereits ganz konkret der Bildungsplan:

„Wie versucht die [eigene] Schule, wetter- beziehungsweise klimabedingte Kreisläufe so zu vereinfachen und darzustellen, dass die Schülerinnen und Schüler komplexe Zusammenhänge verstehen? Welche Möglichkeiten nutzt die [eigene] Schule, um die Zusammenhänge von regionalen Wetterbedingungen in Bezug auf Landwirtschaft, Industrie, Tourismus erfahrbar zu machen? Wie thematisiert die Schule aktuelle Herausforderungen wie etwa den Klimawandel? Welche Formen der Mitwirkung initiiert dabei die Schule?“

[https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/BP2022BW\\_SOP\\_LERNEN\\_TEIL-C\\_GEO](https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/BP2022BW_SOP_LERNEN_TEIL-C_GEO)

Aber auch der Bildungsplan für Gymnasien im Fach Chemie in der überarbeiteten Fassung vom 25.3.2022 fordert, dass die Schülerinnen und Schüler „die Änderung der Stoffeigenschaften in Abhängigkeit von der Partikelgröße an einem Beispiel beschreiben (Nanopartikel, Verhältnis Oberfläche zu Volumen)“, dies kann exemplarisch an Bodeneigenschaften geübt werden (**Begleitmaterialien M2 bis M9**). MINT-Bildung erfolgt bei computergesteuerten Bewässerungsanlagen im Hochbeet immanent.

Der Bildungsplan benennt beispielsweise die Anforderung, „die Eigenschaften wässriger Lösungen (elektrische Leitfähigkeit, sauer, alkalisch, neutral) [zu] untersuchen und die Fachbegriffe sauer, alkalisch und neutral der pH-Skala zuordnen“ zu können.

<https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/CH.V2/IK/8-9-10/01/01>, Bildungspläne 2016 Gymnasium Chemie – Überarbeitete Fassung vom 25.03.2022 (V2) · 3. Standards für inhaltsbezogene Kompetenzen 3.2 Klassen 8/9/10 3.2.1 Stoff – Teilchen – Struktur – Eigenschaften

## 6.1 Bio-geochemische Stoffströme – was ist das?

Internationale Forschungsteams (Rockström et al. 2009; Steffen et al. 2015, Folke et al. 2016; Rockström et al. 2022) haben über Berechnungen zu konkreten planetaren Belastungsgrenzen zuerst 2009, dann 2015 und kürzlich 2022 aufgezeigt, wie wichtig die bio-geochemischen Stoff-Ströme unseres Erdballes sind (Abbildung 21). Dabei geht es vor allem um Verbindungen von Stickstoff (N) und Phosphor (P) im Wasser, also zum Beispiel um die Düngesalze Nitrat (Nitrat-Ion:  $\text{NO}_3^-$ ) und Phosphat (Phosphat-Ion  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Das Wort Nitrat taucht im Bildungsplan leider nicht auf, Stickstoff (N) aber schon. Einerseits sind diese Mineralstoffe unverzichtbar als Pflanzennährstoffe zum Übertragen von Energie, Synthetisieren von Kohlenhydraten und Eiweißen. Pflanzenstoffe – übermäßig ausgebracht, ausgewaschen aus dem Boden und in unser Grundwasser und die Flüsse gespült – sind sie aber janusköpfig. Hier fördern sie Algenwachstum im Sommer und dann viel Faulschlamm am Gewässergrund in der kalten Jahreszeit. Dank intensiver Bemühungen der Gesellschaft sowie der Landwirtschaft sind die Gewässer in Deutschland in den letzten Jahrzehnten deutlich sauberer geworden – im Rhein kann man gar wieder schwimmen. Dies liegt vor allem auch daran, dass gerade Phosphate und auch stickstoffhaltige Verbindungen aus Fäkalien aus Haus- und Industrieabwässern zwischenzeitlich nicht mehr in die Oberflächengewässer gelangen. Der Chemie-Professor Fath ist Autor des Buches „Rheines Wasser“.

Dieser Bericht vom Durchschwimmen des Rheines von der Quelle bis zur Mündung macht deutlich, dass in Deutschland auch weiterhin große Anstrengungen erforderlich sind, um die Flüsse sauberer zu machen und um die EU-Auflagen zum Nitratgehalt des Grundwassers zu erfüllen (Nitrat:  $\text{NO}_3^-$ ; Nitrit:  $\text{NO}_2^-$ ). Landwirtschaft und Gartenbau sind in diesem Prozess mit eingebunden und bringen ihr Fachwissen und ihre Expertise entsprechend ein. Genau dies kann exemplarisch am Hochbeet geübt werden, da die eigene Verantwortung auf einem selbst gepflegten Stück Erde erfahren werden kann. 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. Neben einer nicht bedarfsgerechten Düngung haben der jeweilige Witterungsverlauf, der Verkehr, atmosphärische Stickstoffeinträge aus Emissionen und natürlichen Prozessen sowie die Abwasserbehandlung einen Einfluss auf den Nitratgehalt des Wassers. Hinweis: Gülle ist eine Möglichkeit der Zuführung von Nährstoffen (Düngung).

Durch sinnvolles Düngen kann also der Nitratauswaschung entgegengewirkt werden, zum Beispiel mit Kompost oder sich langsam zersetzenden organischen Düngern, gegebenenfalls mit weniger löslichem Mineraldünger. Am schonendsten für die Umwelt ist jedoch die bedarfsgerechte Gabe der Nährstoffe.



Abbildung 20: Sauberes Wasser ist ein wertvolles Gut.

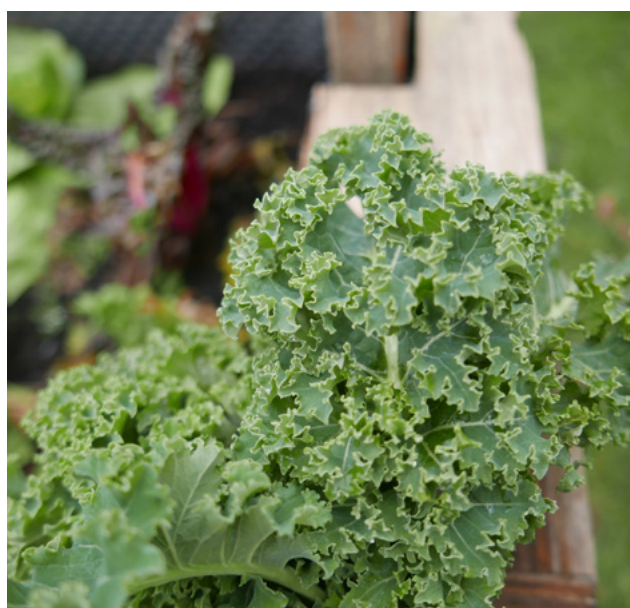


Abbildung 21: Grünkohl aus dem Hochbeet



## 6.2 Schauen wir genauer auf chemische Elemente, zunächst Stickstoff

Als Luftstickstoff  $N_2$  tangiert es Pflanzen und Menschen nicht, aber in chemisch gebundener Form, zum Beispiel Nitrat  $NO_3^-$ . Wie wirkt in Wasser gelöstes Nitrat? Als Pflanzendünger fördert es das Wachstum der grünen Pflanzen.

Nitrat  $NO_3^-$  selbst ist physiologisch kein Problem, kann aber (zum Beispiel durch Bakterien) in Nitrit  $NO_2^-$  umgewandelt werden und wirkt dann durchaus giftig, insbesondere auf den Sauerstofftransport des Hämoglobins. Laut Bundesamt für Risikobewertung können durch Verbindungen mit Nitrit  $NO_2^-$  auch krebserregende Stoffe entstehen. Nitrit findet man vor allem dann im Gewässer in zu hoher Konzentration, wenn dort kürzlich eiweißreiche Abwässer eingeleitet wurden, ist aber auch Bestandteil von Pökelsalz. Auch ein Teil des Nitrats im Essen wird durch Bakterien der Mundhöhle in Nitrit umgewandelt. Zu viel Nitrat beziehungsweise Nitrit ist insbesondere für Säuglinge gesundheitsgefährdend, weil ihnen die notwendigen Enzyme zur Rückumwandlung von Nitrit in Nitrat fehlen. Durch Bindung von Nitrit an Hämoglobin wird der Sauerstofftransport im Blut behindert. Dies kann für Säuglinge sehr gesundheitsgefährlich sein.

Quellen: [https://www.bfr.bund.de/cm/343/nitrit\\_in\\_spinat\\_und\\_anderen\\_lebensmitteln.pdf](https://www.bfr.bund.de/cm/343/nitrit_in_spinat_und_anderen_lebensmitteln.pdf):

Kurioserweise kann moderater Konsum von Nitrat (beispielsweise über Nitratmengen wie im Spinat) positive Effekte auf den Blutdruck haben durch Bildung von Stickstoffmonoxid  $NO$  im Körper, welches die Blutgefäße weiten kann.

Quelle: [https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/ruckstande\\_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html](https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/ruckstande_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html).

Auch wenn es möglicherweise im Körper positive Effekte geben sollte, sollte der Eintrag von Nitrat aus jeglicher Quelle vermieden werden, da dies zu Eutrophierung führt und somit zu vermehrtem Pflanzenwachstum, später totem Pflanzenmaterial im Winter, Faulschlammabbau und Sauerstoffzehrung durch Zersetzung toten organischen Materials). Wie der Nitratwert immer weiter ansteigt, kann man im Schulaquarium mit regelmäßig gefütterten Fischen gut austesten. Hier macht man deshalb etwa alle drei Wochen einen Teilwasserwechsel, um die Nitratgehalte wieder durch Frischwasser abzusenken. Die didaktischen Handreichungen bündeln dazu einige Schulversuche.



Abbildung 22: Nitrat-Test



Abbildung 23: Kalknachweis mit Säuretest: Beim Auftropfen von Salzsäure auf Kalkstein sprudelt Kohlendioxid.

## 6.3 Kalium, Calcium und Co.

Kalium und Calcium bitte nicht verwechseln! Kalium-Ionen sind einwertig, das Element steht in der ersten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente, Calcium dagegen (gern auch Kalzium geschrieben) 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 Prozent wasserlösliches Phosphat, 1,8 % Stickstoffverbindungen, aber nur 0,02 % wasserlösliche Eisenverbindungen und noch 0,01 % Manganverbindungen.

Spaltöffnungen sind sehr effiziente Gebilde, die zwar nur eine geringe Fläche des Blattes ausmachen, jedoch besser transpirieren als eine glatte Wasseroberfläche. Über die Spaltöffnungen verdunsten Pflanzen Wasser, befördern so den Saftstrom aus den Wurzeln, und nehmen zudem Kohlendioxid in das Blatt auf. Beides, Wasser und  $CO_2$ , sind Bedingungen der Photosynthese. Grund genug, sich am Beispiel der Spaltöffnungen mit der Rolle der Mineralstoffe zu befassen (Abbildung 24 und **Begleitmaterial M7 zu pflanzlichen Spaltöffnungen**).

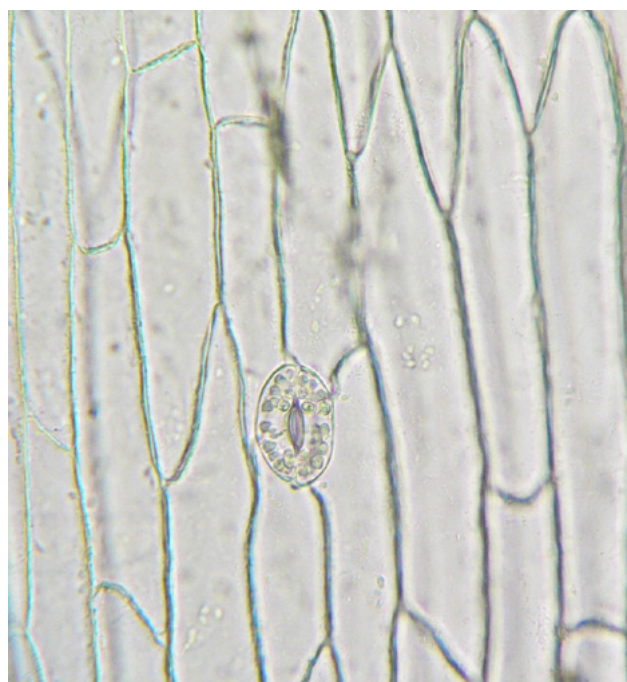


Abbildung 24: Spaltöffnung mit Schließzellen beim Chicorée

Schauen wir nun auf die chemischen Elemente Calcium und Magnesium. Sie können an Karbonat-Ionen ( $CO_3^{2-}$ ) gebunden sein und heißen dann Magnesium- bzw. Calciumkarbonat. Sie sind wesentliche Komponenten der Wasserhärte. Während wir im Haushalt an Waschbecken oder Elektrogeräten Kalk eher weniger mögen, sind Pflanzen natürlich auf dieses chemische Element ebenso angewiesen wie Tiere und Menschen. Bei Menschen unter anderem Säugetieren gibt es ohne Calciumionen weder eine Informationsübertragung an Synapsen der Nervenzellen, noch eine Muskelkontraktion und auch keine Substanz für Zähne oder Knochen. Bei Pflanzen sind auch Calciumionen unter anderem an der Regulation der Spaltöffnungen beteiligt (**Begleitmaterial M7 zu Spaltöffnungen**).



Abbildung 25: Calciumnachweis – ein einfacher Schulversuch, Calciumoxalat fällt als Trübung aus

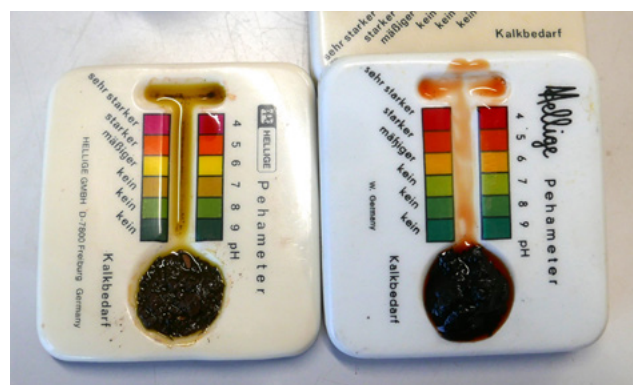


Abbildung 26: Bodentest mit pH-Meter – ein gängiges Testverfahren



Also wird im Boden der Hochbeete der Calciumbedarf diagnostiziert (Abbildung 25 und 26). Bereits dabei treffen die Beteiligten Entscheidungen mit Relevanz zur Nachhaltigkeit. Verwendet man das im Landbau bewährte Hellige-Boden-pH-Meter, oder einen Indikator wie Bromthymolblau in niedriger Konzentration oder weicht man auf den Bioindikator Rotkohlsaft aus. Wie immer im Kontext von Nachhaltigkeit gilt es abzuwägen zwischen der erforderlichen Exaktheit der Messung und der Notwendigkeit des Einsatzes ggf. gewässerschädigender Chemikalien (**Begleitmaterial – M9**).

„Ein gesunder Kalkzustand des Bodens bietet die Gewähr, dass Phosphor, Stickstoff- und Kalidünger ihre Wirkung voll entfalten“, heißt es im Beipackzettel des Hellige-pH-Meters. Und hier klingt die Komplexität der Wechselwirkungen verschiedener Bodenbestandteile an. Wir möchten vorschlagen, zunächst Beziehungen zu einzelnen Parametern der Mineralstoffe des Bodens aufzubauen und gemäß dem Klettenmodell der Begriffe nach Schäfer ein assoziatives Umfeld aufzubauen, bevor komplexe Wechselwirkungen thematisiert werden. Der Chemie-Phobie vieler Schulabgänger:innen könnte durch eine andere Art des Unterrichtens dann abgeholfen werden. Das bewährte Hellige pH-Meter (das ist ein international gebräuchlicher Eigenname) ist äußerst leicht zu bedienen, handlich und ideal darauf abgestimmt, dass der Boden eine dunkle Tönung aufweist. Ein Löffelchen der Bodenprobe aus 10 cm Tiefe vom Hochbeet 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 – wirklich sehr einfach. Das Produkt ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig (und lediglich wegen des geringen Gehaltes an Ethanol schwach wassergefährdend). Erforderliche Sicherheitsdatenblätter sind verfügbar, dies ist ja für die Planung des Biologie- und Chemieunterrichtes von Bedeutung (Sicherheitsdatenblatt gemäß 1907/2006/EG, Artikel 31) zum Beispiel bei [https://www.conrad.de/de/p/pronova-30002999-ph-meter-2986507.html?hk=WW1&utm\\_source=awin&utm\\_medium=cpo&utm\\_content=css&utm\\_campaign=1835804&awcreativeid=3411712&sv1=affiliate&sv\\_campaign\\_id=1835804&awc=11354\\_1739950565\\_2d4f3791630cf2b6ee07f824730a5380](https://www.conrad.de/de/p/pronova-30002999-ph-meter-2986507.html?hk=WW1&utm_source=awin&utm_medium=cpo&utm_content=css&utm_campaign=1835804&awcreativeid=3411712&sv1=affiliate&sv_campaign_id=1835804&awc=11354_1739950565_2d4f3791630cf2b6ee07f824730a5380)

Auch Wälder werden in Deutschland mit Kalk gedüngt. Dazu werden Hubschrauber eingesetzt, die an bedürftigen Waldgebieten Kalk ausstreuen.

Durch ein vertieftes Verständnis chemischer Zusammenhänge und bio-geochemischer Stoffströme werden einerseits von der Gesellschaft und den zuständigen Behörden eingeleitete erforderliche Maßnahmen zum Umweltschutz verständlicher. Andererseits werden bei persönlichen Entscheidungen im Alltag eigene Handlungsoptionen wahrscheinlicher, die in nachhaltige Richtung führen.

## 6.4 Schwefel

Für die Eiweißbildung ist die Schwefel-Assimilation 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 Fraßfeinden und Krankheitserregern,

also der Stressbewältigung der Pflanzen. Das chemische Element Schwefel jongliert auf einer sensiblen Waagschale für die Versorgung der Pflanzen, zu viel ist ebenso schädlich wie ein zu wenig Schwefel als Mineralstoffangebot, dazu mehr im **Begleitmaterial M6 – Was haben Radieschen mit Vulkanen zu tun?**

## 6.5 Eisen und Phosphat

„Eine jede Naturerscheinung, 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. ...“ Dieses Zitat von Justus von Liebig bringt einerseits eine fachdidaktische Position zum Ausdruck – ein Plädoyer für durchdachtes Experimentieren als hypothetisch-deduktive Problemlösung. Andererseits verdanken wir Liebig unter anderem die Erkenntnis des Minimum-Prinzips bei den Bodenparametern und die Theorie der mineralischen Düngung. Die kürzeste Daube (also die kürzeste Holzlatte des Fasses) bestimmt den Füllstand, Abbildung 28 mit den Dauben eines Fasses sowie **Begleitmaterial M2 zur mineralischen Düngung**.

In Pflanzen spielt Eisen eine wichtige Rolle, beispielsweise als Cofaktor beim fotosynthetischen Elektronentransport. Die Fotosynthese ist natürlich entschei-

dend die für das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen. Ferredoxin ist ein Beispiel für einen solchen Transporter von Ladungsträgern in dem Chloroplasten selbst, da steckt das Eisen schon im Namen. Wie man den Eisengehalt im Wasser reguliert und messen kann, das steht im **Begleitmaterial M2 und M3 zur mineralischen Düngung**. Dass Eisen als Zentralatom des Hämoglobins im Rahmen der menschlichen Ernährung eine Rolle spielt, dürfte zum Allgemeinwissen gehören.

Rötliche gelöste Eisenionen  $\text{Fe(II)}$  oder  $\text{Fe(III)}$  wiederum reagieren mit farblosen Phosphat-Ionen zu weißem Eisenphosphat. Im Klärwerk macht man sich dies zunutze, um den Phosphatgehalt im Abwasser zu reduzieren und die Eutrophierung von Gewässern zu verringern (Abbildung 28).

Denn ohne Phosphat keine DNA und RNA, kein ATP (energetisches Wechselgeld der Zelle), keine Coenzyme zum Transport gebundenen Wasserstoffs (NADP) etc. Auch für Phosphat gilt: zu viel überdüngt die Gewässer, zu wenig verhindert Blüten und Fruchtbildung, denn für diese Vermehrungsorgane der Pflanzen wird ja viel DNA synthetisiert.



Abbildung 27: Liebig benutzt das Bild eines Fasses für die Minimumregel der Düngung



Abbildung 28: Eisen(III)-chlorid fällt mit Phosphat-Ionen aus als weiße Trübung



## 6.6 Magnesium hat eine zentrale Stellung

Jede Verpackung von Pflanzendünger gibt Informationen zum Magnesium. Auch dies scheint ein wichtiger Mineralstoff zu sein. Er nimmt im wörtlichen Sinne eine zentrale Rolle ein. Denn Magnesium ist das Zentralatom des Chlorophylls, des grünen Blattfarbstoffs zur Lichtabsorption. Während im ähnlich gebauten Hämoglobin das Eisen die Rolle des Zentralatoms

einnimmt, ist für eine saftig grüne Blattfarbe also das Magnesium zentral. Vergilben die Blätter trotz ausreichender Wasserversorgung, kann man über einen Magnesiummangel nachdenken. Baustein **M3** befasst sich mit dem Gehalt organischer Dünger an bestimmten Mineralstoffen.

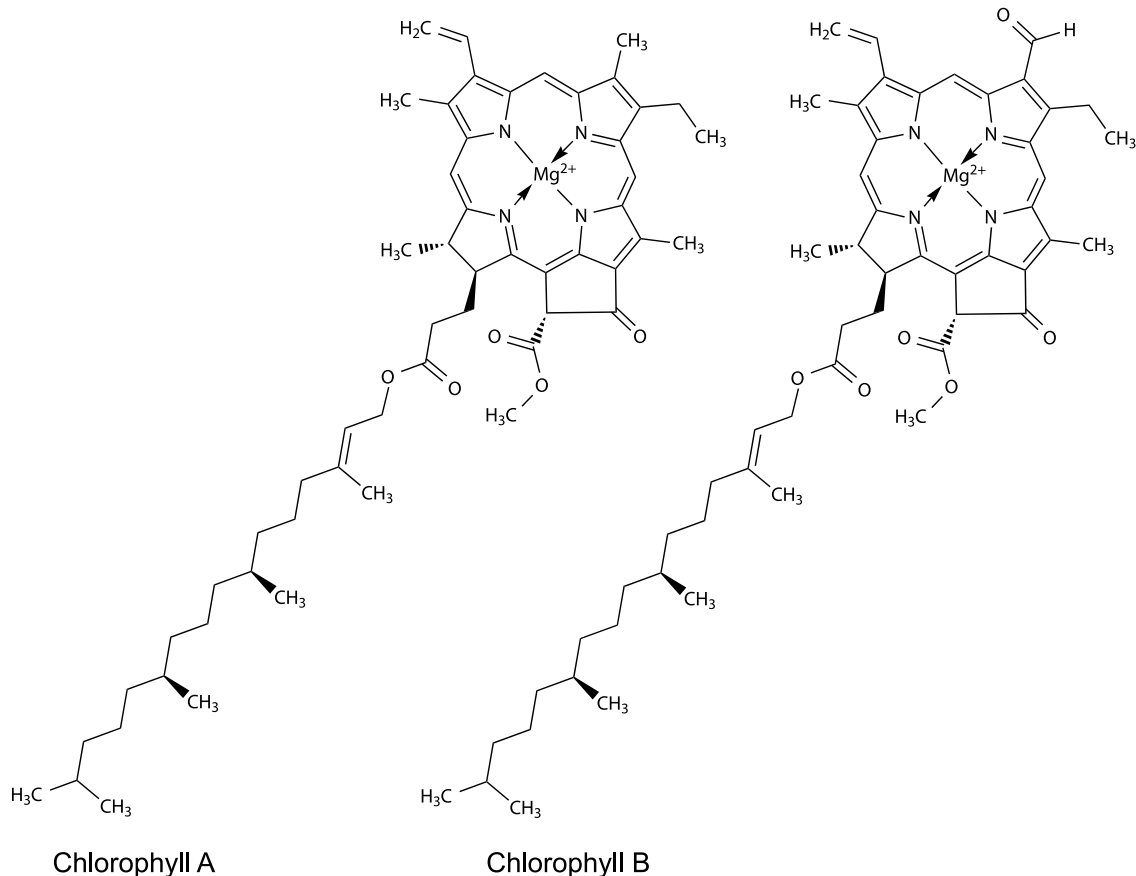


Abbildung 29: Formel vom Chlorophyll

# 7. Bedürfnisse verschiedener Pflanzen an Wasser

Verantwortlich handelnde Unternehmen müssen Teil der Transformation der Gesellschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit sein. So betonen Firmen, denen Nachhaltigkeit wichtig ist, dass sie sich auf wissenschaftliche Studien stützen, um durch die eigene Tätigkeit die schlimmsten Auswirkungen des klimatischen Wandels zu minimieren.

Verantwortliche Handelsunternehmen sind insbesondere über den Wasserverbrauch der Produktion ihrer Handelsware in den Anbauländern informiert und fördern dort grundwasserschonende Verfahren, zum Beispiel <https://sciencebasedtargets.org/>.

Im kleinen Maßstab kann man das an den Hochbeeten oder im Garten üben.

Richtiges Gießen soll die Pflanzen nicht verwöhnen, damit sie Wurzeln bis in tiefere Erdschichten bilden – das ist ein klassisches Gartenwissen. Kohl wurzelt fast einen Meter tief.

Beim Hochbeet ist das allerdings weniger relevant, da hier keine natürliche Bodenschichtung vorliegt, sondern jährlich Substrat aufgefüllt werden muss – torffrei natürlich.

Aber einige klassische Regeln gelten weiter:

- Bodenlockerung erleichtert das Eindringen des Gießwassers.
- Die beste Zeit zum Gießen ist der taufeuchte Morgen, nicht der sonnenhelle Mittag.
- Auf gemulchten Beeten verdunstet weniger Wasser (aber Schnecken können davon profitieren, absammeln!)
- Kleine Erdwälle um die Sprosse sind sinnvoll, es wird dicht am Stängel gegossen.
- Neupflanzungen und Saaten müssen konsequent täglich feucht gehalten werden.

Möglicher link: <https://www.meine-ernte.de/selbstversorgung/pflege-ernte/bewaesserung/>



Abbildung 30: Gießkannen vor einem Beet im Schulgarten



Abbildung 31: Angießen der Pflanzungen und Saaten im Hochbeet



## 7.1 Warum brauchen Wurzeln Luft zum Atmen?

Zellen der Wurzel müssen atmen! Warum? Damit die Pflanze nicht vertrocknet und Wasser aus dem Boden hochpumpen kann.

Gelegentlich werden im Stadtbild Bäume gefällt, nur die Wurzeln und die Basis des Stammes bleiben noch an Ort und Stelle. Ein paar Tage nach der Fällung ist die Schnittfläche tropfnass. Wie kommt das Wasser dort hin? Es wird durch die noch lebenden Zellen der Wurzel nach oben gedrückt. Diese dafür verantwortliche Zellschicht umgibt den Zentralzylinder mit den Leitbündeln und heißt „innere Haut“, also Endodermis. Bis zu dieser Haut, der Endodermis, ist das Wasser einem Konzentrationsgefälle gefolgt, aber nun muss

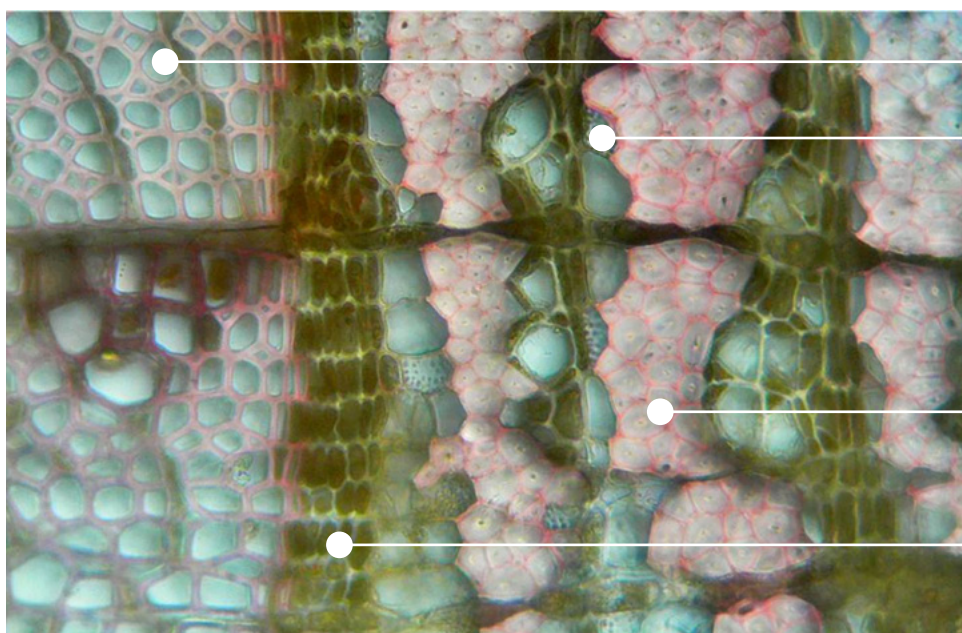
für den Weitertransport Energie aufgewandt werden, dazu müssen die Zellen atmen, sie brauchen Nährstoffe und Sauerstoff. Sie erzeugen also einen Wurzeldruck. Bekanntlich liegen die Leitbündel in der Mitte der Wurzeln.

Damit genügend Sauerstoff an die Wurzeln lebender Pflanzen gelangt und die Wurzelzellen atmen können, muss der Boden locker und luftig sein und darf keinesfalls versiegelt werden. Bodentiere wie Regenwürmer helfen bei der Bodendurchlüftung. Das hat auch Relevanz zum Wassergehalt in den Zwischenräumen zwischen den Bodenpartikeln.

## 7.2 Warum darf man die Baumrinde nicht beschädigen?

Die Baumrinde dient weniger dem „Schutz“ der Pflanze, als vielmehr dem Transport von Nährstoffen aus den grünen Blättern in die hungrige Wurzel und alle anderen Pflanzenteile. Die beteiligten Strukturen heißen primäre Rinde mit Siebröhren, auch Phloem genannt. Zum Erzeugen des nötigen Wurzeldrucks muss Energie aufgewandt werden, also müssen die lebenden Wurzelzellen atmen und so die verfügbare

Energie zum Stoffwechsel bereitstellen. Denn Wasser-Hochpumpen gegen ein Gefälle – das macht Arbeit. Das Wasser jedoch wird nicht in der Rinde, sondern im Zentrum des Stängels transportiert (im Holzteil beziehungsweise Xylem) (Abbildung 33). Die Frage nach dem Schutz der Rinde ist also eine komplexe Frage, die letztlich wieder mit der Wasserversorgung zu tun hat.



**Holz: Wassertransport, Xylem**

**Siebröhren, Rinde, Zuckertransport**

**Bast, Rinde**

**Wachstumszone: Kambrium**

Abbildung 32: Aufbau eines Pflanzenstängels bei der Linde, innen Holz und außen Rinde

# 8. Konkretes Beispiel erfolgreicher computergesteuerter Bewässerung

Für das hier vorgestellte Modul zur Bewässerung ist ein Wasseranschluss erforderlich. Es gibt jedoch auch Alternativen mit Solarmodulen. Bis auf die Entwässerung im Winter und den damit eingehenden Abbau des Bewässerungscomputers, gegebenenfalls das Erneuern der Akkus im Computer, ist das System weitgehend wartungsfrei.

Der Bewässerungscomputer wird am Wasserhahn montiert (Abbildung 33). Die Wasserpipeline verläuft nun weiter unterirdisch, kann durch UV beständige Rohre aber auch oberirdisch verlegt werden. Die Rohre sind aus Kunststoff und sollte nicht verrotten. Die Schläuche zu den Hochbeeten sollten im Idealfall im Boden versenkt sein. Durch T-Stücke kann das Wasser auf mehrere Hochbeete verteilt werden (Abbildung 34). Wir bauen die Wasserschläuche genau dorthin, wo die Pflanzen das Wasser brauchen. Man sollte die unterirdischen Rohre sichtbar verkleiden, zum Beispiel mit einem orangefarbenen Schutzrohr aus dem Elektrobedarf. Das verhindert bei späteren „Grabungen“ durch die Signalfarbe ein unbeabsichtigtes Beschädigen der Verrohrung. Jedes Hochbeet erhält ein Absperr- oder Regulierventil. Dies muss bei der Verlegung der Rohre außen am Hochbeet mit Rohrschellen berücksichtigt werden.



Abbildung 33: Der Computer wird im Frühjahr programmiert und im Sommer ggf. noch einmal umgestellt

Jedes Hochbeet selbst erhält feine Schläuche mit Austrittsdüsen (Abbildung 35). Die Tröpfchen-Bewässerung mit Kleinflächendüsen erfolgt direkt bei den jeweiligen Pflanzen im Hochbeet. Die Bewässerung kann in jedem Beet reguliert werden. Die Verrohrung sollte wegen des Druckerhalts und der ausreichenden Wassermenge immer im größtmöglichen Querschnitt geführt werden. Die Kleinflächendüsen, also die eigentlichen Austrittsstellen des Gießwassers, werden bei Verkalkung oder Verschmutzung im Ultraschallbad oder in Citronensäure gereinigt. Die Qualität des Wassers sollte man untersuchen (**Begleitmaterialien – M2 bis M9**), um richtig zu düngen.

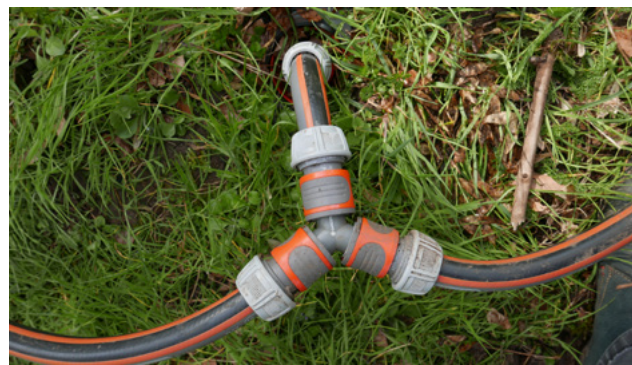


Abbildung 34: Der unterirdische Zulauf mündet in oberirdische Schlauchstücke zu den Hochbeeten



Abbildung 35: Üppiges Wachstum von Salat im Hochbeet durch eine gute Bewässerung mit Düsen.



# 9. Hinweise zu Unterrichts- und Begleitmaterial

Das umfangreiche Unterrichts- und Begleitmaterial zu der vorliegenden Handreichung finden Sie unter anderem auf der Internetseite der Nachhaltigkeitsstrategie Baden-Württemberg

<https://www.nachhaltigkeitsstrategie.de/bildung/schulen/unterrichtsmaterial>

## Internetlinks

<https://www.hortus-insectorum.de>

<https://www.lernenimgarten.at/?search=Klima>

## Literaturquellen

Benkowitz, D., & Köhler, K. (2019). Lernen im Schulgarten – Werden vorhandene Potentiale genutzt? <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:751-opus4-1855>

Ertl-Marko, A. (2019). Das große Boden-ABC: Praxisratgeber für Humusaufbau und Pflanzenglück. Die Revolution im Biogarten. Oliva Verlag

Folke, C., R. Biggs, A. V. Norström, B. Reyers, and J. Rockström (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society* 21(3):41. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08748-210341>

Gastl, Markus (2021). Permakultur und Naturgarten. Nachhaltig gärtnern mit dem Drei-Zonen-Modell. 2. Auflage, Ulmer, Stuttgart

Goldschmidt, B. (2023). Klimabewusst gärtnern. *Unterricht Biologie*, 483, 32–37.

Grunewald, K; & Bastian, O. (2018). Ökosystemdienstleistungen. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Ed.). *Handwörterbuch der Stadt und Raumentwicklung*, Hannover, 1677–1683.

Hellinger, F., & Benkowitz, D. (2023). Lernen von den Aborigines – Permakultur im Schulgarten umsetzen. *Unterricht Biologie*, 483, 10–15.

Jäkel, L. (2021). Faszination der Vielfalt des Lebendigen. *Didaktik des Draußen-Lernens*. Springer Spektrum.

Jäkel, L. (2022). Der Feldspaziergang – ein innovatives Bildungsformat zu BNE und Landwirtschaft im Lehramtsstudium. In U. Queisser & K. Schneider, Hrsg., *Landwirtschaft im Sachunterricht*, Bielefeld: WBV Medien, S. 191–211.

Jäkel, L. & Kiehne, U. (2022). BNE als Herausforderung für alle - Klimaschutz und Erhalt der Biodiversität im Ökogarten. In J. von Au & R. Jucker, Hrsg., *Draußen-Lernen. Neue Forschungsergebnisse und Praxiseinblicke für eine BNE*. Bern: hep, S. 409–428.

Mettke, T. C. & Jäkel, L. (2022). BNE für alle - Klimaschutz und Erhaltung der Biodiversität im Ökogarten der Pädagogischen Hochschule Heidelberg. In E. M. Watts & C. Hoffmann, Hrsg., *Digitale NAWI-gation von Inklusion*. Springer VS, S. 135–144.

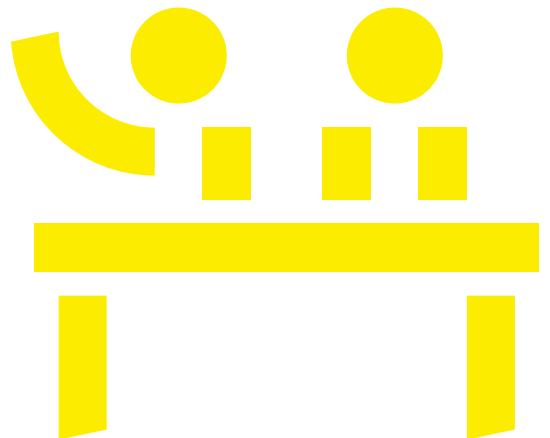
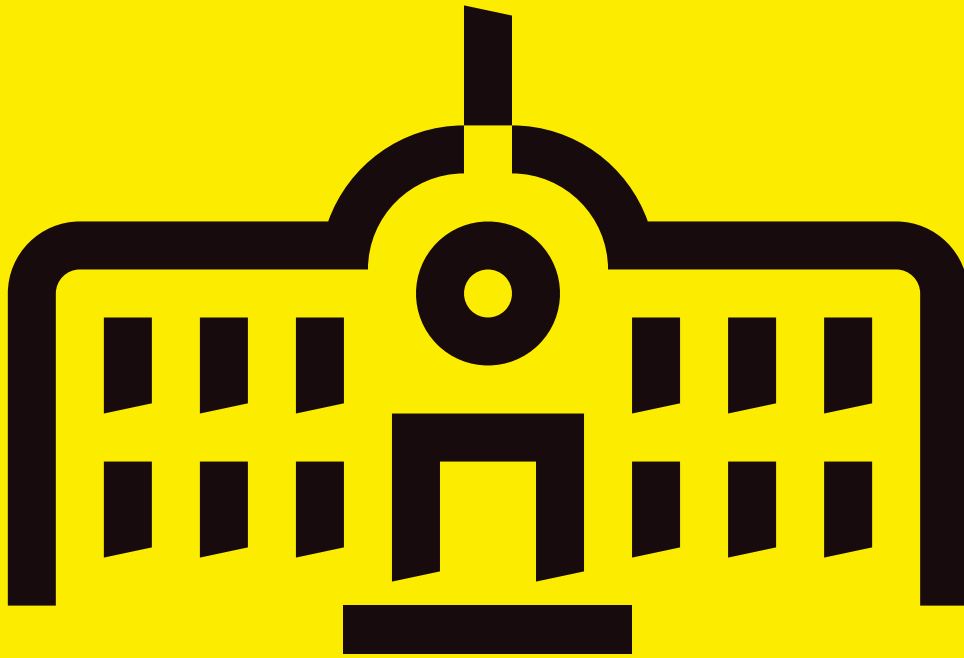
Mirvish, SS. (1994). Experimental evidence for inhibition of N-Nitroso Compound Formation as a factor in the negative correlation between Vitamin C consumption and the incidence of certain cancers. *Cancer Research (Suppl)* 54, 1948s–1921s))

Retzlaff-Fürst, C., & Pollin, S. (2022). Naturerfahrung als Quelle des Wohlbefindens – Zum Verhältnis von Naturerfahrung und Gesundheit. In Gebhard, U., Lude, A., Möller, A., Moormann, A. (Hrsg.), *Naturerfahrung und Bildung*. Springer, 79–99.

Schüler, S. et al. (2025). Initiating agri-environmental collaboration at landscape scale requires bridging structures, regional facilitators and addressing the expectations of actors. *People and Nature* (2025). DOI: <https://doi.org/10.1002/pan3.10782>

### Kooperation mit außerschulischen Partnern

Erfolgreicher Agrarnaturschutz auf Landschaftsebene erfordert neben dem individuellen Handeln im Sinne von Nachhaltigkeit auch die Zusammenarbeit mit weiteren Beteiligten aus Gemeindeverwaltung, Politik und Naturschutz. (VBio 2025, Schüler et al. 2025)



**BWGV**

**Volksbanken  
Raiffeisenbanken**

**ph** University of Education  
Pädagogische Hochschule  
**karlsruhe**

**GEWINN SPAREN**  
Immer ein Gewinn.

**...Mein  
Raiffeisen Markt**

Pädagogische Hochschule  
**HEIDELBERG**  
University of Education



**Baden-Württemberg**