



Boden und Wirbellose entdecken

Umsetzung des Themas «Ökosystem Boden» im Unterricht
der Jahrgangsstufe 9 des Bayerischen Gymnasiums

Boden und Wirbellose entdecken

Umsetzung des Themas «Ökosystem Boden» im Unterricht
der Jahrgangsstufe 9 des Bayerischen Gymnasiums

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Unterricht und Kultus
Salvatorstraße 2
80333 München

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2
81925 München

Redaktion

Franziska Hanko, ANL
Roland Biernacki, ISB
Matthias Dietrich, ALP
Dr. Katharina Stöckl-Bauer, ANL

Lektorat

Lotte Fabsicz, ANL

Autoren

Florian Bernhard, Ammersee-Gymnasium Dießen
Dr. Martin Eiblmaier, Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren
Tobias Fröhlich, Holbein-Gymnasium Augsburg
Dr. Thomas Gerl, Ludwig-Thoma-Gymnasium Prien

Franziska Hanko, ANL Laufen
Martin Jochner, Annette-Kolb-Gymnasium Traunstein
Peter Sturm, ehemals ANL Laufen
German Weber, Bernhard-Strigel-Gymnasium Memmingen

Grafiken, Layout und Satz

Johann Feil

Titelbild

Veronika Bauer, ANL

Gesamtproduktion

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL); © 2026
ISBN: 978-3-944219-74-5

Diese Publikation wurde gefördert mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) im Rahmen der Umsetzung der Bayerischen Biodiversitätsstrategie.



Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz



Wichtiger Hinweis

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten.
Das Kopieren für den Einsatz im Rahmen der schulischen und außerschulischen Umweltbildung und den Gebrauch für Schulklassen im Klassensatz ist ausdrücklich erwünscht.
Die Nutzung von Textauszügen oder Bildmaterial in Publikationen jeder Art bedarf der Zustimmung der Herausgeber.



Anna Stolz



Thorsten Glauber

Bayern ist geprägt von einer einzigartigen Vielfalt an Landschaften und Lebensräumen – von den Alpen bis nach Mainfranken, von den großen Flusslandschaften bis zu den Seen- und Moorgebieten. Diese Vielfalt prägt unsere kulturelle Identität und ist die Grundlage für die hohe Lebensqualität in unserem Land. Der Schutz und die Wertschätzung der natürlichen Ressourcen gehören daher zu den zentralen Aufgaben unserer Gesellschaft.

«Boden und Wirbellose entdecken» ist der vierte Band in der Reihe der Unterrichtshandreichungen Grünland, Gewässer und Ökosysteme entdecken. Zusammen unterstützen sie Lehrkräfte, die im Lehrplan-PLUS verankerten Themen fachlich fundiert und praxisnah umzusetzen. Mit Hintergrundinformationen zum Fachthema, methodischen Anregungen und konkreten Vorschlägen für spannende Aktivitäten können sie auch von Bildungsträgern im außerschulischen Bereich eingesetzt werden.

Mit beiden Beinen fest auf dem Boden der Tatsachen zu stehen ist wichtig, gerade für junge Menschen. Dass der Boden Milliarden von Wirbellosen einen Lebensraum bietet, ist spannend zu erkunden. Und dass diese kaum vorstellbare Vielfalt an Organismen im Boden so zentrale Ökosystemleistungen wie produktive Böden und sauberes Wasser zur Verfügung stellt, sollte jedem bewusst sein.

Wir danken allen, die mitgewirkt haben diese Publikation zu erarbeiten. Wir wünschen den Lehrkräften viel Freude bei der Umsetzung und den Schülerinnen und Schülern spannende und bereichernde Erfahrungen beim Entdecken der faszinierenden Welt des Bodens und der Wirbellosen in Bayern.

Anna Stolz, MdL

Bayerische Staatsministerin für
Unterricht und Kultus

Thorsten Glauber, MdL

Bayerischer Staatsminister für
Umwelt und Verbraucherschutz

Boden und Wirbellose entdecken

Handreichung für die 9. Klasse der Bayerischen Gymnasien

Impressum	4
Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	6
1. Einführung	10
2. Boden – Grundlage des Lebens	11
2.1 Was ist Boden	12
2.2 Ausgangsgestein und Mineralkörper	13
2.3 Bodenbildung (Pedogenese)	13
2.3.1 Abiotische Prozesse der Bodenbildung	14
2.3.2 Biotische Prozesse der Bodenbildung	15
2.4 Was ist Humus?	16
2.4.1 Humifizierung	17
2.4.2 Zersetzung der organischen Substanzen	18
2.4.3 Aufbau der Bodenstruktur	18
2.5 Bodentypen	20
2.6 Bodenarten	23
2.7 Bodenporen	26
2.8 Bodenfunktionen	27
2.8.1 Boden als Kohlenstoffspeicher	28
2.8.2 Boden als Basis unseres Wasserhaushalts	31
2.8.2.1 Wasserspeicherfunktion	31
2.8.2.2 Wasserfilterfunktion	31
2.8.3 Boden als Lebensraum	33
2.8.3.1 Bodenmikrobiom	33
2.8.3.2 Meso-, Makro- und Megafauna	36
2.8.3.3 Bodenleben in Gefahr	37
2.9 Böden: Eine bedrohte Ressource	38
2.9.1 Versiegelung	39
2.9.2 Bodendegradation	39
2.9.3 Flächenverbrauch für unsere Ernährung	39
2.9.4 Erosion	40

2.9.5	Desertifikation	40
2.9.6	Mikroplastik	41
2.9.7	Ewigkeitschemikalien: PFAS	42
2.9.8	Pestizide	43
2.10	Böden unter Bewirtschaftung	46
2.10.1	Waldböden	46
2.10.2	Böden in der Landwirtschaft	47
2.10.2.1	Die Problematik des klassischen Ackerbaus	47
2.10.2.2	Stickstoff als Pflanzennährstoff	48
2.10.3	Eine zukunftsfähige Landnutzung	50
3.	Wirbellose	
	halten Ökosysteme am Laufen	52
3.1	Was sind «Wirbellose»?	52
3.2	Systematische Übersicht der Wirbellosen Haben nur Insekten sechs Beine?	52
3.3	Kleine Tiere, große Bedeutung	54
3.3.1	Bestäubung	55
3.3.2	Regulierende Funktion von Wirbellosen	56
3.3.3	Abbau von Falllaub und Pflanzenresten am Boden sowie Humusbildung	57
3.3.4	Abbau von Tierleichen	58
3.3.5	Insektenrückgang	59
3.3.6	Nicht nur Insekten gehen zurück – auch im Boden tut sich etwas	59
4.	Hinweise	
	zur Umsetzung im Unterricht	61
4.1	Biodiversität bei Wirbellosen	61
4.2	Ökosystem Boden	62
4.3	Planung von Unterrichtseinheiten	63
4.4	LehrplanPLUS	64
5.	Themen und Unterrichtsmodule	71
5.1	Schnelle Übersicht über die einzelnen Module	71
5.1.1	Tabellarische Übersicht	72
Boden entdecken		
Module B 1–B 13		79
B 1	Stationenlernen – Experimente zu Bodenfunktionen	81
B 2	Aufbau von Böden	95

B 3	Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun? Ein «Mystery»	101
B 4	Schau mal, was da krabbelt	111
B 5	Bioturbation Plane eine Untersuchung!	121
B 6	Zersetzung von Materialien im Boden	127
B 7	Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen	131
B 8	Wurzelkino	143
B 9	Zahl des Tages zu Boden und Bodenverlust	159
B 10	Bodendüngung – Ein «Mystery»	161
B 11	Klimarelevanz von Böden	171
B 12	Bodenbelastung durch Schadstoffe	177
B 13	Wir tun was für den Boden	195

Wirbellose entdecken

Module W1–W13 199

W 1	Vergleich von extensiv und intensiv genutzten Wiesen	201
W 1a	Bestimmung von Regenwürmern	213
W 1b	Bestimmung von Schnecken – Schleimig aber sexy ...	217
W 1c	Bestimmung von Heuschrecken	225
W 1d	Bestimmung von Tagfaltern	231
W 1e	Bestimmung von Ameisen	235
W 1f	Bestimmung von Insektenordnungen	239
W 2	Expedition Biodiversität Stationenlernen zur Biodiversität der Wirbellosen	243
W 3	Tagfalter-Monitoring	257
W 4	Vergleich von Insektenbeinen	265
W 5	Wir tun was! – Mikrohabitatinseln	273
W 6	Insekten auf Blüten	279
W 7	Blütenstetigkeit von Insekten	285
W 8	Experimente mit Regenwürmern Lumbricidae als Hauptdarsteller	295
W 9	Evolution live Bänderschnecken im Freiland	299
W 10	Wer war's? Pflanzen als Opfer	307
W 11	Mineralisation Alleine oder in Kooperation	315

W12 Ameisenstraßen ohne Stau	321
W13 Materialgestützte Aufgaben zum Insektensterben	325
Literatur und Abbildungen	331
Literatur	333
Abbildungsverzeichnis	343

1. Einführung

Die vorliegende Publikation «Boden und Wirbellose entdecken» ist für die Jahrgangsstufe 9 des Gymnasiums erarbeitet worden. Sie ist nach «Grünland entdecken», «Gewässer entdecken» und «Ökosysteme entdecken», die vierte Publikation in einer Reihe von Unterrichtshandreichungen, die das Ziel haben, die direkte Naturbegegnung der Schülerinnen und Schüler (= SuS) zu fördern.

Der LehrplanPLUS sieht für die Jahrgangsstufe 9 die beiden Lernbereiche «Ökosystem Boden» und «Biodiversität bei Wirbellosen – Variabilität und Anpasstheit» vor. Beide Themen sind bedeutende Bausteine für die Biodiversitätsbildung und einer Bildung für nachhaltige Entwicklung.

Die Inhalte beider Lernbereiche

- haben existenzielle Bedeutung für unser Überleben auf der Erde,
- bieten interessante Verknüpfungsmöglichkeiten mit den Modulen der Jahrgangsstufe 8 (Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen) und fördern ein vertieftes Verständnis von Zusammenhängen und Wechselwirkungen in Ökosystemen,
- gehören zur unmittelbaren Erfahrungs- und Erlebniswelt der SuS und bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten für projektorientiertes Lernen vor Ort,
- fördern die umweltbezogene Beobachtungs- und Wahrnehmungsfähigkeit,
- liefern Beispiele für negative Einflüsse menschlicher Schädigungen der Umwelt, an denen mögliche Handlungskonsequenzen aufgezeigt werden können.

Das Ökosystem Boden und die Biodiversität bei Wirbellosen hängen funktional zusammen: In einer Handvoll Humus leben mehr Organismen als Menschen auf der Erde – und sie sind die Basis essenzieller Ökosystemleistungen, weil sie zum Beispiel Mineralstoffe für Pflanzen verfügbar machen und so die Grundlage unserer Ernährung bilden. Die Biodiversität bei Wirbellosen ist auch eine Voraussetzung für das Funktionieren von Ökosystemen. Neben ihrer Rolle bei der Humusbildung, bestäuben sie Blütenpflanzen, dienen der Wasserreinhaltung, fungieren als Ökosystemregulatoren und sind als Nahrungsbasis für Wirbeltiere nicht ersetzbar.

Auf den ersten Blick ist die Artenvielfalt im Ökosystem Boden schwer zu entdecken. Daher ist es wichtig, die enge Verknüpfung zwischen Biotop und Biozönose zu veranschaulichen und insbesondere die Lebewesen im Boden für die SuS erlebbar zu machen. Das Leben geht unterhalb der Bodenoberfläche erst richtig los.

In «Boden und Wirbellose entdecken» werden die im Lehrplan vorgesehenen Inhalte praxisnah und übersichtlich aufbereitet. Neben den erforderlichen Hintergrundinformationen erhalten Lehrkräfte konkrete Vorschläge für Aktivitäten und Exkursionen. Zentrales Ziel der Handreichung ist es, Wertschätzung und Begeisterung für die Lebensgrundlage Boden und die große Gruppe der Wirbellosen bei den SuS zu fördern.

2. Boden

Grundlage unseres Lebens

Unser Leben hängt von Böden ab. Einerseits sorgen sie als Produktionsorte für die Grundlage unserer Nahrung und sind unsere wichtigsten Trinkwasserfilter, andererseits bilden sie unsere größten terrestrischen Kohlenstoffsenken. Lebendige Böden sorgen durch die ständigen Abbau- und Umwandlungsprozesse dafür, dass tote Materie so zersetzt wird und neues Leben entstehen kann. Boden ist der artenreichste Lebensraum der Erde (ANTHONY et al. 2023) – und dies sogar, obwohl die Biodiversität im Boden noch größtenteils unerforscht ist. Wir nehmen den Boden für selbstverständlich, weil wir sein Ausmaß nicht direkt erkennen. Jedoch stehen die meisten Ökosystemdienstleistungen in direktem Zusammenhang mit intakten Bodenökosystemen. Nur wenn Böden mit ihren Besonderheiten und Wechselwirkungen erkannt und geschätzt werden, können die vielen parallel laufenden Prozesse sowie Lebewesen gefördert und geschützt werden.

Klimaschutz ist in aller Munde, jedoch wird die Ressource Boden hierbei nur selten erwähnt. In unseren Breiten weisen landwirtschaftlich genutzte Böden, insbesondere das Grünland, die größten organischen Kohlenstoffvorräte auf. Dies zeigt die besondere Verantwortung der Landwirtschaft in Bezug auf die Biodiversität und das Klima. Der Aufbau von lebendigem Boden, die Wiedervernässung von Mooren, eine dauerhafte Bepflanzung und tiefe Wurzeln tragen weitaus mehr zum Klimaschutz bei, als die meisten denken (CIAIS et al. 2013). Die Förderung dieser naturbasierten Lösungen wäre im Vergleich zu den meisten technologischen Lösungen kostengünstiger und effektiver (DRÖSLER 2011; SCHWARZER &

SCHEUB 2023; VICARELLI et al. 2024). Diese Methoden wirken zudem multifunktional und unterstützen neben klimatischen Aspekten auch den Wasserhaushalt sowie die Biodiversität.

10–20 Millionen Hektar Boden werden jährlich weltweit geschädigt. Die Hauptursachen sind intensive Landwirtschaft, Verschmutzung, Waldrodung, Erosion und Versiegelung (URL 1). Ein Drittel der weltweiten Nutzflächen ist bereits degradiert. Der Verlust und die Zerstörung von Böden sind nicht direkt ersichtlich und so rückt die Problematik häufig aus dem Blickfeld. Eine abnehmende Fruchtbarkeit kann kurzfristig durch Düngung kompensiert werden und dadurch die Erntemenge vorerst konstant halten. Massenaufreten von Schädlingen als Folge der Monokulturen kann durch Pestizide ausgeglichen werden. Der Verlust von Böden durch Erosion wird durch mangelnde Dauerbeobachtungen nur schwer bemerkt. Der mangelnde Kontakt zum Boden und vielfach verloren gegangenes Wissen über Pflanzen führt zur starken Mechanisierung und Rationalisierung in der Landwirtschaft. Die Problematik steckt in der Unsichtbarkeit des Bodens. Wir laufen auf ihm aber nehmen ihn nicht wahr. Er ist häufig mit Pflanzen oder Asphalt bedeckt und erreicht kaum unser Bewusstsein.

Die persönliche Betroffenheit sowie das Aufzeigen von Handlungsmöglichkeiten sind wesentliche Werkzeuge, um das Bewusstsein für den Boden zu erhöhen. Unser Konsumverhalten, allem voran die Wahl unserer Nahrungsmittel, kann zur Förderung von langfristigem Bodenschutz beitragen.

Obwohl der Verlust der Biodiversität sowie die Veränderung des Klimas für uns bereits deutlich sichtbar sind, kann das mögliche Ausmaß der Wechselwirkungen noch gar nicht prognostiziert werden. Unsere Wirtschafts- und Sozialsysteme sind, eingebettet in der Biosphäre, von ihr abhängig und können nur innerhalb ihrer Grenzen wirken und wachsen.

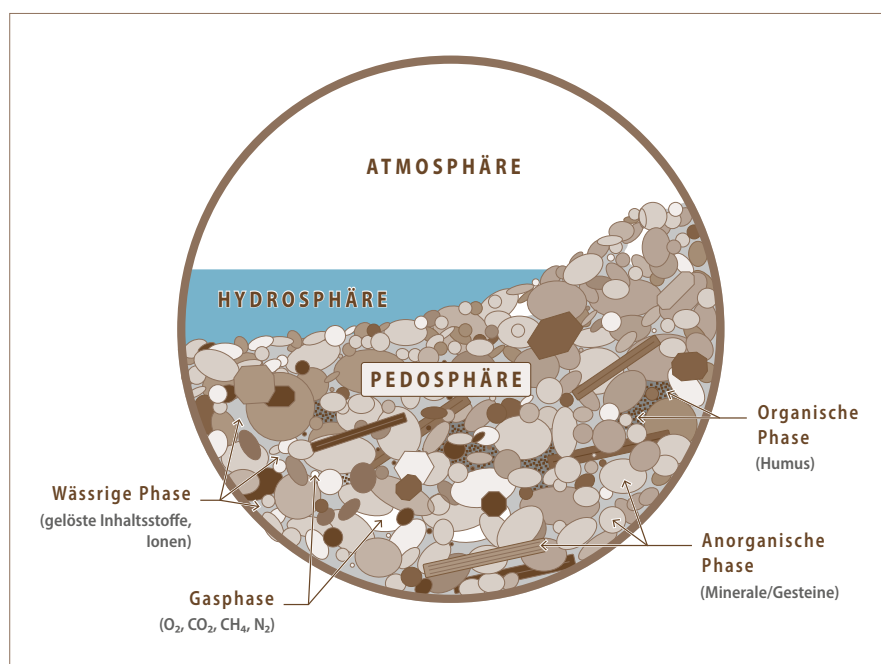
Der Boden betrifft hierbei alle Grenzen direkt oder indirekt. Die gute Nachricht ist, dass eine andere Form der Land- und Forstwirtschaft sowie die weltweite Wiedervernässung der Moore und der sofortige Stopp von Neuversiegelungen einen großen Wandel hervorbringen könnten.

2.1 Was ist Boden?

Der Boden ist Teil der obersten Schicht unserer Erde. Nach oben ist er durch die Pflanzendecke beziehungsweise den Luftraum und nach unten durch das Gestein begrenzt. Somit bildet er einen fließenden Übergang dieser Räume und besteht sowohl aus Mineralen als auch aus organischen Stoffen. In diesem Bereich laufen die verschiedensten Interaktionen zwischen Untergrundgestein, Luft, Wasser und lebenden Organismen ab. Der Boden, die Pedosphäre, ist also der Bereich, indem sich Lithosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre überschneiden.

Als vereinfachende Übersicht kann der Boden in vier Bestandteile gegliedert werden (AMELUNG et al. 2018). Der **mineralische Anteil (1)** wird vom Ausgangsgestein bestimmt, welches durch chemische, physikalische und biogene Prozesse zu dessen mineralischen Bodenanteilen verwittert. Der **organische Anteil (2)** besteht aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren sowie deren Exkrementen, welche durch die Bodenorganismen umgewandelt werden. Dieser Anteil wird auch Humus genannt und der jeweilige Anteil im Boden ist abhängig von Regionalklima, Ausgangs-

Abbildung 2-1
Pedosphäre als Schnittstelle von Bio-, Hydro-, Litho- und Atmosphäre (nach BÖHLMANN 1982).



gestein, Vegetation, Bodentyp und den vorhandenen Bodenorganismen. Eine weitere Komponente des Bodens sind die **Bodenorganismen (3)**, die sich aus unterschiedlichen Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren zusammensetzen und ein komplexes Nahrungsnetz bilden. Das **Bodenwasser zusammen mit den Bodenporen (4)** versorgen das gesamte System mit Feuchtigkeit und Luft, was eine Voraussetzung sowohl für das Vorkommen als auch die Vitalität der Bodenorganismen ist.

Jeder Boden lässt sich in Horizonte gliedern, die das sogenannte Bodenprofil bilden und ausschlaggebend für die Bestimmung des Bodentyps sind. Die Entstehung der verschiedenen Horizonte wird geprägt durch das Ausgangsgestein, den Pflanzenbewuchs und das anwesende Bodenleben, dessen Zusammenspiel wiederum durch das Klima, die Witterung und die daraus entstehenden Prozesse beeinflusst wird. Dabei kommt es zu Verwitterungen, Mineralbildung, Zersetzung, Humifizierung, Gefügebildung und Verlagerungsprozessen (BLUME 1992).

2.2 Ausgangsgestein und Mineralkörper

In unseren Breiten entstanden die Böden vor etwa 150.000 Jahren zwischen der vorletzten Eiszeit (Würm-Kaltzeit) und der letzten Eiszeit (Riß-Kaltzeit), im Nördlichen Mitteleuropa Weichsel- und Saale-Kaltzeit genannt. Sie entstanden aus verwittertem Geschiebe, bestehend aus anorganischen Komponenten sowie organischen Abbauprodukten der ansässigen Organismen bei subarktischen Klimaverhältnissen. In Mitteleuropa sind die Böden vorwiegend aus Lockersedimenten entstanden; in bergigen Regionen aus Fließerden magmatischer, metamorpher oder fester Sediment-Gesteine mit unterschiedlichen Lössanteilen. Im Flachland sind es vor allem Geschiebemergel, Löss, Sander und Dünen sand, Auenlehm und Küstenschlick.

Die in Böden und Gesteinen enthaltenen Minerale unterscheiden sich in ihrer Struktur und Form sowie ihrer Größe und chemischen Zusammensetzung. Ein carbonatisches Ausgangsgestein (Kalke und Dolomite) bietet den Pflanzen ein enges chemisches Spektrum. Kalkig-silikatische Gesteine (Löss, Kalkglimmerschiefer) haben ein breites chemisches Spektrum, welches sich dementsprechend in vielfältigen Pflanzenbeständen auswirkt und aufgrund der hohen Nährstoffkapazitäten sehr fruchtbare Böden hervorbringen kann. Rein silikatische Ausgangsmaterialien (zum Beispiel Granite, Gneise, Quarzite, Quarzsande) sorgen für ein geringeres Nährstoffangebot für Pflanzen und magerere Böden mit niedrigem pH-Wert.

2.3 Bodenbildung (Pedogenese)

Die Bodenbildung findet durch drei maßgebliche Prozesse statt: Verwitterung, Verlagerung und Humusbildung.

Der erste bodenbildende Prozess ist die **Verwitterung**. Darunter versteht man den Zerfall und die Umwandlung

der Gesteine, aus denen die Erdkruste besteht, durch zumeist abiotische Umwelteinflüsse.

Der zweite bodenbildende Prozess ist die **Verlagerung**. Dabei werden feinste Bodenpartikel oder gelöste Stoffe durch

Wind und Wasser örtlich verlagert oder insbesondere durch Niederschläge, zumeist innerhalb des Bodenprofils, transportiert. Dieser Prozess fördert die Bildung charakteristischer Bodenhorizonte, indem beispielsweise Mineralstoffe aus oberen Horizonten in tiefere Bereiche ausgewaschen oder umgelagert werden. Die Verlagerung beruht häufig auf abiotischen Faktoren, doch sollte die Verlagerung durch bodenlebende Lebewesen nicht unterschätzt werden.

Der zweite bodenbildende Prozess beruht auf dem Abbau abgestorbener organischer Substanz und wird durch das komplexe Zusammenwirken von Pflanzenwurzeln und Bodenleben ermöglicht. Hier handelt es sich zumeist um biotische Prozesse.

2.3.1 Abiotische Prozesse der Bodenbildung

Die abiotischen Faktoren lassen «Böden» aus dem Ausgangsgestein entstehen. Zu den physikalischen Bodenbildnern gehören Wasser, Temperatur und Wind. Bei der Frostsprengung gefriert das in das Gestein eingedrungene Wasser, dehnt sich aus und sprengt die festen Bestandteile. Auch schnelle Temperaturunterschiede führen zum Ausdehnen und Schrumpfen bestimmter Gesteine, wobei die dabei entstehenden Spannungen zur Lockerung und schließlich zu ihrer Zerstörung führen. Der Wind formt auf Dauer ebenfalls die Gesteine, lässt Flugsande entstehen und es kommt durch Winderosion zu teilweise massiven Materialverlagerungen, wie die meterdicken Lössschichten im Alpenvorland auf beeindruckende Weise zeigen. Horizontale Materialverlagerungen, die auch häufig durch Wasser bedingt sind, können lokal die Bodenbildungsprozesse beeinflussen.

Chemische Verwitterungsprozesse im Boden führen zum Abbau primärer Silikate und bilden dabei sekundäre Tonminerale. Säuren aus Luft und Niederschlägen sowie organische Säuren im Boden

und die durch sie bedingten Prozesse Hydrolyse und Hydratation bedingen die Umwandlung in Tonminerale. Da diese besonders klein sind und folglich eine große spezifische Oberfläche haben, beeinflussen sie die Wasser- und Mineralstoffspeicherefähigkeit des Bodens erheblich. Die Tonminerale fungieren zudem als Ionenaustauscher und sorgen somit maßgeblich sowohl für die Pufferfunktion als auch für die Kationenaustauschkapazität von Böden. Die sogenannte Kationenaustauschkapazität (KAK) gibt an, in welchem Maße die Tonminerale gelöste Kationen aus dem Bodenmedium (Einträge aus der Luft oder durch Wasser) anlagern und im Gegenzug Oxoniumionen (H_3O^+ -Ionen) abgeben können. Dabei sind die Pufferfähigkeit der Böden und die Kationenaustauschkapazität negativ korreliert. Das bedeutet: Je mehr Kationen an die Tonminerale angelagert sind, desto geringer wird die Pufferkapazität, also die Fähigkeit der Böden pH-Wertschwankungen auszugleichen.

Die genannten physikalischen und chemischen Prozesse werden zudem von abiotischen Faktoren der umgebenden Landschaft, dem Wetter und dem Klima am Standort beeinflusst. Hierzu zählen geografische Lage, Höhe über dem Meeresspiegel, Sonnenexposition, Witterungsexposition, Relief der Landschaft, Standort im Gelände (beispielsweise Kuppe, Mulde, Hang), vorherrschende Vegetation und so weiter. Eng damit verbunden sind die hydrologischen Bedingungen, wie zum Beispiel Wasserabfluss, Staunässe, Versickerungspotenzial und das am Standort ausgeprägte Mikroklima. Das Wetter und das Klima entscheiden ebenfalls maßgeblich über Form und Intensität der Bodenbildung. Hierbei spielen die Niederschläge eine wichtige Rolle. Sowohl die jährliche Niederschlagsmenge als auch die Niederschlagsverteilung beeinflussen direkt bodenbildende Prozesse und über das Bodenleben und die Vegetation auch indirekt die Bodenbildung (siehe biotische Faktoren). Die Tempera-

EXKURS: «Exsudate»

Exsudate (von lateinisch exsudare = ausschwitzen, abfließen) sind Stoffe, Flüssigkeiten oder Sekrete, die lebende Organismen aktiv oder passiv an ihre Umgebung abgeben.

Ein typisches Beispiel sind Wurzelauausscheidungen von Pflanzen, sogenannte Wurzelexsudate, die einen entscheidenden Einfluss auf das Bodenleben haben, indem sie Mikroorganismen anlocken, bodenchemische Prozesse steuern und Nährstoffkreisläufe beeinflussen.

Wurzelexsudate umfassen eine Vielzahl unterschiedlicher Stoffklassen. Grundsätzlich lassen sich folgende Hauptgruppen unterscheiden:

- **Kohlenhydrate:** Monosaccharide (zum Beispiel Glucose und Fructose), Disaccharide (zum Beispiel Saccharose), Oligo- und Polysaccharide (in geringerem Umfang)
- **Mucilage (Schleimstoffe):** Höhermolekulare Polysaccharide (zum Beispiel Pektine)
- **Aminosäuren und Peptide:** Zum Beispiel Glutaminsäure, Asparaginsäure und kurzkettige Peptide
- **Organische Säuren:** Zitronensäure, Apfelsäure, Oxalsäure und andere
- **Phenolische Verbindungen und andere sekundäre Pflanzenstoffe:** Einfachere Phenole, Flavonoide, Ligninvorstufen, Alkaloide, Terpene, Saponine und viele mehr
- **Proteine und Enzyme:** In kleiner Menge, beispielsweise Phosphatasen

FUNKTION DER WURZELEXSUDATE

- **Ernährung der Mikroorganismen:** Die organischen Verbindungen dienen als Kohlenstoff- und Energiequelle für Bodenmikroben.
- **Nährstoffverfügbarkeit:** Organische Säuren können schwerlösliche Mineralstoffe (zum Beispiel Phosphat) pflanzenverfügbar machen.
- **Kommunikation und Abwehr:** Sekundäre Pflanzenstoffe und phenolische Verbindungen können nützliche Rhizobakterien anlocken, aber auch Krankheitserreger hemmen.
- **Struktur des Bodens:** Schleimstoffe (Mucilage) fördern die Bildung stabiler Bodenaggregate, verbessern das Wurzelwachstum und beeinflussen den Wasserhaushalt.

turen am Standort sind ebenfalls direkt und indirekt wirksam. Beispielsweise ist die aktuelle Temperatur entscheidend für den Frost und die damit verbundene Wasserverfügbarkeit im Boden und auch wieder indirekt einflussnehmend auf die Dauer der Vegetationsperiode und die damit korrelierte Bodenaktivität.

2.3.2 Biotische Prozesse der Bodenbildung

Während die physikalische und chemische Bodenbildung ausschließlich bereits bestehendes Material verändert, können lebende Organismen Boden vollständig neu bilden und tragen entscheidend zum Bodenaufbau bei.

Supergruppen wie

- Archaeplastida (beinhaltet die Pflanzen),
- Opisthokonta (beinhaltet die Pilze und die Tiere),
- Amoebozoa,
- SAR,
- Excavata und weitere

spielen hierbei eine wichtige Rolle.

Pflanzen und das Edaphon (Bodenleben = Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen) bestimmen dabei maßgeblich die Bildung von organischem Bodenmaterial und Bodenstruktur (TRESCH et al. 2019). Einige der Hauptaufgaben des Bodenlebens sind die Zerkleinerung, Verlagerung und chemische Veränderung der abgestorbenen Pflanzenteile sowie deren Vermischung mit dem Boden (BRUSSAARD 1997). Letztendlich sind sie für den Luft-, Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens verantwortlich (COLE et al. 2004). Auch bei der Initialbodenbildung spielen Lebewesen eine Rolle. Die ersten besiedelnden Organismen von Rohböden sind Bakterien und Pilze. Sich ansiedelnde Flechten lösen mit ihren abgegebenen Säuren die Gesteinsoberfläche auf, wodurch sie ebenfalls zur Bodenbildung beitragen. Im nächsten Schritt können sich beispielsweise Schnecken von den Flechten ernähren und ihre Ausscheidungen sorgen für nutzbares

organisches Material auf der Gesteinsoberfläche. Auch die Ausscheidungen lebender Wurzeln (Wurzelexsudate, siehe Exkurs: Exsudate) sind maßgeblich für die Stoffkreisläufe und Prozesse der Bodenbildung verantwortlich. Diese Wurzelexsudate enthalten unter anderem Zucker und Nährstoffe, die vom Edaphon als Nahrungsquelle genutzt werden und dadurch für Pflanzen als Mineralstoffquelle zur Verfügung stehen. Das Bodenleben ist hauptverantwortlich für die Pflanzenernährung und gemeinsam mit den Wurzeln auch für den Aufbau fruchtbaren Bodens.

Neben abiotischen Faktoren wie Temperatur und Feuchtigkeit, die für die Kohlenstoffumsätze im Boden verantwortlich sind, spielen Bodenorganismen die primäre Rolle bei Aufspaltung toter organischer Materie und somit für das Nährstoffrecycling und die Kohlenstoffeinlagerungen im Boden. Mikroorganismen (auch Pilze) übernehmen hierbei mittels bestimmter Enzyme den größten Anteil (ROMANÍ et al. 2006). Auch die Interaktionen von Regenwürmern, Milben, Springschwänzen, Asseln (Isopoden) und Fadenwürmern (Nematoden) mit Mikroorganismen haben positive Auswirkungen auf die Geschwindigkeit der Streuzersetzung und Kohlenstoff-Mineralisierung (COLE et al. 2004).

2.4 Was ist Humus?

Der Begriff **Humus** stammt von dem lateinischen Wort **humus**, das im Deutschen mit **Erde, Boden** oder **Grund** übersetzt werden kann. Humus ist ein Teil der organischen Bodensubstanz, dessen Auf- und Abbau vom Bodenleben bestimmt wird. Ursprünglich beschreibt der Begriff ausschließlich das bereits zersetzte organische Material, heute jedoch wird der Begriff umfassender verwendet. Zum einen gehen

die Umwandlungsstufen im Zersetzungsprozess fließend ineinander über und zum anderen existieren die Zersetzungsprozesse nur bei Anwesenheit der Bodenlebewesen. Da es ohne die Anwesenheit von Pilzhypen und Bakterien keinen Humus gibt, umfasst der Begriff Humus neben den unterschiedlich stark zersetzten organischen Materialien eben auch die dabei beteiligten Lebewesen.

Humus besteht vor allem aus **Huminstoffen** sowie weiteren, nicht huminischen, organischen Substanzen (beispielsweise Kohlenhydrate, Proteine, Wachse, Harze, Lignine). Die Huminstoffe selbst lassen sich in drei Untergruppen einteilen – die Fulvosäuren (sowohl in alkalischem als auch in saurem Milieu löslich), die Huminsäuren (in alkalischem Milieu löslich, jedoch in saurer Lösung unlöslich) und die Humine (weder in sauren noch in alkalischen Lösungen löslich). Huminstoffe sind stabile organische Bodensubstanzen, die durch die Zerkleinerung, den Abbau, die Verwertung und den Umbau von pflanzlichen und tierischen Überresten durch das Bodenleben entstehen. Sie haben eine besonders hohe Sorptionskapazität sowie Puffervermögen und sind gleichzeitig große Nährstoff- und Wasserspeicher. Außerdem stabilisieren Huminstoffe die Bodenstruktur und sind die Lebensgrundlage heterotropher Bodenorganismen. Die dunklen Huminsäuren sind der Grund für die typische dunkle Färbung des Humus.

Der Humusanteil eines Bodens wird durch das Klima, die Art der Düngung und Bodenbearbeitung, die Diversität und Quantität des Bodenlebens, die anwesenden Pflanzen und deren Streu bestimmt. Die genannten Faktoren beeinflussen je nach Zersetzungsgrad und nach dem Grad der Einmischung in den Mineralboden die Humusklassen. Die Hauptformen im mitteleuropäischen Klassifikationssystem sind Mull (gut zersetzt, mit hoher biologischer Aktivität, gut in den Mineralboden eingemischt, locker, fruchtbar, bei basenreichem Unterboden), Moder (häufig in kraut-armem Wald, Pflanzenreste noch sichtbar, saurer Unterboden) und Rohhumus (wenig zersetzt, feste Auflage, wenig in den Mineralboden eingemischt, viele Nadeln, sehr sauer und wenig Bodenleben).

2.4.1 Humifizierung

Die sogenannte **Humifizierung** beschreibt den komplexen und mikrobiell gesteuerten Prozess, bei dem ober- und

unterirdische Biomasse zu leicht abbaubarem Nährhumus (schnelle Mineralisierung bis zum vollständigen Abbau) oder zu Dauerhumus (sehr langsame Mineralisierung und teilweise Einlagerung in stabile Kohlenstoffverbindungen) umgewandelt wird. Humus ist dementsprechend keine einheitliche Substanz, sondern eine Vielzahl an unterschiedlich entstandenen organischen Makromolekülen. Dabei lassen sich grob folgende Schritte unterscheiden:

- **Zufuhr von organischem Material**
Abgestorbene Pflanzenreste, Kot und Kadaver gelangen auf den Boden oder ins oberflächennahe Bodengefüge. Neben den Hauptbestandteilen Cellulose, Lignin und Proteine findet man diverse andere organische Verbindungen.
- **Zersetzung (Abbau «frischer» organischer Substanz)**
Pilze, Bakterien und Bodentiere zerkleinern, zersetzen und verlagern das organische Material. Die dabei freigesetzten Nährstoffe werden teilweise mineralisiert oder für das mikrobielle Wachstum verwendet.
- **Umwandlung (Synthese neuer organischer Verbindungen)**
Mikroorganismen bauen abbaubare Stoffe weiter um: Aus einfachen Zuckern, Aminosäuren oder Fettsäuren entstehen durch Polymerisations- und Kondensationsreaktionen komplexere Verbindungen. Erste Vorstufen zu Huminstoffen bilden sich.
- **Stabilisierung zu Huminstoffen**
Im Laufe der Zeit kondensieren und vernetzen sich die organischen Verbindungen immer stärker. Es entstehen schwer abbaubare, hochmolekulare Huminstoffe, welche die langfristige Kohlenstoffbindung und Bodenfruchtbarkeit bewirken.

- **Einbindung in den Boden**

Die entstandenen Huminstoffe verbinden sich mit Mineralteilen (zum Beispiel den Tonmineralen) oder lagern sich an diese an und bilden sogenannte Ton-Humus-Komplexe. Dadurch werden die Huminstoffe weiter stabilisiert und tragen wesentlich zur Bodenstruktur, beispielsweise über Aggregatbildung, bei.

2.4.2 Zersetzung der organischen Substanzen

Das im Herbst abfallende Laub, aber auch dauerhaft anfallende andere Pflanzenteile, tierische Ausscheidungen und Kadaver oder andere organische Substanzen auf der Bodenoberfläche, werden zunächst von den größeren, auf der Bodenoberfläche lebenden Bodenorganismen angenagt und zerbissen. Zu ihnen zählen unter anderem Asseln, Tausendfüßer, Schnecken, Dungkäfer, Fliegen und Rüsselkäfer. Auch kleinere Akteure wie Springschwänze und Hornmilben schneiden mit ihren Mundwerkzeugen die Blätter auf, um sich vom Inneren der Pflanzenteile zu ernähren. Die entstehenden Öffnungen sind die Eintrittspforten für die schließlich weiter zersetzenden Mikroorganismen. Hierzu zählen vor allem Bakterien, Pilze, Blaualgen, Kieselalgen und weitere einzellige und vielzellige Tiere wie Flagellaten, Amöben, Rädertierchen und Fadenwürmer. Bei niedrigen Bodentemperaturen von 2 °C sind viele Bodenorganismen noch aktiv und «arbeiten» langsam weiter, bis im Frühjahr die Aktivität mit zunehmenden Temperaturen wieder ansteigt und von Mai bis Juni einen Höhepunkt findet. Nachdem erst leicht verdauliche Kohlenstoffverbindungen abgebaut wurden, werden später auch schwer abbaubare Verbindungen (zum Beispiel Hemicellulosen und Lignine) zersetzt. Die verschiedenen organischen Stoffe passieren dabei mehrmals die Verdauungstrakte verschiedener Organismen und werden immer wieder

ausgeschieden. Schritt für Schritt wird das Material weiter fragmentiert, bis es, im Falle der Mineralisation, letztendlich zur Entstehung einfacher anorganischer Substanzen kommt (zum Beispiel: CO_2 , H_2O , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}). Hierbei sind vor allem Spezialisten wie Borstenwürmer, Ringelwürmer (Regenwürmer), Doppelfüßer, Asseln und Schnecken (BÖHLMANN 1982) beteiligt. Diese anorganischen Stoffe werden dann freigesetzt, von Pflanzen genutzt oder im Boden gespeichert (weiterführende Informationen im Abschnitt 2.11 «Der Boden als Lebensraum»).

Für die Bodenbildung, die Bodenfunktionen, die Kohlenstoffbindung und die Bodennutzung durch den Menschen ist jedoch entscheidend, in welchem Umfang es zur vollständigen Mineralisation oder zur Humusbildung kommt. Die entstehenden Huminstoffe sind je nach Stabilität und Umweltbedingungen ein mehr oder weniger dauerhafter Kohlenstoffspeicher beziehungsweise eine Nahrungsreserve für das Bodenleben und die Vegetation.

2.4.3 Aufbau der Bodenstruktur

Andere mineralische Bodenpartikel (besonders Tonmineralien) können zusammen mit Huminstoffen stabile Ton-Humus-Komplexe (Abbildung 2) bilden. Im Darm von bodenwühlenden Organismen (vorrangig Regenwürmer) werden nach der Nahrungsaufnahme organische mit mineralischen Bestandteilen vermischt, durch Stoffwechselprodukte verklebt und anschließend ausgeschieden. Diese Krümel werden durch andere Bodenorganismen weiter verklebt und verkittet. Pflanzenwurzeln und Pilzhypen verflechten die einzelnen Krümel noch miteinander. Es entstehen Ton-Humus-Komplexe, deren kapillare Bodenhohlräume (Abbildung 3) nicht durch kleinere Bodenbestandteile «verstopft» werden, die also gegenüber der sogenannten Verschlammung stabil sind und ihre große aktive Oberfläche behalten. Die Ton-Humus-Komplexe

mit ihrer Krümelstruktur bedingen somit maßgeblich eine hohe Wasserspeicherkapazität, speichern optimal pflanzenverfügbare Nährstoffe und können gut durch Wurzeln und Hyphen durchdrungen werden.

Ton-Humus-Komplexe haben große Oberflächen und sind vorwiegend negativ geladen. Aus diesem Grund lagern sich Kationen (zum Beispiel Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+}) oder Oxoniumionen (H_3O^+ -Ionen) an den Oberflächen an. Dadurch werden diese Ionen der Bodenlösung reversibel entnommen und die puffernde Wirkung entsteht. Die Menge der freien Kationen bestimmt den Nährsalzgehalt und die der freien H_3O^+ -Ionen den Säuregrad des Bodens. Das Ausmaß dieses Prozesses bestimmt die Kationenaustauschkapazität (KAK) von Böden, die ein gutes Maß zum einen für die Pufferkapazität und zum anderen für die Nährsalzspeicherfähigkeit von Böden ist.

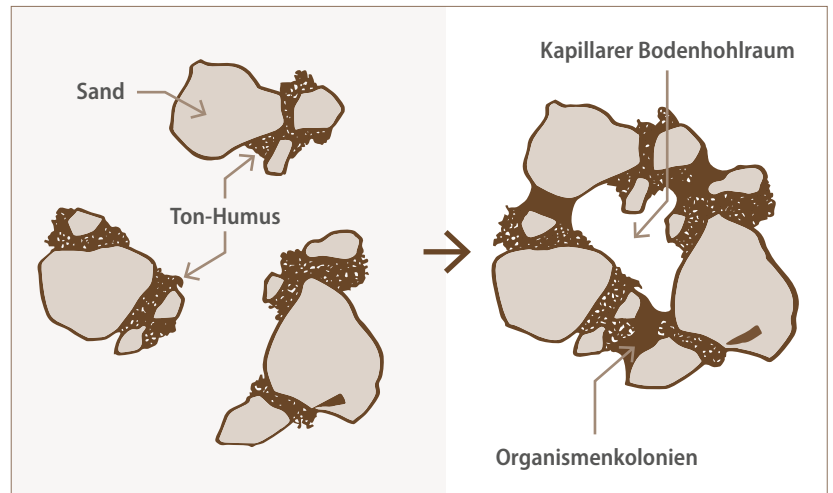


Abbildung 2-2

Bildung von Ton-Humus-Komplexen durch Bodenorganismen (nach BÖHLMANN 1982)

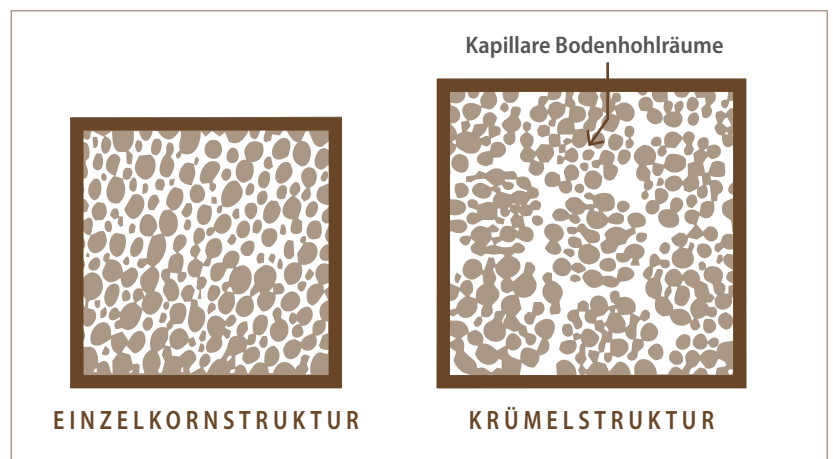


Abbildung 2-3

Gegenüberstellung einer Einzelkornstruktur (zum Beispiel Sandboden) und einer Krümelstruktur (zum Beispiel Humus, Schwarzerde) bei gleicher Bodenmenge (nach BÖHLMANN 1982)

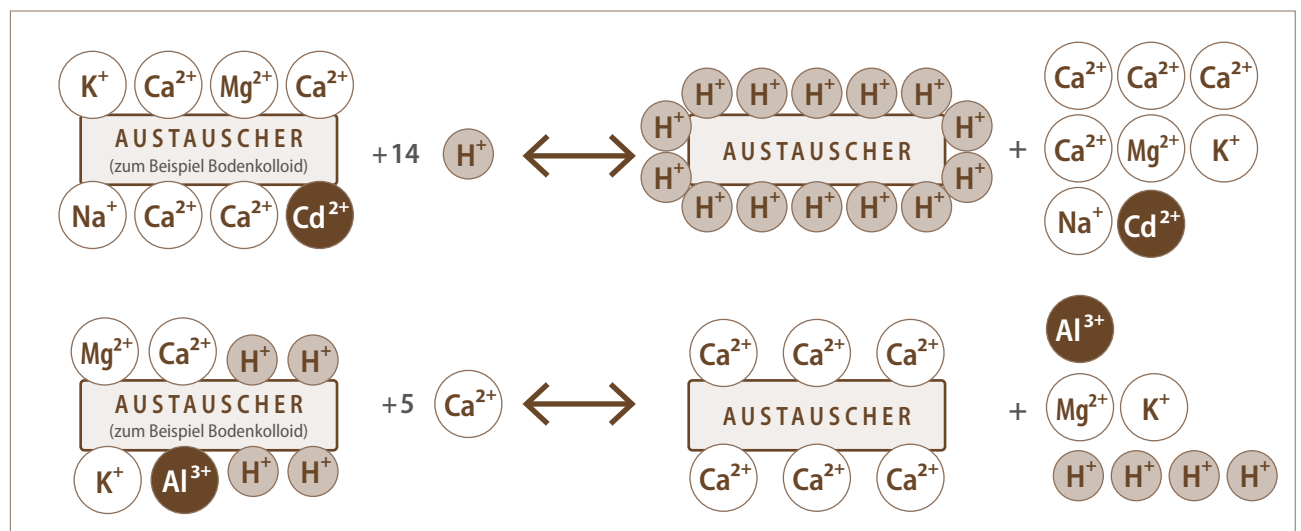


Abbildung 2-4

Kationenaustauschkapazität von Böden: Obere Zeile: Pufferung von pH-Wert-Änderungen; untere Zeile: Nährsalzaustausch. Allgemein gilt: Je größer die Kationenaustauschkapazität (KAK), desto größer ist die Pufferwirkung sowohl für Oxoniumionen als auch für Nährsalze (URL 2).

2.5 Bodentypen

Bodenbildende Prozesse sorgen ständig für Verwitterung und Materialverlagerungen im Boden. Die dabei entstehenden unterscheidbaren Schichten werden in der Bodenkunde Horizonte genannt, wenn sie pedogen (durch bodenbildende Prozesse) entstanden sind. Die Grenzen zwischen den Horizonten sind oft fließend und werden durch Unterschiede in Farbe und Konsistenz des Horizontes festgelegt. Von einer Bodenschicht hingegen spricht man, wenn diese geogen (zum Beispiel durch Sedimentation oder nacheiszeitliche Windverfrachtung) oder anthropogen (zum Beispiel durch Aufschüttung bei Bautätigkeiten) entstanden sind.

Man unterscheidet dabei die organischen Bodenhorizonte (O, H) und die mineralischen Bodenhorizonte (A, B, C).

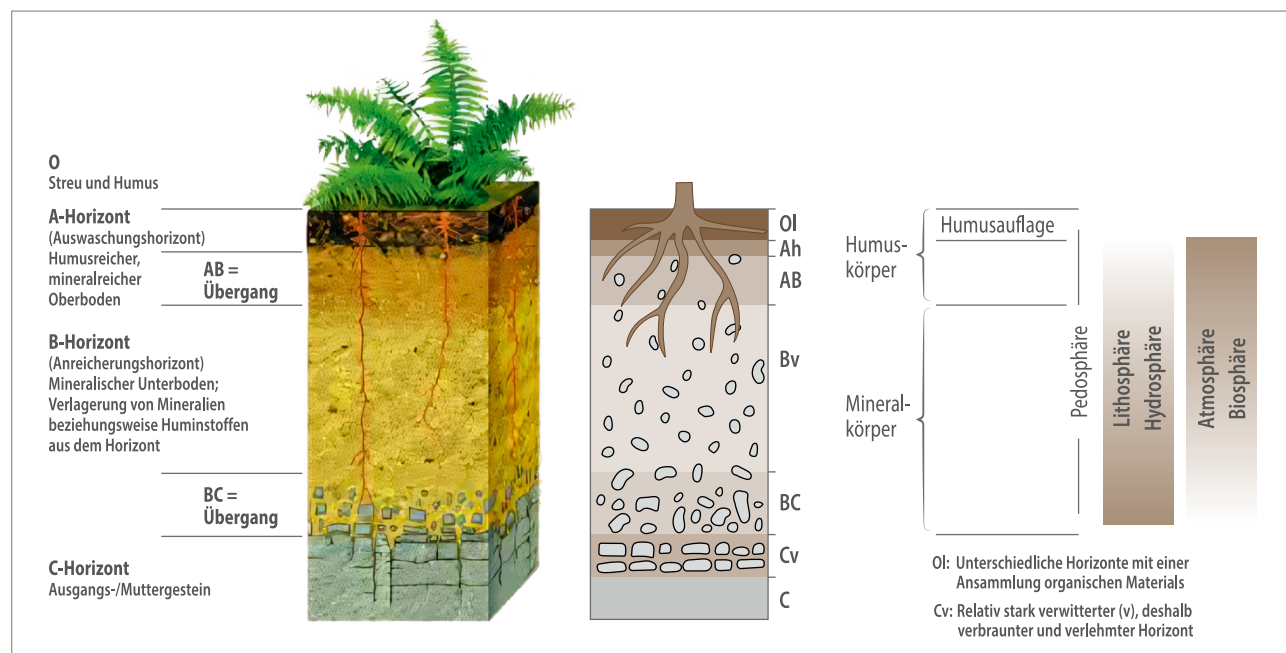
Bei den organischen Bodenhorizonten steht Ol (von englisch «litter») für die frische, noch unzersetzte Streuschicht, welche vor allem auf Waldböden durch viel Laub mächtig sein kann. O bezeichnet den darunter liegenden, rein organischen Horizont, in dem die Humusbildung stattfindet und der meist auf den

Mineralbodenhorizonten aufliegt. Torfaufgaben in Mooren werden als sogenannter H-Horizont abgegrenzt.

Bei den mineralischen Bodenhorizonten ist der A-Horizont der oberste, mit Humusanteilen kleiner 35 % vermischte Mineralbodenhorizont, der oft auch als Oberbodenhorizont bezeichnet wird. Unter bestimmten klimatischen Bedingungen können die Humusanteile ausgewaschen und in darunter liegende Horizonte verteilt werden. In diesem Fall wird der A-Horizont dann Auswaschungs- oder Eluvialhorizont (Ae) genannt. Im darunter liegenden B-Horizont finden wichtige chemische und physikalische Umwandlungen statt und es werden verschiedenste Stoffe eingelagert und ausgefällt. Häufig mit Tonen, Eisen- oder Aluminiumoxiden angereichert, wird er auch als Verwitterungs- oder Anreicherungshorizont bezeichnet. Der C-Horizont stellt das Ausgangsgestein dar. Es können feste Gesteine aber auch Lockersedimente sein (NESTROY et al. 2011). In unseren Breiten baut sich der C-Horizont bei fester Gesteinsgrundlage häufig aus Granit, Kalkstein, Sandstein oder Basalt auf. Beim Aufbau aus

Abbildung 2-5

Bild von Wald und Acker – Bodenaufbau unter einem Wald und einem gepflügten Acker (nach BÖHLMANN 1982)



Lockersedimenten sind es häufig Löss, Geschiebemergel, Auenlehme oder Dünensande.

Neben diesen grundlegenden Horizonten gibt es noch weitere Bodenhorizonte, die hier nur unvollständig, ohne nähere Erläuterung genannt werden sollen:

P	Mineralischer Unterbodenhorizont aus Tongestein
T	Mineralischer Unterbodenhorizont aus dem Lösungsrückstand von Carbonatgesteinen, die über 75 Gewichtsprozent Carbonat enthalten
S	Mineralbodenhorizont mit Stauwassereinfluss
G	Mineralbodenhorizont mit Grundwassereinfluss
F	Subhydrischer Bodenhorizont am Gewässergrund

In der Bodenkunde bezeichnet der Begriff «Bodentyp» eine Klassifikationseinheit, die durch eine charakteristische Abfolge von Bodenhorizonten und spezifische pedogene Merkmale definiert ist. Das bedeutet, dass Böden, die sich in ihrer Horizontabfolge und ihren typischen Eigenschaften ähneln, demzufolge einem gemeinsamen Bodentyp zugeordnet werden. Für Deutschland stellt die Bodenkundliche Kartieranleitung (in der 6. Auflage, AG BODEN 2024) die aktuelle Grundlage für die Klassifikation und Benennung der Bodentypen dar.

Die Horizonte werden jeweils mit Großbuchstaben (Hauptsymbole) bezeichnet und ihre beschreibenden Horizontmerkmale mit Kleinbuchstaben (Merkmalssymbole) ergänzt. Vor die Hauptsymbole gestellte Merkmalssymbole beschreiben geogene Merkmale, nach den Hauptsymbolen gestellte Merkmalssymbole charakterisieren pedogene Merkmale.

Im Folgenden eine unvollständige Übersicht der geogenen und pedogenen Merkmalssymbole nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 6; AG BODEN 2024), die für Süddeutschland bedeutsam sind.

Geogene Merkmalssymbole (Präfix)

SYMBOL	BEDEUTUNG
e	Äolisches Sediment: Windverlagerungen, häufig als Lössdecken im Alpenvorland
f	Fluviatiles Sediment: Flussablagerungen, weit verbreitet entlang von Donau, Neckar und Main
g	Glazigenes Sediment: Zum Beispiel Moränen, sehr wichtig im würm- und risseiszeitlich geprägten Alpenvorland
k	Kolluviales Sediment: Umlagerung in Hanglagen, durch Erosion und Abschwemmung von Bodenmaterial
a	Anthropogenes Substrat: Punktuell, zum Beispiel durch Aufschüttungen in Siedlungsnähe
l	Lakustrisches Sediment: Seeablagerung, oft sehr lokal, zum Beispiel in ehemaligen oder noch vorhandenen nacheiszeitlichen Seebecken
n, h	Bei Torfhorizonten übliche Bezeichnung von Niedermoor beziehungsweise Hochmoortorf

Pedogene Merkmalssymbole (Suffix)

SYMBOL	BEDEUTUNG
h	Humusanreicherung: Sehr häufig in A-Horizonten (Ah), typisch für nährstoffreichere Standorte
p	Pflughorizont: Weit verbreitet in landwirtschaftlich genutzten Gebieten
t	Tonanreicherung: Charakteristisch für Parabraunerden, häufig auf Löss oder tonreichen Substraten
b	Verbraunung: Typisch in Braunerden, durch oxidative Bildung von Eisenoxiden und Eisenhydroxiden
c	Carbonatanreicherung: In kalkreichen Böden, zum Beispiel im Jura oder auf Muschelkalk
s	Stauwassereinfluss (Pseudovergleyung): In Böden mit zeitweise stauender Nässe
g	Grundwassereinfluss (Gley): Redoxmerkmale in dauerhafteren Nassbereichen
e	Ausbleichung (Eluvialhorizont) durch Ton- und Eisenverlagerungen
x	Anthropogen umgelagert oder gestört: Lokal in Böden, die stark durch Bau- oder Landwirtschaftseingriffe verändert sind
o, r	Oxidierendes, beziehungsweise reduzierendes Milieu, beispielsweise in Gleyhorizonten

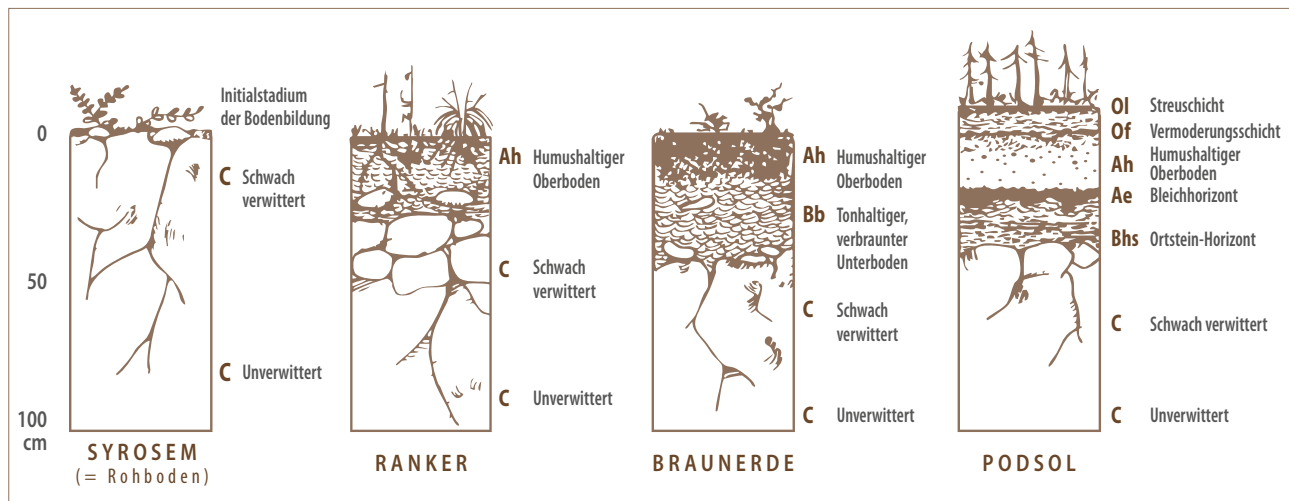


Abbildung 2-6

Vergleich verschiedener
Bodenprofile auf Granitgestein
(nach BÖHLMANN 1982)

Die bekanntesten Bodentypen unserer Breiten sind Braunerden und Podsole, deren Entstehung in Abbildung 8 exemplarisch dargestellt ist. Auf dem anfangs schwach verwitterten Granit beginnen sich erste Pflanzen anzusiedeln und mit ihren Wurzeln in die Gesteinsrisse einzudringen. Dieses sehr frühe, noch horizontlose Stadium der Bodenentwicklung wird Syrosem genannt. Mit zunehmender Vegetationsentwicklung und Gesteinsverwitterung (biologisch, chemisch und physikalisch) bildet sich langsam ein humushaltiger Oberboden. Dieses sehr flachgründige, noch schwach entwickelte Bodenstadium wird Ranker genannt und es sind nun ein A- und ein C-Horizont unterscheidbar. Erst viel später entsteht durch Verlehmung (Silikatverwitterung und Neubildung von Tonmineralen) und Verbraunung (durch Verwitterung verfärbte Eisenverbindungen) ein B-Horizont, der immer mächtiger wird und letztendlich Braunerde bildet. Mit weiterer Verwitterung und Auswaschung kommt es zum sogenannten Podsol.

Die Braunerde ist charakterisiert durch einen humusreichen A-Horizont, einen verbrauchten B-Horizont (Bb mit Eisenoxidation und Mineralneubildung) und einen verwitterten C-Horizont. Das Ausgangsmaterial ist dabei eher silikatisch und kalkarm. Braunerden werden je nach Ausgangsgestein landwirtschaftlich genutzt, da die Nährstoff- und Wasserkapazitäten hoch sind.

Ein Podsol ist ein mit Nährstoffen verarmter Bodentyp mit niedrigem pH-Wert. In der Land- und Forstwirtschaft wird er als unfruchtbar bezeichnet. Das Ausgangsgestein ist hierbei quarzreich (zum Beispiel Sandstein oder Granit). Es können aber auch lockere Flugsande die Basis bilden. Ein Mangel an Tonmineralen führt zu geringem Puffervermögen. Die bodensaurigen Verhältnisse führen zu einer Auswaschung von Eisenverbindungen, Aluminiumhydroxiden und Huminstoffen mit dem versickernden Wasser, wodurch im oberen Bereich ein heller Bleichhorizont (Ae) und weiter unten ein stark verfestigter Anreicherungshorizont (Bhs = Anreicherung von Humus, Eisen- und Aluminiumverbindungen) entsteht, der auch Ortsteinhorizont genannt wird.

Auf einem kalkhaltigen Ausgangsgestein entwickelt sich, anstelle des Rankers eine Rendzina, die klassischerweise im Gebirge (Kalkstein) oder in Karstlandschaften anzutreffen ist. Auch auf einer Rendzina kann sich bei bestimmten Bedingungen Braunerde oder auch Schwarzerde entwickeln.

Alle grundwasserbeeinflussten Böden fallen unter den Begriff Gley. Bei der sogenannten Vergleyung führt die Grundwassersättigung zu Oxidations- und Reduktionsprozessen im Boden. Wenn Eisenverbindungen in reduzierter Form vorliegen, sind diese zumeist

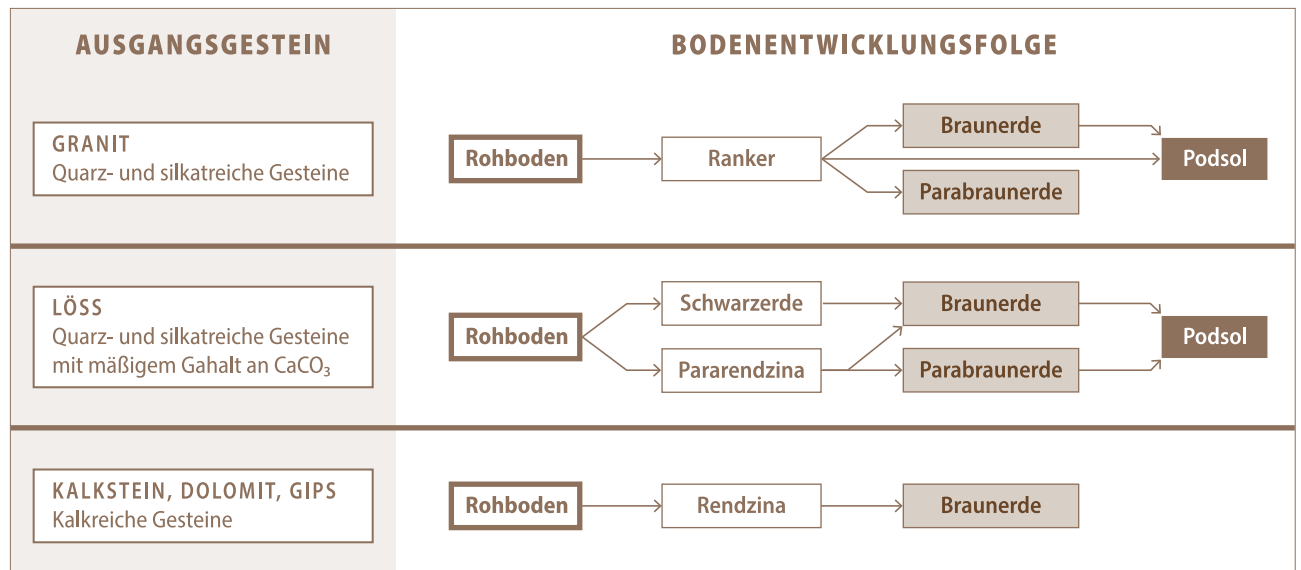


Abbildung 2-7
Bodenentwicklung
in Abhängigkeit vom
Ausgangsgestein

wasserlöslich, bewegen sich also im Bodenwasser und führen bei nachfolgender Oxidation zu immobilen rötlichen »Rostflecken« im Boden. Das große G steht in der Horizontbezeichnung für die Grundwasserbeeinflussung, wobei ein kleines o für oxidierendes Milieu und ein kleines r für reduzierendes Milieu steht. Die typische Horizontabfolge eines klassischen Gleys ist: Ah/Go/Gr. Während der Go-Horizont oberhalb des Grundwasserspiegels liegt, zeitweise belüftet ist und mit rötlichen Rostfle-

cken (Eisenoxide mit Fe^{3+} -Ionen) an den Aggregatoberflächen und den Wurzelröhren versetzt ist, weist der Gr-Horizont durch die Sauerstoffarmut eher eine blau/grün-graue Färbung auf. Der Gr-Horizont ist dauerhaft wassergesättigt, somit sauerstoffarm, und die Eisenhydroxide liegen als farblose Verbindungen mit Fe^{2+} -Ionen vor.

Stauwassergeprägte Böden ohne Grundwassereinfluss werden als Pseudogleye bezeichnet.

2.6 Bodenarten

Neben den im vorangehenden Abschnitt besprochenen Bodentypen ist auch die Bodenart ein wichtiger Parameter, wenn es darum geht, die ökologischen Eigenschaften, Potenziale und Limitierungen eines Bodens zu verstehen. Unter der Bodenart versteht man die Korngrößenzusammensetzung des mineralischen Bodenmaterials.

Korngrößen über 2 mm Durchmesser ordnet man dem sogenannten Grob-
boden zu. Die Korngrößenfraktionen
mit einem Durchmesser kleiner 2 mm
bilden den für landwirtschaftliche Ent-

scheidungen und ökologische Fragestellungen wichtigen Feinboden. Die Bodenart wird bestimmt durch die anteilige Zusammensetzung eines Bodens aus den drei Korngrößenfraktionen des Feinbodens:

- Sand
(Korngrößen 2 mm bis 63 μm)
- Schluff
(Korngrößen 63 μm bis 2 μm)
- Ton (Korngrößen kleiner 2 μm)

Man unterscheidet die vier grundlegenden Bodenhauptgruppen (s, l, u, t) mit mehreren Bodenartgruppen und Bodenarten. Hier ein kurzer Überblick über die Bodenarthauptgruppen und die zugehörigen Bodenartengruppen:

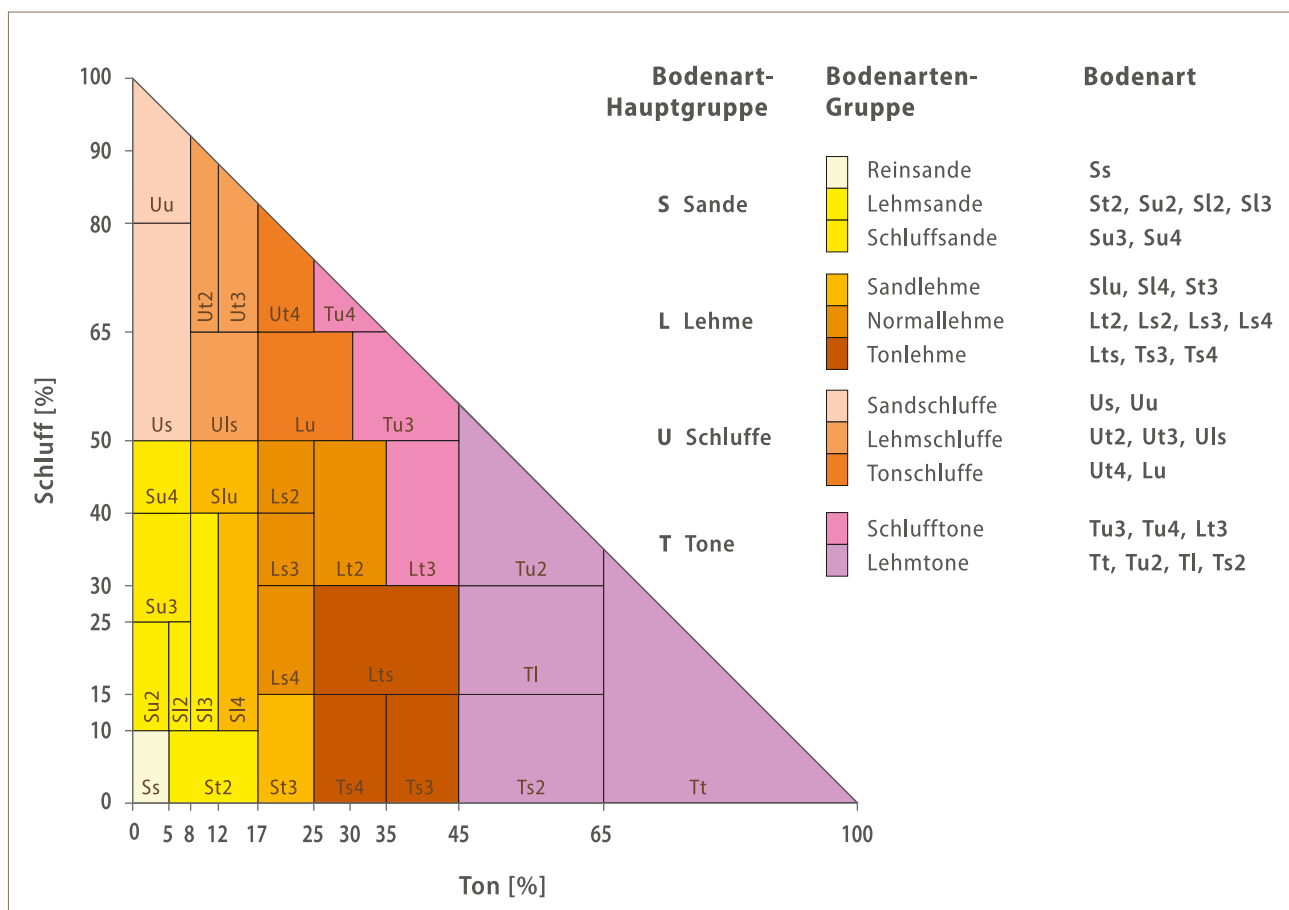
- **Sande (S):**
Reinsande (ss), Lehmsande (ls), Schluffsande (us)
- **Lehme (L):**
Sandlehme (sl), Normallehme (ll), Tonlehme (tl)
- **Schluffe (U):**
Sandschluffe (su), Lehmschluffe (lu), Tonschluffe (tu)
- **Tone (T):**
Schlufftone (ut), Lehmtone (lt)

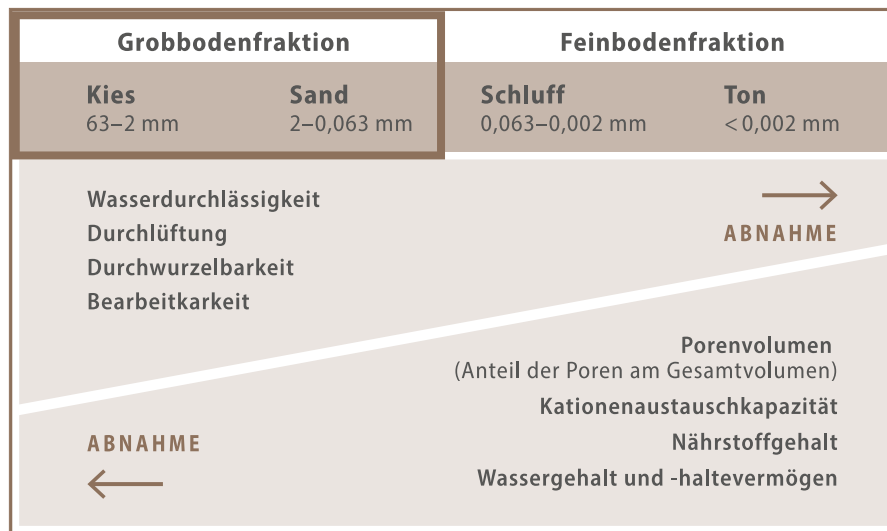
Das Wissen darüber ist besonders wichtig, wenn es um die Wahl der Kulturpflanzen geht oder darum, welche Maßnahmen einer Bodenverbesserung dienlich wären.

Im Labor wird die Bodenart durch eine Körnungsanalyse bestimmt. Durch Siebung (Sand) und Sedimentation (Schluff und Ton) werden die prozentualen Masseanteile der Korngrößenfraktionen bestimmt. Am Feinbodenartendiagramm (Abbildung 2-8) kann aus den prozentualen Massenanteilen der Fraktionen Schluff und Ton die Bodenart bestimmt werden.

Im Gelände kann die Bodenart durch Tasten und Formen der Bodenprobe bestimmt werden. Bei dieser sogenannten Fingerprobe werden leicht angefeuchtete, bestenfalls bodenfrische Proben verwendet und deren Bindigkeit, Formbarkeit und Körnigkeit beurteilt (siehe **Module B 1** und **B 2**).

Abbildung 2-8
Feinbodenartendiagramm
(auch Korngrößen- oder
Bodenartendreieck) mit
Klassifikation des Feinbodens



**Abbildung 2-9**

Die Korngrößen bestimmen die Bodenart und damit die Eigenschaften des Bodens (URL 2).

Ein Sandboden aus Reinsand (Ss) enthält beispielsweise nur maximal 5 % Schluff und maximal 10 % Ton, wobei die Hauptmenge aus Quarzkörnern (SiO_2) und einigen sonstigen Mineralen wie Feldspat und Glimmer besteht. All dies sind Bestandteile von Granit, welcher schließlich zu Sand verwittert ist. Die Korngrößenfraktion Sand ist vorherrschend und es besteht nur ein sehr geringes Sorptionsvermögen. Wasser und damit auch Nährstoffe können kaum gegen die Schwerkraft gehalten werden. Böden mit hohem Sandanteil zeigen daher eine hohe Wasserleitfähigkeit, geringes Wasserhaltevermögen, bei intensiver Belüftung und einer geringen Kationenaustauschkapazität. Sie sind aber gut durchwurzelbar und können leicht bearbeitet werden. Umgangssprachlich werden sie daher als «leichte» Böden bezeichnet.

Böden mit einem hohen Tonanteil zeigen eine niedrige Wasserleitfähigkeit, aber ein hohes Wasserhaltevermögen

bei häufig hoher Kationenaustauschkapazität. Doch ein hoher Tonanteil hat aufgrund seiner sehr kleinen Korngrößen auch sehr enge Bodenzwischenräume, die in der Summe nur wenig Wasser aufnehmen können, das aufgrund der schlechten Durchwurzelbarkeit auch nur schlecht von Pflanzenwurzeln zu erreichen ist. Aufgrund der schweren Bearbeitbarkeit von Tonböden werden diese umgangssprachlich als «schwere» Böden bezeichnet.

Schluffböden sind aus Sicht der Pflanzenwurzeln am günstigsten. Bei uns gehören diese auch zu den ertragreichsten Böden, da sie das Wasser und die Nährstoffe gut halten können und schnell stabile Bodenkrümel entstehen, die eine gute Voraussetzung für ein aktives Bodenleben sind. Verallgemeinernd kann gesagt werden, dass Böden mit einseitiger Korngrößenverteilung eher ungünstig und Böden mit ausgeglichener Korngrößenverteilung eher günstig für die Bewirtschaftung sind.

2.7 Bodenporen

Für die Bodenfruchtbarkeit gehören die Hohlräume, Kapillaren und Poren im Boden aufgrund der Belüftung zu den wichtigsten Eigenschaften, da sie die Belüftung und die Saugspannung von Böden beeinflusst.

Ohne Belüftung und die resultierende Sauerstoffzufuhr können Pflanzenwurzeln und aerobe Bodenlebewesen nicht existieren und es kommt (für die genannten aeroben Lebewesen) zu lebensfeindlichen anaeroben Bedingungen im Boden. Die Saugspannung (= Matrixpotenzial) gibt an, wie fest das Wasser an die Bodenmatrix gebunden ist und welche Kräfte nötig sind, um es im Boden zu bewegen. Somit ist die Saugspannung auch dafür entscheidend, wie viel Energie eine Pflanzenwurzel benötigt, um Wasser aus dem Boden zu lösen. Sie wird ebenfalls wesentlich durch Kapillarkräfte und die Bodenstruktur bestimmt. Die Saugspannung beschreibt die Fähigkeit des Bodenwassers, entgegengesetzt der Schwerkraft aufzusteigen, und wird durch die Kapillarität und das Korngerüst bestimmt. Je mehr das Korngerüst aus feinen, zusammenhängenden Poren aufgebaut ist, desto größer sind die Adhäsionskräfte (Wasser-Boden), die nun mit den Kohäsionskräften (Wasser-Wasser) sogar zum kapillaren Wasseraufstieg führen können. Bei größeren Hohlräumen überwiegen die Gewichtskräfte der Wasserportion die der Oberflächenspannung (Kohäsionskräfte und Adhäsionskräfte) und das Wasser fließt entsprechend der Schwerkraft nach unten weg. Das bedeutet, die Pflanze muss bei der vertikalen Aufnahme von Wasser nun auch noch die Gewichtskräfte überwinden.

Man unterscheidet folgende Porentypen (BLUM & SCHAD 2024):

- Grobporen: Mittlerer Durchmesser größer 10 μm , sickerwasserführend, nach der Drainage von Sickerwasser mit Luft gefüllt
- Mittelporen: 0,2 bis 10 μm , verfügbares Haftwasser haltend, bei Austrocknung mit Luft gefüllt
- Feinporen: Kleiner 0,2 μm , nicht verfügbares Haftwasser (Totwasser) haltend, nur bei starker Austrocknung mit Luft gefüllt

Je nach Porenvolumen kann ein Boden bis zu 200 Liter Wasser pro Kubikmeter Bodenvolumen speichern und die Pflanzen versorgen (WALKER 2024). Das Porenvolumen und die Porengrößen sind unter anderem abhängig von der Korngröße und der Bodenart. Dabei bewirkt ein hoher Anteil großer Partikel ein insgesamt geringes Gesamtporenvolumen, bei zugleich vielen Grobporen. Ein hoher Anteil feiner Partikel bedingt ein höheres Gesamtporenvolumen und vermehrt Feinporen. Um dies zu verdeutlichen, sollen hier zwei theoretische Beispiele von in der Natur nie vorkommenden Reinformen von Korngrößenfraktionen genannt werden:

- Grobsand, nur Partikel mit 1.000 μm : Porenvolumen 40 %, mittlere Porengröße 200 μm
- Schluff, nur Partikel mit 6 μm : Porenvolumen 50 %, mittlere Porengröße 2 μm

Von den Primärporen, die durch die Anordnung der Partikel bedingt sind, unterscheidet man die anderweitig entstandenen Sekundärporen, die in der Regel in ihrer Größenausdehnung zu den Grobporen gehören. Sekundärporen entstehen nach BLUME et al. (2010) und GİSİ et al. (1997) durch

1. periodisches Quellen und Schrumpfen bei Nässe,
2. Ausfällen und Ablagern von Eisenoxiden um die Poren
3. Tonverlagerung,
4. verklebende Schleimstoffe aus dem Darm von Regenwürmern sowie Verkittung von Pilzhyphen,
5. Wurzel- und Regenwurmgänge oder
6. Verrottung organischer Substanzen.

Selbst in ungenutzten Böden kommt es durch Einlagerungsverdichtung (zunehmender Verlust von Hohlräumen durch Einlagerung kleiner Bodenteilchen) sowie durch Sackungsverdichtung (Verdichtung in den tieferen

Horizonten des Profils, durch das Eigengewicht) auf natürliche Art und Weise zu einer zunehmenden Verfestigung des Bodens (URL 3). Zudem führt die Befahrung von Böden mit schweren Maschinen zur Verdichtung des sensiblen Bodengefüges.

Die derzeitig zunehmenden Starkregenereignisse machen es notwendiger denn je, das Wasser in der Landschaft speichern zu können. Die durch das Bodenleben gebildeten biogenen Sekundärporen sind hierbei außerordentlich wichtig. Sie sind größtenteils von der Art der Bodenbewirtschaftung abhängig und beeinflussen den Grad der Verdichtung maßgeblich. Eine daraufhin ausgerichtete, positiv wirkende Bewirtschaftung kann große Effekte erzielen. Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, gesunde Böden auch unter dem Aspekt des Wasserrückhaltes großflächig zu erhalten und zu fördern.

ERLÄUTERUNG

Entstehung von Sekundärporen durch Ausfällen von Eisenoxiden (Punkt 2):

Eisenverbindungen im Boden (insbesondere Eisen [III]-oxid-hydrate wie Hämatit oder Goethit) können in Böden aus den Lösungen (zum Beispiel aus dem Sickerwasser) in Form von Eisenionen oder Eisenkomplexen (wie Fe^{2+} oder Fe^{3+}) vorliegen. Diese Eisenverbindungen können im Boden bei passenden chemischen Bedingungen kristallisieren (zum Beispiel durch pH-Wert-Veränderungen oder eine Änderung der Redoxbedingungen).

2.8 Bodenfunktionen

Um den Wert des Bodens hervorzuheben, wurde 1998 das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten) erlassen, welches in § 2 Absatz 2 die Funktionen für den Menschen definiert. Erst zu dieser Zeit wurde der Boden gesetzlich zu einem elementaren Bestandteil der Ökosysteme und damit zum dritten wichtigen Umweltmedium neben Luft und Wasser erklärt. Zweck des Gesetzes ist es, die Pflichten und Vorsorgemaßnahmen hinsichtlich Bodenveränderungen (Landnutzung, Bauvorhaben, Altlastensanierung und so weiter) zu regeln und die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern. Nach Boden-

schutzgesetz § 1 sind «... schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerverunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen ...».

Im aktuellen «Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz» der Bundesregierung (BMUV 2023) werden Böden als «die zentralen landgebundenen Kohlenstoffspeicher» bezeichnet. «Sie übernehmen eine wichtige Funktion bei der Freisetzung und Einbindung von Treibhausgasen, vor allem CO_2 . Gesunde Böden stärken auch die Resilienz der Ökosysteme gegenüber der Klimakrise» (BMUV 2023).

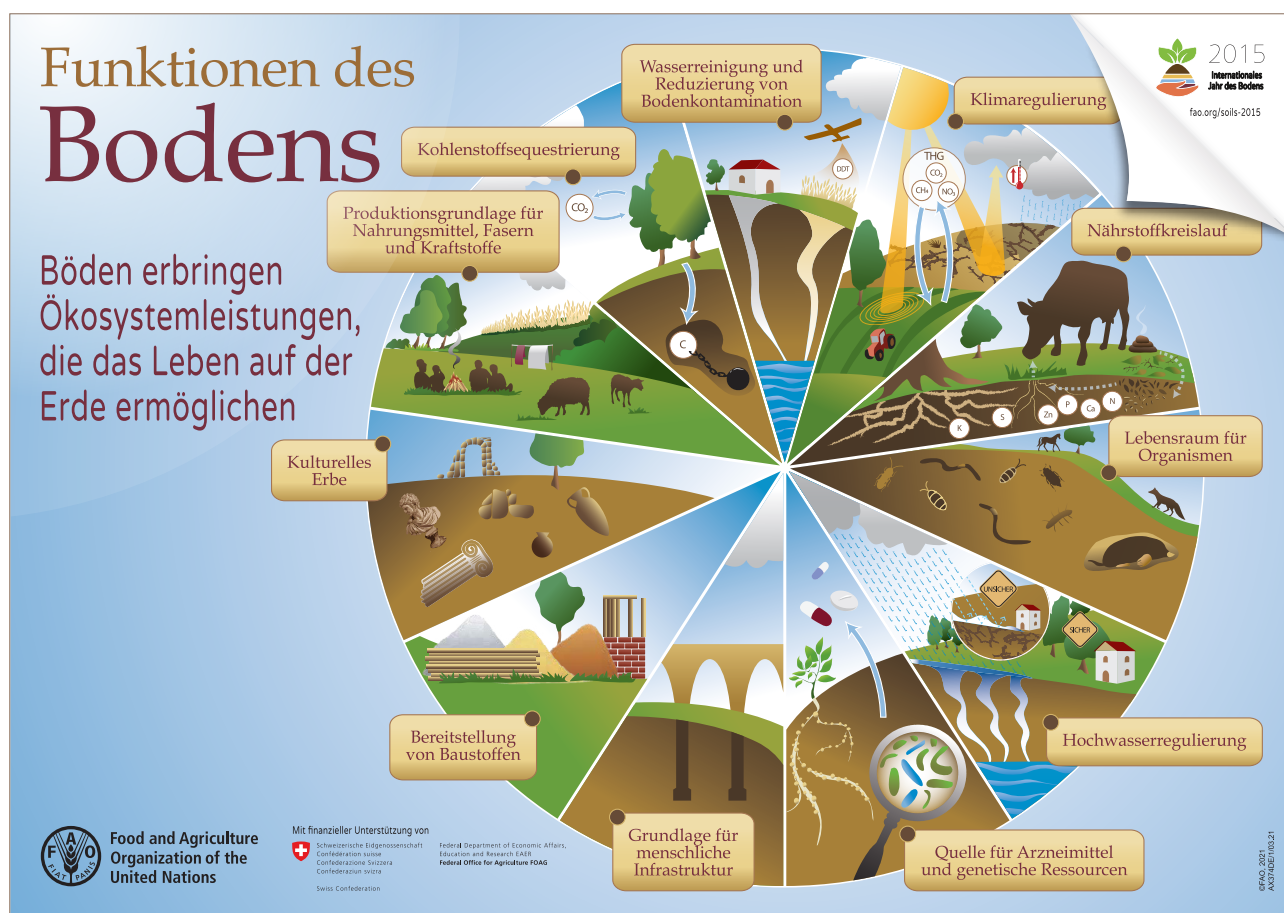
Der Schutz der Böden und der Erhalt ihrer Fruchtbarkeit sind zentrale Schlüssel, wenn es um die Bewältigung der aktuellen ökologischen Herausforderungen geht (PEREIRA et al. 2018). Es gibt unzählige einfache Maßnahmen für die globalen Probleme der Menschheit, wenn wir sie vom Boden her betrachten (LI et al. 2023).

In diesem Kapitel werden einige der besonders wichtigen Funktionen der Böden erläutert.

2.8.1 Boden als Kohlenstoffspeicher
Böden spielen eine Schlüsselrolle beim Klimaschutz, denn sie haben ein enormes Potenzial Kohlenstoff einzulagern. Diesen Prozess der langfristigen Bindung von Kohlenstoff in natürlichen Speichern nennt man Kohlenstoffsequestrierung. Böden sind nach den Weltmeeren der zweitgrößte Kohlenstoffspeicher der Erde.

Das organische Material im Boden ist ausschlaggebend für dessen Fruchtbarkeit, weil die organische Substanz im Boden zu höheren Nährstoff- und Wasserspeicherkapazitäten der Böden führt (GERKE 2022). Gleichzeitig stellen Zersetzungsprozesse durch Bodenorganismen eine der natürlichen Hauptquellen von emittiertem Kohlenstoffdioxid dar (ROMANÍ et al. 2006). Temperaturerhöhung kurbelt die Zersetzungsprozesse an, wodurch die Emissionsraten steigen (Cox et al. 2000). Es wird angenommen, dass jährlich 10-mal mehr CO_2 aus Böden als bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt wird (SCHRUMPF & TRUMBORE 2021). In ackerbaulich genutzten Böden wird durch die Bodenbearbeitung und Belüftung die aerobe Zersetzung organischer Bodenbestandteile und damit die Freisetzung von CO_2 stark vorangetrieben. Landwirtschaftlich genutzte Böden spielen eine große

Abbildung 2-10
Die elf wichtigsten
Bodenfunktionen, FAO



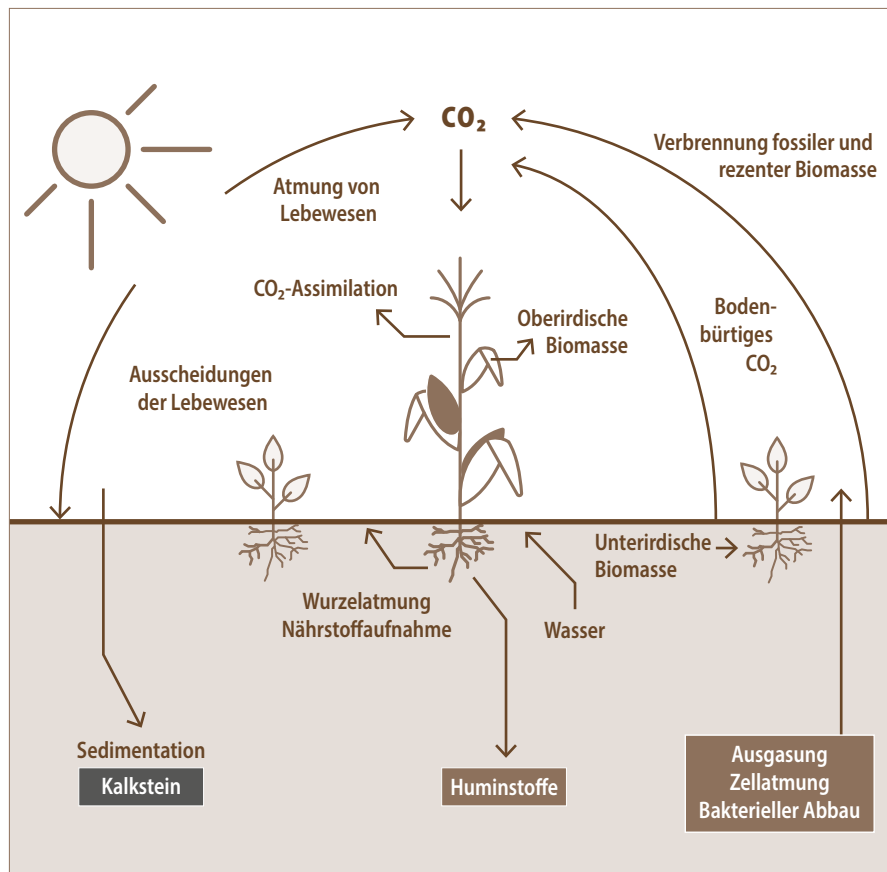


Abbildung 2-11
Kohlenstoffkreislauf
und Humusaufbau
(nach BÖHLMANN 1992)

Rolle innerhalb des Kohlenstoffkreislaufes. Die Bearbeitungsintensität und -art bestimmen die Menge des organischen Materials im Boden. 1.000 kg Humus enthalten in etwa 580 kg Kohlenstoff und 58 kg Stickstoff (VHE 2020). Der Verlust von einem Masseprozent (= Gewichtsanteil in Prozent) Humus bedeutet eine Freisetzung von rund 45 Tonnen CO_2 pro ha und Jahr. Weltweit ist es jedoch auch von großer Bedeutung, die andauernden Verluste an Bodenkohlenstoff durch die Entwaldung (weltweit etwa 0,10 bis 0,15 Gt pro Jahr) und die Entwässerung von Mooren (weltweit aktuell mindestens 0,21 Gt pro Jahr) zu stoppen (TUBIELLO et al. 2016; LEIFELD & MENICETTI 2018).

Die bundesweite Bodenzustandserhebung des Thünen-Instituts (FLESSA et al. 2019) brachte als Langzeituntersuchung wertvolle Ergebnisse. Eine der größten CO_2 -Emissionsquellen der Landwirtschaft entstammt der Nutzung organischer

Böden (Moorböden). Moorböden stellen nur 6 % der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland dar, jedoch werden hier 24 % der gesamten landwirtschaftlichen Kohlenstoffvorräte gespeichert, die durch Entwässerung und Bodenbearbeitung schnell freigesetzt werden. Mit steigendem Grundwasserstand nehmen auch die Kohlenstoffvorräte zu, wohingegen sie bei zunehmender Trockenheit und höheren Temperaturen als Emissionen freigesetzt werden. Durch Trockenlegung und landwirtschaftliche Nutzung der Moore kommt es zu einer jährlichen Freisetzung von rund 53 Millionen CO_2 -Äquivalente (SCHWARZER & SCHEUB 2023). Grünland speichert rund 40 % mehr Kohlenstoff als Acker. Laut Hochrechnungen verlieren Mineralböden in Deutschland unter ständiger Ackernutzung durchschnittlich 0,19 t organischen Kohlenstoff pro Hektar und Jahr. Das sind 8 Millionen Tonnen CO_2 pro Jahr deutschlandweit (weiterführende Informationen in Kapitel 2.10.2 Böden in der Landwirtschaft).

EXKURS: Wie kommt Kohlenstoff in den Boden?

Grüne Pflanzen sowie photoautotrophe Mikroorganismen sind die einzigen Organismen auf der Erde, die Photosynthese betreiben können und somit als Primärproduzenten gelten. Die gebildeten energiereichen Kohlenstoffverbindungen werden zum Aufbau jeglicher Biomasse benutzt, werden teilweise über die Wurzeln im Boden als Exsudate ausgeschieden und sind die Grundlage für Humusbildung (BARDGETT et al. 2014). Um zudem die Mikronährstoffe aufzunehmen, die für ein robustes Pflanzenwachstum und den Pflanzenstoffwechsel erforderlich sind, muss das Mikrobiom die im Boden vorhandenen Nährstoffe umwandeln. Das Mikrobiom wiederum wird unter anderem von den Exsudaten der Pflanze ernährt, wodurch sich vermehrt Mikroorganismen im Wurzelraum (Rhizosphäre) ansiedeln (EISENHAUER et al. 2017; SASSE et al. 2018). Wenn man die Wurzel ausgräbt und leicht schüttelt, sind es die an den Wurzeln klebenden Bodenaggregate, welche die Rhizosphäre ausmachen. Dies ist der vielfältigste und gleichzeitig nährstoffreichste Bereich im Boden. Pilze verkleben die Bodenpartikel mit der Pflanzenwurzel und nutzen ebenfalls die Zuckermoleküle, die sie als Exsudate über die Pflanzenwurzel bekommen.

Der Aufbau der polymeren Humusmoleküle erfolgt mikrobiell, wohingegen die Pflanze Energie (über die energiereichen Kohlenstoffverbindungen in den Exsudaten) zur Verfügung stellt, die für den Aufbau der Verbindungen gebraucht werden. Je mehr oberirdisch fotosynthetisch aktive Pflanzenbiomasse vorhanden ist und je mehr Bodenleben unterirdisch vorhanden ist, desto mehr Humus kann folglich aufgebaut werden. Wenn wir uns dieses Wissen zunutze machen, sollte es im Sinne einer effektiven Kohlenstoffsequestrierung und im Angesicht der Bodenfruchtbarkeit das Bestreben der Landwirtschaft sein, eine permanente Bodenbedeckung zu gewährleisten und ein möglichst biodiverses Bodenleben zu etablieren, um Humus aufzubauen und dadurch auch Wasser und Nährstoffe im System zu halten, um sie nicht extern zuführen zu müssen.

Physiologische Untersuchungen zeigten schon früh, dass es bei erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalten zu einem stärkeren Pflanzenwachstum kommt und es wurde angenommen, dass dies auch mit einer positiv korrelierten Zunahme des Bodenkohlenstoffgehaltes verbunden ist. Eine neuere Metastudie (TERRER et al. 2021) untersuchte nun, wie sich dieses gesteigerte Pflanzenwachstum bei ansteigendem atmosphärischen Kohlenstoffdioxidgehalt im ökologischen Kontext auf die Kohlenstoffsequestrierung auswirkt. Überraschenderweise geht das gesteigerte Pflanzenwachstum oft mit einer Abnahme des Bodenkohlenstoffgehalts einher. Diese negative Korrelation basiert darauf, dass Pflanzen bei erhöhtem CO_2 -Gehalt mehr Kohlenstoffverbindungen in die Wurzeln und das Bodenmikrobiom investieren, um Nährstoffe im Boden zu mobilisieren. Der somit beschleunigte Abbau organischer Substanz führt zu Abnahme des Bodenkohlenstoffgehalts bei erhöhtem Pflanzenwachstum. Die Beobachtungen zeigen auch, dass Grasländer und Wälder hier unterschiedliche Strategien zeigen, was wohl durch unterschiedliche Mykorrhiza-Typen begründet werden kann.

- **Ektomykorrhiza (ECM)**-assoziierte Pflanzen, die häufig in Wäldern vorkommen, fördern starkes Pflanzenwachstum, aber auf Kosten des Bodenkohlenstoffgehalts.
- **Arbuskuläre Mykorrhiza (AM)**-assoziierte Pflanzen, die häufig in Grasländern leben, zeigen geringeres Wachstum, fördern aber Anreicherung von Bodenkohlenstoff.

Zusammenfassend zeigen die Grasländer bei erhöhtem atmosphärischen Kohlenstoffdioxidgehalt eine Zunahme des Bodenkohlenstoffgehaltes um 8 % bei einer Zunahme der Pflanzenbiomasse um 9 %. In den Wäldern hingegen erfolgt keine signifikante Änderung des Bodenkohlenstoffgehaltes bei einer deutlichen Zunahme der Pflanzenbiomasse um 23 %.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Grasländer ein bislang unterschätztes größeres Potenzial zur Kohlenstoffsequestrierung haben und die Kohlenstoffbindung in Wäldern bislang deutlich überschätzt wurde.

2.8.2 Boden als Basis unseres Wasserhaushalts

Der Boden spielt eine entscheidende Rolle beim Wasserrückhalt, der Grundwasserneubildung und der Wasserfiltrierung. Der Wasserhaushalt des Bodens wird durch die Niederschlagsmenge, die Versickerung, den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasservorrat, der Verdunstung (aus dem Boden und von Blattoberflächen) und durch die Wasseraufnahmefähigkeit der Pflanzen beeinflusst.

2.8.2.1 WASSERSPEICHER-FUNKTION

Die **Evapotranspiration** ist der gesamte Wasserverlust aus einem Ökosystem an die Atmosphäre und besteht aus der Transpiration (Abgabe von Wasser durch Lebewesen) sowie der Evaporation (Wasserverdunstung von Oberflächen), zum Beispiel aus den Böden oder von Wasserflächen. Das Zurückhalten von Niederschlägen auf den Oberflächen der Vegetation wird als **Interzeption** bezeichnet. In Wäldern ist die **Interzeption** aufgrund des großen Kronenbereichs der Bäume größer als im Offenland. Dieses «abgefangene» Wasser gelangt bei Bäumen teilweise über den sogenannten Stammabfluss zum Boden, wobei jedoch (je nach Temperatur und Art der Pflanzen) ein Großteil während des Prozesses wieder in die Atmosphäre evaporiert wird. Dieses Wasser steht der Grundwasserneubildung oder dem Pflanzenwachstum nicht zur Verfügung, doch die Bedeutung dieses Wassers ist für den lokalen und globalen Wasserkreislauf enorm groß.

Die **klimatische Wasserbilanz** ist die Differenz zwischen der Jahresniederschlagssumme und der Evapotranspiration. Negative Werte deuten dabei auf einen Wassermangel hin, wobei positive Werte auf einen Wasserüberschuss hinweisen.

Besonders Böden mit mächtigen und vor allem von Pflanzen bewach-

senen Humusaufgaben lassen das Wasser gut infiltrieren und langfristig speichern. Der Bodentyp beeinflusst dabei die Infiltration in der Tiefe. Aufgrund der häufig sehr mächtigen Streuauflage ist in reinen Nadelwäldern durch die schwer zersetzbaren Nadeln mit ihrer wachsartigen, wasserabweisenden Kutikula der Oberflächenabfluss viel höher als in Laubwäldern. Ein höherer Oberflächenabfluss bedeutet weniger Grundwasserspeisung und eine größere Hochwassergefahr in naheliegenden Siedlungsgebieten. In Laub- beziehungsweise Mischwäldern kommt es demgegenüber zum flächigen Rückhalt des Niederschlags durch eine langsame Tiefenversickerung (aufgrund tiefer Verwurzelung) und somit zu einer langfristigen Wasserspeicherung (PUHLMANN 2023). Laubwälder haben im Vergleich zu Nadelwäldern zudem einen höheren Albedoeffekt, was bedeutet, dass die Sonneneinstrahlung stärker reflektiert wird (SCHWAAB et al. 2020). Weiterhin transpirieren Laubwälder, während der sommerlichen Vegetationsperiode mehr Wasser, was insgesamt zu einem kühleren Lokalklima führt als bei Nadelwäldern und den lokalen, sogenannten kleinen Wasserkreislauf besser unterstützt.

2.8.2.2 WASSERFILTER-FUNKTION

Für die Reinigung unseres Trinkwassers ist der Boden die wichtigste Komponente. Die Filterfunktion kann in drei Klassen eingeteilt werden, die sich gegenseitig beeinflussen.

1. **Physikalische Filterfunktion:**
Böden wirken wie ein feines Sieb, wobei der Boden Schmutz- und Schadstoffpartikel des versickernden Niederschlagswassers abfängt. Besonders gut filternde Böden haben unterschiedliche Horizonte mit verschiedenen Korngrößen beziehungsweise Bodenarten. Diese können sogar Partikel kleiner 0,2 µm filtern.

EXKURS: Bodenschutz ist Wasserschutz

Aufgrund zunehmender Trockenphasen und kurzfristiger Starkregeneignisse rückt die Bedeutung eines funktionalen Bodenwasserhaushalts immer mehr in den Fokus. Auf der einen Seite erhöhen sich bei Trockenheit die Verdunstungsmengen und auf der anderen Seite können unsere Böden die plötzlich hohen Wassermengen durch den Niederschlag weder aufnehmen noch halten. Der resultierende erhöhte Oberflächenabfluss verstärkt den Bodenabtrag (Erosion; BAUMGARTEN et al. 2014).

Vielfältige **Landschaftsveränderungen** der letzten Jahrzehnte sorgen dafür, dass Wasser immer schneller aus den Flächen abgeführt wird. Versiegelung, Entwässerung von Mooren, Umwandlung von Wäldern und Grünland zu Äckern, Umwandlung von Laub- und Mischwäldern zu reinen Nadelforsten, Verlust von landschaftlichem Struktureichtum, Monokulturen und vegetationsfreie Äcker sind Beispiele für diese Entwicklung. Diese Landschaftsveränderungen führen neben dem beschleunigten Wasserabfluss auch zu einer reduzierten Evapotranspiration und einer Schwächung lokaler Wasserkreisläufe, bedingen erhöhte Lokalttemperaturen und führen auf Dauer zum Absinken des Grundwasserspiegels.

Abbildung 2-12

Offener, stark erosionsgefährdeter Boden. Aufgrund der starken Verdichtung kann das Wasser nicht versickern und wird gestaut. Das Bodenleben und damit die gesamten Ökosystemfunktionen des Bodens werden dabei stark geschädigt (Foto: Franziska Hanko).



Auch direkte **Bodenveränderungen** zeigen die Zusammenhänge von Bodenschutz und Wasserhaushalt. Je mehr Kohlenstoff ein Boden speichert, desto mehr Wasser kann er aufnehmen und umso weniger Wasser wird verdunstet (LIBOHOVA et al. 2018). Degradierete, kohlenstoffarme Böden speichern dementsprechend weniger Wasser und verdunsten vermehrt Wasser. Der Verlust von stabilen Bodenstrukturen durch Übernutzung und Bodenverdichtung wirkt sich ebenfalls negativ aus. Natürlich bewachsene Böden sind locker gelagert mit vielen Poren, wobei sie sehr sensibel gegenüber Lasteinwirkung durch Befahrung sind. Eine schadenfreie Befahrung von Wald-, Grünland- oder Ackerböden ist nicht möglich. Feinwurzeln, Pilzhypen und das Bodenleben halten dem Druck nicht stand und werden irreparabel negativ beeinträchtigt. Die Wasser-, Nährstoff- und Sauerstoffzufuhr der Pflanzen sowie die Wasserinfiltration wird dadurch deutlich verringert, bisweilen sogar gänzlich gestoppt. Die Regeneration der Schäden ist langwierig bis unmöglich. Immer häufiger kann man schon nach wenigen niederschlagsreichen Tagen große Pfützen auf Äckern und im Grünland beobachten. Die Staunässe auf dem verdichteten Boden führt zu anaeroben Bedingungen, belastet durch Fäulnis das Bodenleben und lässt Wurzeln absterben.

Eine Rückführung all dieser Entwicklungen kann die Schäden durch Hochwasser sowie die Problematik der Wasserknappheit im Sommer vermindern und gleichzeitig zahlreiche weitere Ökosystemprozesse sowie den Zustand der Biodiversität enorm verbessern. Die Wiederherstellung intakter Bodenökosysteme kann sowohl zur Eindämmung der lokalen und globalen Erwärmung als auch zur Stabilisierung der Wasserkreisläufe beitragen.

2. **Chemische Filterfunktion: Böden sorgen für** eine Adsorption von gelösten Substanzen an Ton- oder Humusteilchen aufgrund deren Ladungseigenschaften.
3. **Biologische Filterfunktion** aufgrund der Aktivität der Bodenlebewesen, die durch Ab- und Umbauprozesse Schadstoffe und Krankheitserreger filtern.

Die Qualität des Bodens und unseres Trinkwassers bedingen sich gegenseitig. Vor allem fruchtbare Böden mit einem lockeren Gefüge und diversem Bodenleben sind dafür unverzichtbar.

2.8.3 Boden als Lebensraum

In einer Handvoll Oberboden befinden sich mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde. Unter der Erdoberfläche leben versteckt zwei Drittel aller Arten unseres Planeten, wodurch Böden die Orte der größten Biodiversität auf dem Planeten darstellen (ANTHONY et al. 2023; GEISEN et al. 2019).

Das Bodenleben ist für die Produktion unserer Nahrungsmittel unabdingbar, da es den Nährstoffgehalt und auch die Inhaltsstoffe unserer Lebensmittel beeinflusst und somit über unsere Gesundheit entscheidet (PRASAD et al. 2021). Die höchste Biodiversität und damit Intensität der Wechselwirkungen befindet sich in der Rhizosphäre, also der Bereich, der die Pflanzenwurzeln unmittelbar umgibt. Eine der wichtigsten Interaktionen in der Rhizosphäre ist der Austausch von Stoffen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen, wodurch die Pflanzen sogar die Zusammensetzung ihres Mikrobioms steuern können (BERENDSEN et al. 2012; HARTMANN & SIX 2023). Pflanzen geben über ihre Wurzeln Exsudate (siehe 2.3.2 «Exkurs: Exsudate») ab, die als Nahrungsquelle für die Mikroorganismen dienen (SASSE et al. 2018). Mikroorganismen bauen hingegen organisches Material ab und wandeln Stoffe aus dem Bo-

den in pflanzenverfügbare Formen um, sodass den Pflanzen Mineralstoffe zur Verfügung stehen. Pilze spielen eine Schlüsselrolle sowohl bei der langfristigen Einlagerung von Bodenkohlenstoff, bei der Bildung von Bodenstrukturen als auch innerhalb des Wasserkreislaufes, wodurch sie entscheidende Akteure bei der Anpassung an den Klimawandel, der Verhinderung von Bodendegradation und somit der Schaffung von Ernährungssicherheiten sind (MARTÍNEZ-GARCÍA et al. 2017; SIX 2012).

2.8.3.1 BODENMIKROBIOM

Das Bodenmikrobiom (Gesamtheit aller Mikroorganismen im Boden) kann als Katalysator der wichtigsten Ökosystemdienstleistungen angesehen werden. Mikroorganismen nehmen 80 % des Gewichts des Edaphons (gesamtes Bodenleben ohne Pflanzenwurzeln) ein (BÖHLMANN 1982). Den zahlenmäßig größten Anteil des Mikrobioms stellen Bakterien und Pilze dar.

BAKTERIEN

Bodenbakterien besiedeln vorrangig den an Bodenteilchen gebundenen Wasserfilm oder die Wurzelhaarezone. Die meisten Bodenbakterien sind heterotroph. Sie zersetzen mithilfe verschiedener Enzyme organische Substanz, wobei sie Proteine in Aminosäuren sowie Vielfachzucker in Einfachzucker spalten und diese anschließend für ihren Bau- und Energiestoffwechsel aufnehmen. Bei den autotrophen Bakterien sind die chemolithoautotrophen Lebensformen von besonderer Bedeutung, da sie das Kohlendioxid aus der Bodenluft und dem Bodenwasser als Kohlenstoffquelle benutzen, um Biomasse aufzubauen. Als Energiequelle nutzen sie dafür anorganische Energieträger. Dadurch benötigen sie kein Sonnenlicht als Energiequelle, im Gegensatz zu den in Böden seltenen photoautotrophen Bakterien.

Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung bodenlebender Bakterien ist

EXKURS: Pflanzenverfügbarer Stickstoff

Die Luft besteht zu 78 % aus molekularem Stickstoff (N_2). Stickstoff ist damit ein sehr häufig vorkommendes Element, jedoch in dieser molekularen Form für Pflanzen nicht nutzbar. Das Stickstoffmolekül ist aufgrund seiner $N\equiv N$ -Dreifachbindung sehr stabil und reaktionsträge.

Aufgrund des Mineralstoffentzuges durch die Ernte müssen Mineralstoffe (vor allem Ammonium- oder Nitrationen als pflanzenverfügbare Stickstoffquellen) dem Boden wieder zugefügt werden. Ohne Ernte schließt sich der Kreislauf wieder über die abfallende Laubstreu, die im Boden bleibenden Wurzeln sowie über tierische Exkremente und Bakterien mit einem **diazotrophen Stoffwechsel**. Unter diazotroph versteht man die Fähigkeit, molekularen Stickstoff aus der Atmosphäre in biologisch verfügbaren Stickstoff umzuwandeln. Sowohl **frei-lebende Stickstofffixierer** als auch **symbiontisch mit Pflanzen lebende Knöllchenbakterien** verfügen über diese außergewöhnliche Fähigkeit.

Durch ihre Aktivität kann der atmosphärische Stickstoff (N_2) zu Ammoniumionen (NH_4^+) reduziert werden, der reaktiv und bioverfügbar ist (VITOUSEK et al. 2013). Auf diese Weise können pro Hektar und Jahr bis zu 400 kg Stickstoff pflanzenverfügbar gemacht werden (ZEHNER & GÖTTFERT 2015). Eine Gründüngung mit Leguminosen, die in Symbiose mit Knöllchenbakterien leben, fördert das Bodenleben, fixiert Stickstoff nachhaltig und unterstützt die langfristige Bodenbildung (URL 4). Essenziell für die biologische Stickstofffixierung ist das Vorhandensein des Nitrogenase-Enzymkomplexes in den diazotrophen Prokaryoten (FUCHS 2021). Dieser Schritt ist der Eintrittspunkt des molekularen Stickstoffs in den biogeochemischen Stickstoffkreislauf, dessen globaler Umsatz auf über

120 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt wird. Die symbiotische Stickstofffixierung durch Knöllchenbakterien macht dabei etwa 70 % der gesamten biologischen Stickstofffixierung aus. Die Bildung und die Aktivität der Nitrogenase werden durch Stickstoffmangel im Boden induziert und sind hochgradig empfindlich gegenüber Sauerstoff. Daher sind mikroaerobe Bedingungen (O_2 -Partialdruck $< 0,1\%$) oder sauerstofffreie Milieus notwendig. Zur Aufrechterhaltung solcher Bedingungen bilden einige Bakterien Heterocysten, andere – wie Rhizobium – setzen Leghämoglobin ein, das Sauerstoff binden und abtransportieren kann (ZEHNER & GÖTTFERT 2015). Einen weiteren Weg zur Bereitstellung pflanzenverfügbaren Stickstoffs ist die **Ammonifikation**. Dabei bauen Mikroorganismen abgestorbene organische Substanz ab und setzen aus stickstoffhaltigen Verbindungen Ammonium (NH_4^+) frei. Ammonium ist positiv geladen und wird an negativ geladene Bodenpartikel gebunden, wodurch es weniger leicht ausgewaschen wird als andere Verbindungen wie Nitrat (NO_3^-) oder Nitrit (NO_2^-).

In gut durchlüfteten Böden wird Ammonium bei der **Nitrifikation**, zum Beispiel durch die Bakterien der Gattungen Nitrosomonas oder Nitrobakter, zum weiterhin pflanzenverfügbaren Nitrit (NO_2^-) und Nitrat (NO_3^-) oxidiert.

Bei anaeroben Bedingungen hingegen können verschiedenste aerobe Bakterien die **Denitrifikation** als alternativen Energiestoffwechselweg induzieren. Nitrat wird dabei als alternativer Wasserstoffakzeptor verwendet und durch diese Bakterien über gasförmige Stickstoffoxide (NO , N_2O) letztendlich in N_2 umgewandelt, in die Atmosphäre freigesetzt und dem Boden als pflanzenverfügbarer Stickstoff entzogen.

die Unterscheidung nach ihrer Sauerstoffverträglichkeit. In diesem Zusammenhang unterscheidet man aerobe Bakterien, die für ihren Energiestoffwechsel molekularen Sauerstoff (O_2) als Elektronenakzeptor nutzen und dabei beispielsweise Wasserstoff, Schwefelverbindungen, Nitrit, Eisen (II) oder Ammonium oxidieren. Daneben gibt es fakultative und obligat anaerobe Bakterien, die im sauerstofffreien Raum alternative Elektronenakzeptoren wie Sulfat, Nitrat, Eisen (III) oder Kohlendioxid reduzieren können (FUCHS 2021; WAKSMAN 1930).

PILZE

Pilze gehören zu den wichtigsten und zugleich unerforschtesten Organismen unseres Planeten. Zu den Pilzen gehören sogar die größten Lebewesen der Welt. Der sichtbare, oberirdische Teil ist dabei nur der temporäre Fruchtkörper, wohingegen sich der eigentliche Pilz unterirdisch als riesiges Geflecht von Hyphen als sogenanntes Myzel ausbreitet. An einem Tag können so bis zu 1.000 m lange neue Hyphen entstehen. Wissenschaftler entdeckten in den USA ein Myzel mit der Größe von 900 Hektar und schätzen den Pilz somit auf ein Gewicht von 400.000 Kilogramm (LIEDTKE 2020).

Pilze sind die Hauptversorger für die Pflanzen, indem sie ihnen Wasser und Mineralstoffe zur Verfügung stellen und gleichzeitig in der Lage sind, große Mengen an stabilen Kohlenstoffvorräten im Boden einzulagern (PÉREZ-MORENO et al. 2021). 80 % der Pflanzen gehen Wurzelsymbiosen (Mykorrhizierung) mit Pilzen ein (SMITH & READ 2010). Das dabei entstehende unterirdische Netzwerk ist unvorstellbar groß, intensiv verzweigt und wird wohl auch zur Weitergabe von Informationen und Stoffen genutzt. Beispielsweise können Bohnen (*Vicia faba*), die über ein gemeinsames arbuskuläres Mykorrhiza-Netzwerk verbunden sind, bei einem Blattlausbefall Warnsignale senden, die

bei nicht befallenen Pflanzen zur Produktion flüchtiger organischer Verbindungen wie Methylsalicylat führt, die Blattläuse abwehren und gleichzeitig deren natürliche Feinde wie parasitische Wespen anlocken (BABIKOVA et al. 2013). Mykorrhizierte Pflanzen haben eine deutlich höhere Reichweite, wenn es um die Mineralstoff- und Wasseraufnahme geht, was vor allem in Trockenzeiten überlebenswichtig sein kann. Die Wurzeloberfläche kann dabei verzehnfacht werden (NIGGLI 2010). Der Pilz bekommt im Gegenzug Nährstoffe wie Zucker und Aminosäuren von der Pflanze. In weitgehend natürlichen ungedüngten und pestizidfreien Ökosystemen sind in Bezug auf die Pilzvorkommen große Unterschiede zu gedüngten, pestizidbelasteten Ackerböden zu erkennen. Bei Letzteren wird die Mykorrhizierung häufig gehemmt und als Folge das Pflanzenwachstum eingeschränkt (PAUL & FREY 2023; SOLAIMAN & MICKAN 2014).

Bodenpilze spielen darüber hinaus eine zentrale Rolle bei der Stabilisierung und Bildung von Bodenaggregaten – also der strukturellen Organisation von Bodenpartikeln. Zwei Hauptmechanismen tragen dazu bei: Zum einen wirken die fadenförmigen Pilzhyphen wie ein physikalisches Netz, das feinere Bodenpartikel miteinander verschränkt und somit stabile größere Aggregate bildet. Zum anderen setzen diese Pilze während ihres Wachstums und insbesondere nach dem Absterben organische Substanzen frei, darunter hydrophobe Glykoproteine wie das sogenannte Glomalin oder glomalinverwandte Bodenproteine. Diese wirken als «biologischer Klebstoff», der die Aggregatbildung weiter fördert, indem er die Bindung zwischen Partikeln stärkt und die Wasserstabilität der Aggregate erhöht (RILLIG et al. 2017).

Es gibt natürlich auch Pilze, die nicht nur abgestorbenes Material zersetzen, sondern als Parasiten Wurzelkrankhei-

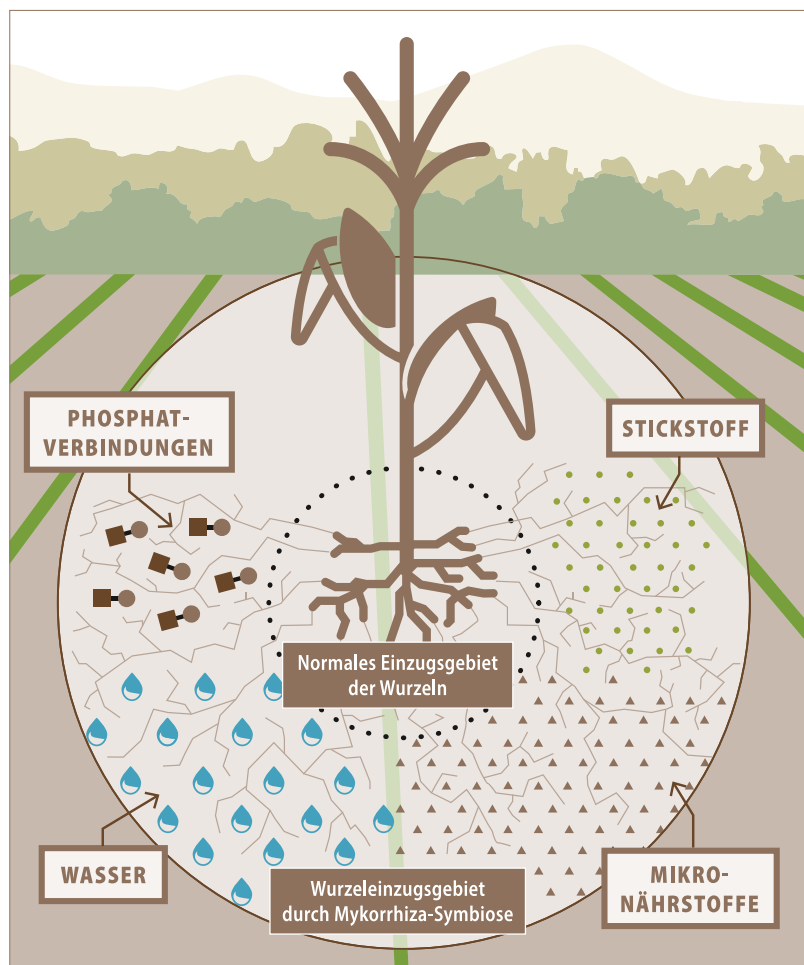
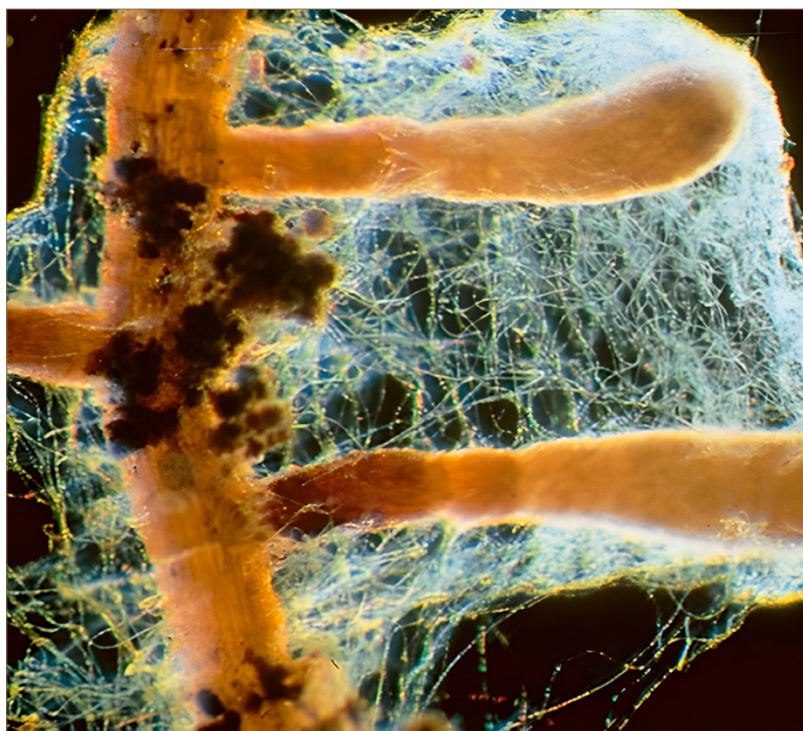


Abbildung 2-13
Nährstoff- und Wasserreichweite mit und ohne Mykorrhizapilzen
(verändert nach BOCKHOLT 2017)

Abbildung 2-14

Mykorrhizierte Wurzel (Foto: Simon Egli, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL)



ten, wie zum Beispiel den Wurzelbrand der Zuckerrübe, auslösen. Die Mehrheit der Pilze sind jedoch große Nützlingle. Auch in anderen Bereichen wie der Medizin oder beim Abbau von Erdöl oder Plastik können Pilze möglicherweise hilfreich sein (PÉREZ-MORENO et al. 2021).

2.8.3.2 MESO-, MAKRO- UND MEGAFAUNA

Bei der Mesofauna (Größe etwa 0,2 bis 2 mm) zählen Fadenwürmer (Nematoden) sowie Springschwänze (Collembola) und Milben (Acari) zu den bedeutendsten Akteuren. Sie besiedeln hauptsächlich die feuchten, aber luftgefüllten Bodenporen. Innerhalb der Makrofauna (2 bis 20 mm) sind es vorrangig Ringelwürmer, aber auch die zur Makrofauna zählenden Gliederfüßer wie Asseln, Spinnen, Tausendfüßer, Käfer, Insektenlarven und Ameisen sind unersetzliche Bodenbewohner. Die meisten von ihnen sind maßgeblich für die Streuzersetzung verantwortlich und tragen durch ihre Grabaktivität zur Bodendurchmischung bei. Die Megafauna (> 20 mm) umfasst dann größere Wirbellose sowie sämtliche Säugetiere, Amphibien und Reptilien, die in der Humusschicht oder in Erdhöhlen leben. Sie spielen eine Rolle bei der Bioturbation und können den Nährstofftransport zwischen verschiedenen Bodenschichten fördern.

WIE REGENWÜRMER DIE LANDWIRTSCHAFT UNTERSTÜTZEN

Mehr als 7.000 Arten an Ringelwürmern wurden bisher weltweit beschrieben. In unseren Breiten sind sie enorm wichtig für die Bodenfruchtbarkeit. Täglich nehmen sie das Zehnfache ihres Körpergewichts an Boden auf und scheiden es als pflanzenverfügbare Nährstoffe wieder aus. Regenwürmer beschleunigen den Abbau von organischem Material (Erntereste, Gülle, Mist oder Mulch), indem sie es in den Boden einmischen und dadurch Nährstoffe verfügbar machen (WAL-

TER et al. 2015). Durch das Graben wird der Boden gelockert, besser mit Sauerstoff versorgt und Wurzeln können besser eindringen. Dies ist besonders bei schweren (lehmigen oder tonhaltigen) Böden wichtig. Ihre Aktivität mindert den Oberflächenabfluss und das Risiko von Erosion, da über die Regenwurmröhren das Einsickern von Niederschlägen begünstigt wird (WALTER & BURMEISTER 2022). Durch Verschlämmung entstandene Krusten auf der Bodenoberfläche werden durch Regenwürmer aufgebrochen. In nur einer Nacht kann ein Regenwurm bis zu 14 Laubblätter in den Boden ziehen, wo sie angefeuchtet, von Mikroorganismen vorzersetzt und schließlich vom Regenwurm gefressen werden.

Bis heute gibt es kein technisches Gerät zur Bodenbearbeitung, welches in Bezug auf die Feindurchmischung der Böden auch nur ansatzweise an die Leistung der Regenwürmer herankommt. Im Darm der Regenwürmer wird organisches Material mit dem Mineralboden so gut vermischt, dass bei Ausscheidung stabile Ton-Humus-Komplexe entstehen. Diese sind entscheidend sowohl für die Verfügbarkeit von Nährstoffen als auch für die Stabilität von Bodenaggregaten (PLAAS et al. 2019), die bei Starkregenfällen dann nicht so leicht zerfallen wie die Bodenaggregate mechanisch bearbeiteter Böden. Böden mit 100 Regenwurmindividuen je Quadratmeter gelten als gut besiedelt. Grünlandstandorte mit ausreichend organischer Substanz, neutralem pH und gutem Bodengefüge beherbergen bis zu 400 Individuen je Quadratmeter. Bei einem mittleren Gewicht von rund 2 g und einer Anzahl von etwa einer Million Exemplare pro Hektar, entspricht die Biomasse der Regenwürmer etwa 2.000 kg/ha. In gut besiedelten Böden scheiden Regenwürmer schätzungsweise bis zu 100 Tonnen Regenwurm Kot pro Hektar und Jahr aus (in mitteleuropäischen Böden durchschnittlich 40 bis 100 Tonnen). In ihm

sind 5-mal mehr Stickstoff, 7-mal mehr Phosphor und 11-mal mehr Kalium enthalten als in einem regenwurmmarmen Boden (BERNER 2013).

Die Biodiversität ist auch innerhalb der Regenwürmer entscheidend. Regenwurmartenscheiden sich durch ihre Aktionsradien und Lebensraumansprüche. In der Humusaufgabe befinden sich streubewohnende Arten (zum Beispiel *Lumbricus castaneus*), welche für die Zersetzung des aufliegenden Pflanzenmaterials verantwortlich sind. Mineralbodenarten (zum Beispiel *Aporrectodea rosea*) graben in einer Tiefe von bis zu 60 cm horizontal verlaufende Röhren, wodurch sie für eine horizontale Verteilung des Wassers im Wurzelraum sorgen. Tiefergrabende Arten (zum Beispiel der Tauwurm, *Lumbricus terrestris*) verbringen organisches Material bis in den Unterboden, wodurch die Verfügbarkeit von Nährstoffen auch in tieferen Horizonten gewährleistet ist. Ihre Röhren bleiben bei reduzierter Bodenbearbeitung über Jahre erhalten. Umgerechnet auf einen Hektar Wiese sind dies zwei Tonnen Regenwürmer mit einem Röhrensystem von 9.000 km Länge, einem Porenvolumen von 90 m³ und einer Oberfläche von etwa sieben Fußballfeldern.

2.8.3.3 BODENLEBEN IN GEFAHR

In einem großen Langzeit-Feldexperiment des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (Global Change Experimental Facility, GCEF) werden die Folgen des Klimawandels für Ökosystemprozesse bei verschiedenen Landnutzungstypen (konventionelle und ökologische Ackernutzung, intensive und extensive Wiesenutzung und Weidenutzung) untersucht (YIN et al. 2020). Simuliert wird der zukünftige Klimawandel entsprechend einem anerkannten Zukunftsszenario (Temperaturanstieg um 0,6 °C und Niederschlagsverschiebung um 20 % vom Sommer in andere Jahreszeiten) und

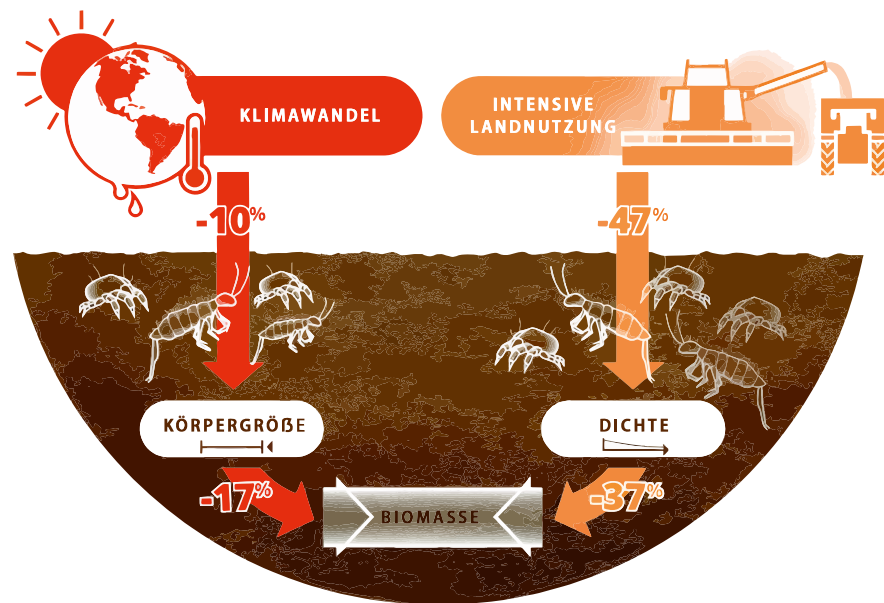


Abbildung 2-15
Auswirkungen des Klimawandels und der Nutzungsintensität von Böden durch die Landwirtschaft auf die Bodenbiologie (modellierte Hochrechnung für 2070 bis 2100; Yin et al. 2020; Grafik: Lisa Vogel/UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung)

untersucht wurden die Körpergrößen, die Dichte und die Biomassen von bodenlebenden Mikroarthropoden. Es kommt dabei zu zwei voneinander unabhängigen Effekten:

- **Klimawandel** reduzierte die mittlere Körpergröße der Mikroarthropoden um etwa 10 %, was zur Verringerung der Biomasse um 17 % führte.
- **Intensive** Landnutzung verringerte die Dichte der Tiere (bis zu 47 %), was zu einer Reduktion der Biomasse um bis zu 37 % führte.

Es wurden keine Wechselwirkungen zwischen Klima und Landnutzung gefunden, was bedeutet, auch extensive Landnutzung konnte die negativen Klimaeffekte nicht abmildern, zeigt aber in der Summe weniger Biomasseverlust.

Die Folgen bei Abnahme der Biomasse der Mikroarthropoden sind dabei kaum abzuschätzen, da die Wechselwirkungen der Ökosystemprozesse zu komplex sind. Aufgrund der großen Bedeutung des Bodenlebens für die Nahrungsmittelproduktion, den Wasserhaushalt und der Kohlenstoffsequestrierung sind derartige Biomasse- und Biodiversitätsverluste aber sicherlich fatal.

2.9 Böden: Eine bedrohte Ressource

Der weltweite Flächenverbrauch durch Versiegelung, Bodendegradation und Verschmutzung ist enorm. Die verbleibenden Flächen sollten daher besonders nachhaltig und im Sinne der ökologischen Kreisläufe genutzt werden. Vor allem angesichts der wachsenden Weltbevölkerung ist ein nachhaltiges Bodenmanagement unverzicht-

bar (HATFIELD et al. 2013). Weltweit bedrohen besonders Erosion und Desertifikation die Ernährungssicherheit. In Europa sind 70 % der Böden durch Versiegelung, Erosion, Versalzung, Humusverlust, Übernutzung, Biodiversitätsverlust und Verschmutzung gefährdet (URL 5). Bei gleichbleibender Geschwindigkeit der weltwei-

ten Bodendegradation werden in den nächsten 50 Jahren etwa 30 % weniger Lebensmittel produziert werden können (PIMENTEL 2006). Die Umkehrung dieser Vorgänge stellt die Menschheit vor sehr große Herausforderungen, weil die Bildung von 10 cm Boden mindestens 1.000 Jahre (BAUCHHENß 2004) benötigt. So viel Zeit braucht es, damit Gestein verwittert, Kornfraktionen entstehen und abgestorbenes organisches Material zersetzt und eingearbeitet wird. Unsere heutigen Böden in Bayern entwickeln sich seit etwa 20.000 Jahren durch vielfältige physikalische, chemische und biologische Prozesse aus den letzten Eiszeitablagerungen, werden aber in ungleich höherer Geschwindigkeit zerstört.

2.9.1 Versiegelung

Von 1992 bis 2021 ist der Flächenverbrauch in Deutschland für Siedlungs- und Verkehrsräume um 28,6 % gestiegen, wobei dafür täglich 56 Hektar verbraucht werden (Stand 2021; URL 6). In Bayern beträgt der aktuelle Flächenverbrauch (Stand 2024) durch Verkehrs- und Siedlungsfläche 11,6 Hektar, gleichzusetzen mit 14 Fußballfeldern pro Tag. In der letzten Legislaturperiode (2022) stimmten die regierenden Parteien Bayerns dem bundesweit geforderten Ziel, den Flächenverbrauch auf 30 ha pro Tag zu reduzieren, zu. Bayern dürfte demnach nur noch 5 Hektar pro Tag versiegeln, wobei der aktuelle Wert mehr als doppelt so hoch ist. Jährlich werden in Bayern etwa 36 km² Landfläche durch Verkehr und Siedlungen versiegelt (StMUV, Stand 2020), womit Bayern damit zum deutschlandweiten Spitzenreiter beim absoluten Flächenverbrauch wird. München ist hierbei die am stärksten versiegelte Großstadt Deutschlands. Besonders bei Starkregenereignissen kommt es aufgrund der mangelnden Wasserversickerung zu großen Problemen. Aber auch sommerliche Hitzewellen fallen in versiegelten Gegenden deutlich stärker aus, da die Verdunstungskühle von Boden und Vegetation fehlt.

2.9.2 Bodendegradation

Bodendegradation bezeichnet in erster Linie den qualitativen Verlust von Bodenfunktionen. Die Ursachen der Bodendegradation können grob in drei Gruppen eingeteilt werden:

- **Physisch-mechanische Ursachen**, beispielsweise durch Erosion oder Verdichtung
- **Chemische Verschmutzung**, beispielsweise durch Schwermetalle oder organische Chemikalien
- **Beeinträchtigung der biologischen Aktivität** durch Schädigung der Bodenlebewesen (Regenwürmer, Pilze, Mikroorganismen und so weiter)

In der EU sind 17 % der landwirtschaftlichen Flächen durch unsachgemäße Nutzung bereits degradiert. Davon sind 305 Millionen Hektar so stark geschädigt, dass sie nicht mehr genutzt werden können (URL 7).

45 % der Böden in Europa haben durch eine intensivierte Landwirtschaft bereits deutlich an organischer Substanz beziehungsweise Humus und Bodenorganismen verloren (URL 7).

Der Verlust an abwechslungsreichen Fruchtfolgen, Zwischenfrüchten und dauerhafter Bodenbedeckung führt zur dramatischen Abnahme der Humusgehalte sowie der vielfältigen Beziehungen des Bodenlebens.

2.9.3 Flächenverbrauch für unsere Ernährung

Weltweit sind 70 bis 75 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche nicht ackerbar und können landwirtschaftlich nur als Dauergrünland (Wiesen und Weiden) genutzt werden. Auf den verbleibenden 25 bis 30 % der weltweiten ackerfähigen landwirtschaftlichen Nutzfläche werden auf etwa 33 % der Ackerflächen Futtermittel angebaut, um der Nach-

frage an Fleisch- und Milchprodukten gerecht zu werden. In Deutschland herrschen mit etwa 70 % Ackeranteil und etwa 28 % Dauergrünlandanteil nahezu umgekehrte Verhältnisse. 60 % des verbrauchten Getreides und 70 % der Ölsaaten werden hierzulande an Tiere verfüttert (LYMBERY 2015). Zudem liegt der Anteil der für Futtermittelanbau genutzten Ackerfläche mit 60 % sehr deutlich über dem weltweiten Durchschnitt. Für den Fleischkonsum in den Industrienationen werden in Lateinamerika Futtermittel auf Äckern von der Größe Englands angebaut. Die Argumentation, viele Tiere auf einem Fleck zu halten, um Flächen einzusparen, verschweigt die riesigen Anbauflächen von Futtermitteln im In- und Ausland. Bei sinkender Futtermittelnachfrage könnten die frei werdenden Flächen direkt für vom Menschen essbare Nahrungspflanzen verwendet werden. Zudem könnte der bei gleichem Ertrag höhere Flächenbedarf einer extensiveren und ökologischeren Landwirtschaft gedeckt werden.

2.9.4 Erosion

Als Bodenerosion wird die Verlagerung von Bodenbestandteilen der Oberfläche durch Wind und Wasser bezeichnet. Sowohl in Bayern als auch weltweit gilt diese Form der Degradation als die größte Gefährdung für Böden und deren Funktionen (LfL 2023). Die Bodenerosion ist ein natürlich vorkommender Prozess, der vom Klima, dem Ausgangsmaterial und der Vegetation abhängt. Dennoch wird jede Abtragung durch die Nutzung der Böden stark beeinflusst. Gerade die obersten Dezimeter entscheiden über die Fruchtbarkeit, Wasserspeicherfähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit des Bodens. Innerhalb kürzester Zeit können sie durch unsachgemäße Bearbeitung verloren gehen.

Winderosion findet vor allem auf ebenen Flächen statt, auf denen die Vegetation komplett entfernt wurde. Auch durch Wasser erfolgt eine erhöhte Ero-

sion, wenn die Pflanzendecke beziehungsweise deren Wurzelwerk fehlen und der Oberboden frei und ungeschützt vorliegt. Verstärkt wird der Bodenabtrag, wenn ein Gefälle besteht oder Starkregenereignisse erfolgen. Das Bodenmaterial, welches hangabwärts schließlich als Kolluvium akkumuliert, wird über Bäche und Entwässerungsgräben weitergetragen und verlässt dadurch das System. Pflanzenschutzmittel erhöhen ebenfalls das Ausmaß der Erosion (SABATIER et al. 2014): Die dadurch bewirkte Reduktion der Wurzelmasse sowie der Rückgang der Bodenlebewesen destabilisiert das Bodengefüge, wodurch die Böden leichter erodieren.

Seit dem Jahr 2000 wird die Erosionsmenge in Deutschland systematisch beobachtet, wobei sich herausstellte, dass der durchschnittliche Bodenverlust zwischen 1,4 und 3,2 Tonnen pro Hektar und Jahr beträgt. Auf gefährdeten Flächen können es sogar 0,5 mm Schwund (entspricht 5 Tonnen pro Hektar) pro Jahr sein (UBA, Stand 2018). Bei einer Bodenneubildung durch Gesteinsverwitterung von 0,1 mm pro Jahr können unsere Böden bei den beobachteten Erosionsraten nicht erhalten bleiben. Der Abtrag fruchtbarer Böden kann demnach nicht durch natürlich ablaufende Prozesse ersetzt werden, Ertragsminderungen sind die Folge. Die permanente Bodenbedeckung, diverse Pflanzenwurzeln sowie Gehölze in der Landwirtschaft reduzieren den Bodenabtrag beträchtlich und stellen eine sinnvolle Maßnahme dar, der Erosion entgegenzuwirken.

2.9.5 Desertifikation

Ein Viertel der weltweiten Landmasse ist von Desertifikation (lat: **desertus** = Wüste) betroffen, was in den jeweiligen Regionen zu starken ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Schäden führt (BAUMHAUER 2023). Die Desertifikation kann als Endstufe einer Landschaftsdegradation verstanden werden, die meist durch unangepasste Land-

nutzung (meist Übernutzung durch Viehzucht und Ackerbau) entsteht. Es kommt dabei zu wüstenartigen Zuständen in Regionen, die davor keine Wüsten waren (MENSCHING 1990). Laut der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) hat die Desertifikation jedoch wenig mit Wüsten zu tun, sondern vielmehr mit Wasserknappheit und Zerstörung von Boden und Vegetation. Wassermangel, sowohl von Niederschlägen als auch dem Grundwasser, steht im direkten Zusammenhang mit dem Verlust einer lückenlosen Vegetationsdecke und dem damit einhergehenden offenen Boden. Wie auch in unseren Breiten ist ungeschützter (vegetationsfreier) Boden stark von Austrocknung und Erosion gefährdet. Das Bodenleben wird hierbei ebenfalls stark degradiert. Pflanzen und vor allem das Zusammenspiel ihrer Wurzeln mit dem Boden können dementsprechend degradierte Böden wieder ins Gleichgewicht bringen. 40 % der globalen Niederschläge entstammen von regional naheliegenden Landmassen, entstehen durch die Evapotranspiration (siehe 2.8.2.1) von Böden, Vegetation und Wasseroberflächen und werden als sogenannter «kleiner Wasserkreislauf» bezeichnet. Die gute Nachricht ist deshalb, dass je mehr

dauerhafte lebendige Biomasse auf und in einem Boden vorhanden ist, desto mehr Transpiration und folglich Wasserdampf entsteht, welcher wiederum regional zu Wolkenbildung und Niederschlägen führt.

2.9.6 Mikroplastik

Mikroplastik, das über Windverfrachtung und Niederschläge im Boden landet, kommt aus unterschiedlichen Quellen. Kunststoffe sind Materialien, die aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften unser tägliches Leben revolutioniert haben (RILLIG et al. 2017). Sie haben für die Gesellschaft einen enormen Nutzen, bergen jedoch aufgrund der kurzlebigen Nutzung, ihrer Haltbarkeit und ihrer Zersplitterung in Mikroplastik ein großes Umweltproblem (REHM & FIENER 2020). Alleine durch den Reifenabrieb werden laut Fraunhofer-Institut 150.000 Tonnen Mikroplastik in Deutschland jährlich an die Umwelt freigegeben (BERTLING et al. 2018). Die Verunreinigung des Bodens mit Plastik beziehungsweise Mikroplastik stellt eine unzureichend erforschte Gefahr dar. Viele Zusatzstoffe, wie zum Beispiel Weichmacher und Zerfallsprodukte der Kunststoffe, zeigen nachweislich bei Tieren und Menschen hormonelle, repro-

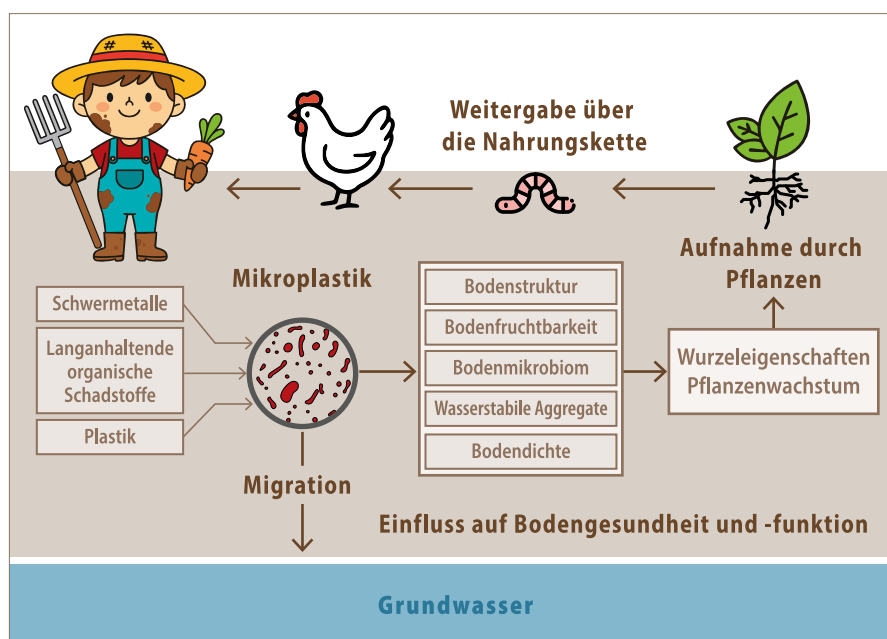


Abbildung 2-16
Mikroplastik im Boden: Eine Einschätzung der Methodik, des Vorkommens, der Gründe und der potentiellen Risiken (nach YANG et al. 2008)

duktionstoxische, krebserregende sowie entzündliche Wirkungen (KOPATZ et al. 2023). Mikroplastik wird über den Boden sowohl von Bodenorganismen aufgenommen (HUERTA LWANGA et al. 2016) als auch von Pflanzen in ihr Gewebe eingebaut (LI et al. 2019). Über die Nahrungskette erreichen sie schließlich den menschlichen Organismus. Untersuchungen von RILLIG et al. (2017) haben gezeigt, dass Bodenorganismen, wie zum Beispiel Regenwürmer, Mikroplastik aufnehmen und dieses sowohl auf mechanischem Weg (auf der Körperoberfläche) als auch durch biologischen Transport (über den Verdauungstrakt) in tiefere Bodenschichten eintragen und dort zu einer erhöhten Exposition beitragen. Bewusst und unbewusst gelangen Kunststoffe auch durch die Landwirtschaft in die Böden, beispielsweise durch den Abrieb von Plastikfolien und Pflanztopfen sowie das Ausbringen von Kompost und Klärschlamm, der mit Plastik und Mikroplastik verunreinigt ist. Zudem werden mineralische Kunstdünger, Saatgut sowie Pflanzenschutzmittel für bessere Lager- und Rieselfähigkeit mit Kunststoffhüllen überzogen, welche letztendlich im Bodenökosystem verbleiben und über lange Zeiträume von den Organismen aufgenommen werden. In Deutschland liegt der Grenzwert für die Ausbringung von Plastik über Kompost und Klärschlamm bei 24.000

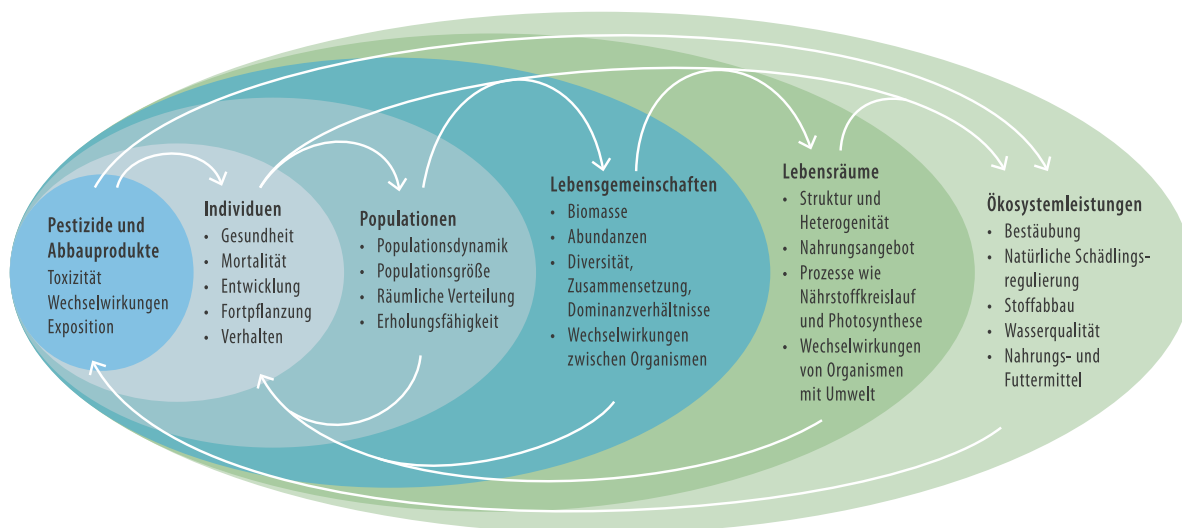
Tonnen (STOLL 2020 a) wobei der Kunststoffeintrag über Kunstdünger und Pestizide dabei noch nicht miteingerechnet wurden.

Mikroplastik ist damit nicht nur eine Gefahr für die Ozeane und Gewässer, sondern auch für unsere Böden. Erkenntnisse häufen sich, dass die Verschmutzung durch kleinste Plastikpartikel und deren Auswirkung auf die Biodiversität, Lebensmittelsicherheit und schlussendlich Gesundheit des Menschen sehr große Gefahren birgt. Die Plastikflut einzudämmen, ist – neben der Klima- und der Biodiversitätskrise – eines der brennendsten Zukunftsthemen, um eine gesunde Erde, resiliente Ökosysteme und letztendlich unsere Lebensgrundlagen zu bewahren. Ein wichtiger Schritt hierfür sind eine breite öffentliche Aufklärung und auch ein Wandel im Verbraucherverhalten.

2.9.7 Ewigkeitschemikalien: PFAS

PFAS (= **per- and polyfluoroalkyl substances**) steht für Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, dazu gehören je nach Betrachtung zwischen 4.000 und 10.000 unterschiedliche Chemikalien (BfR 2023; OECD 2018). Es handelt sich um synthetisch hergestellte Verbindungen, bei denen Wasserstoffatome am Kohlenstoffgrundkörper (stets Alkane)

Abbildung 2-17
Auswirkungen von Pestiziden auf die Ökosysteme – schematische Darstellung nach GUNTERN (2021)



ganz (= perfluoriert) oder teilweise (= polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt werden. Sie werden auch Ewigkeitschemikalien genannt, weil sie hitzeresistent und chemisch extrem stabil sind, weshalb sie in der Natur nur sehr schwer abgebaut werden können und sich in der Nahrungskette anreichern (STOLL 2020 b).

Die Stabilität der C-F-Bindung bewirkt die extreme Langlebigkeit vieler PFAS oder ihrer Abbauprodukte (RÖHLER et al. 2021). PFAS besitzen wasser-, fett- und schmutzabweisende Eigenschaften und finden deswegen in vielen Produkten Verwendung, beispielsweise in Kosmetika, Pharmazeutika und Pflanzenschutzmitteln. Neben den typischen Einsatzgebieten von PFAS in Löschschäumen, in Papier- oder Kartonagenbeschichtungen, Imprägniermitteln oder Skiwachsen, enthalten auch Kältemittel für Klimaanlage oder Wärmepumpen PFAS. Kommerziell relevant sind derzeit einige Hundert PFAS (BUCK et al. 2021).

Durch den jahrelangen und vielfältigen Einsatz sind PFAS in Böden, Grundwasser, Luft und Organismen auf der ganzen Welt, selbst in entlegenen Gebieten wie der Antarktis entdeckt worden (GLÜGE et al. 2020). Eine Reihe von Erkrankungen stehen im Verdacht, auf toxische PFAS zurückzuführen zu sein. PFAS beeinflussen über hormonelle Veränderungen die Fruchtbarkeit von Frauen und Männern, beeinträchtigen endokrine Funktionen (Pankreas- und Schilddrüse) und beeinflussen die Leberfunktion (SCHRÖDER et al. 2021). Es besteht zudem das Risiko für die Entwicklung von Typ-2-Diabetes, einschließlich des Risikos für die Entstehung von neurologischen Dysfunktionen und verschiedenen Krebsarten (ESPARTERO et al. 2022).

Die Verunreinigung mit PFAS und die Akkumulation von PFAS in Böden sorgt für eine unkalkulierbare Langzeitbelas-

tung. Neben allen direkt betroffenen bodenlebenden Lebewesen sind auch bodenwühlende Tierarten wie Wildschweine der Kontamination mit PFAS ausgesetzt. Im österreichischen Grenzgebiet zu Deutschland wurden in Wildtieren über die Grenzwerte erhöhte Konzentrationen von PFAS entdeckt, weshalb der Verzehr von Wildschweinfleisch aus dieser Region verboten wurde (URL 8).

Ein wichtiger Schritt in Richtung Boden-, Natur- und Verbraucherschutz sind die von der Europäischen Union eingeleiteten Beschränkungen für die gesamte Stoffgruppe und der Verzicht auf Produkte mit besagten Inhaltsstoffen.

2.9.8 Pestizide

Pestizide gehören derzeit zu den größten Bedrohungen der Ökosysteme und damit auch unserer Lebensmittelversorgung. Ohne Reduktion des Pestizideinsatzes droht Europa eine Lebensmittelkrise (URL 9).

Pestizide sind biologisch aktive Wirkstoffe, die direkt in der Umwelt ausgebracht werden und neben den Zielorganismen auch unerwünschte Effekte auf Nicht-Zielorganismen haben. Gemäß der guten fachlichen Praxis zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln sind diese auf das Notwendigste zu beschränken und nur anzuwenden, wenn eine natürliche Schädlingsreduzierung (zum Beispiel: Förderung von Nützlingen durch Erhöhung der Biodiversität) nicht mehr ausreicht. Unterschieden werden Herbizide (gegen Pflanzen), Insektizide (gegen Insekten) und Fungizide (gegen Pilze).

Die Auswirkungen von Pestiziden werden durch die Toxizität und Konzentration der Wirkstoffe sowie der Häufigkeit und Dauer der Exposition bestimmt. Auf Organismen wirken sie direkt akut oder chronisch. Sie töten diese, stören deren Fortpflanzung, Entwicklung oder deren Verhalten. Nicht abzuschätzen sind die indirekten Auswirkungen auf

die Resilienz von Ökosystemen durch entstehende funktionale Lücken im Ökosystem und die Auswirkungen auf die Biomasse über alle höhergelegenen Trophie-Ebenen durch die Reduktion des Nahrungsangebotes. Somit treffen Pestizide nicht nur Individuen, sondern ganze Populationen, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme (GÜNTERT 2021).

Die Hauptproblematik von Pestiziden ist, dass die Auswirkungen nicht einzuschätzen sind, da sie und ihre Abbauprodukte sich direkt und über die Nahrungsnetze hinweg in allen Ökosystemen ausbreiten und letztendlich auch im menschlichen Körper landen. Sogar nach 20 Jahren biologischer Bewirtschaftung unter absolutem Pestizidverzicht lassen sich noch Pestizide in den bewirtschafteten Böden nachweisen (RIEDO et al. 2021). Auch auf Biodiversitätsflächen und Brachen, die noch nie mit Pestiziden behandelt wurden, finden sich Pestizide in den Wildpflanzen (HUMANN-GUILLEMINOT et al. 2019).

Fungizide gehören dabei zu den in ihren Auswirkungen häufig stark unterschätzten Mitteln, da die Anwesenheit von Pilzen unerlässlich für eine resiliente Pflanzenproduktion ist (siehe 2.8.3.1 Bodenmikrobiom: Pilze). Fungizide gefährden das interagierende Bodenleben und führen zu quantitativen und qualitativen Verlusten (CHOUDHARY et al. 2018). Aber auch andere Pestizide gefährden insbesondere Mykorrhizapilze, die vorrangig für die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen beziehungsweise Kulturpflanzen verantwortlich sind (BÜNEMANN et al. 2006; JÄNSCH et al. 2006; HAGE-AHMED et al. 2019; ROSE et al. 2016).

Für das Bodenleben ist gebeiztes Saatgut besonders schädlich (VAN HOESEL et al. 2017; NETTLES et al. 2016). Bei gebeiztem Saatgut werden die Samen mit Pflanzenschutzmitteln ummantelt, die dann in den Sämling eindrin-

gen und so den gesamten Keimling während des Wachstums bis zur ausgewachsenen Pflanze schützen können. Ein Teil der Pestizidhülle verbleibt im Boden oder wird ausgewaschen, wobei auch Abbauprodukte entstehen, die im Rahmen einer Zulassung der Wirkstoffe, aber in ihren Auswirkungen nicht untersucht werden müssen und auch kaum untersucht werden können (SUR & STORK 2003). Die im Boden verbleibenden Reste der Saatgutbeize haben Halbwertszeiten von 200 bis 1.000 Tagen. Wiederkehrende Anwendungen beziehungsweise Aussaaten von gebeiztem Saatgut haben akkumulierende Effekte im Boden (GOULSON 2013). 60 % der Pestizide gelangen weltweit über gebeiztes Saatgut auf die Felder (JESCHKE et al. 2011).

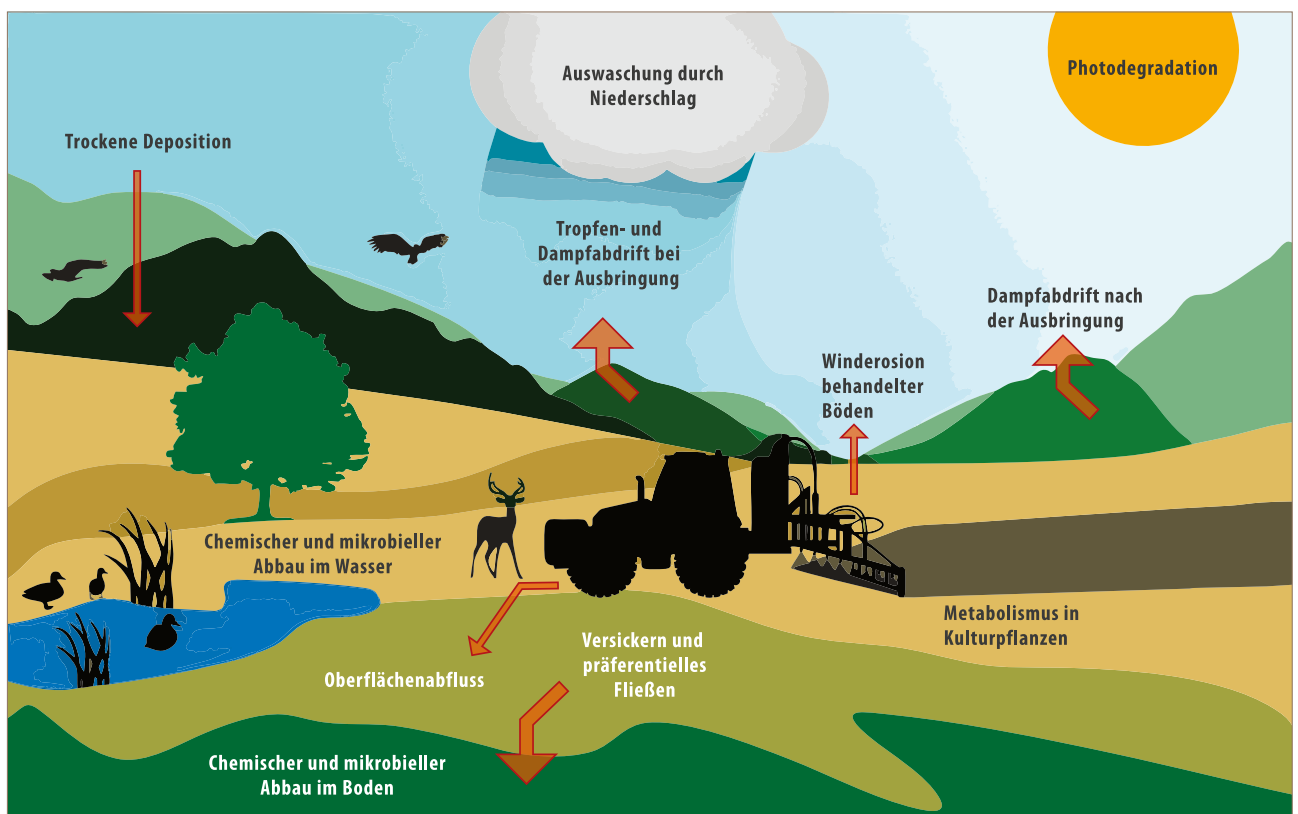
Die sich als Aerosole verteilenden Neonikotinoide töten fliegende Insekten sofort (MARZARO et al. 2011) und verteilen sich auch auf den Pflanzenoberflächen, wo sie weitere Insekten töten (KRUPKE et al. 2012). Höhere Humusgehalte im Boden sorgen für geringere Auswaschungsraten der Neonikotinoide (SELIM et al. 2010), jedoch benötigt die Bindung an Bodenteilchen Zeit, sodass bei Regen oder in erosionsgefährdeten Gebieten die Stoffe schnell ins Grundwasser oder angrenzende Gewässer ausgewaschen werden (ANHALT et al. 2008). Unter Laborbedingungen konnten kaum letale Effekte erkannt werden (CRESWELL 2011). Die Verdriftungen sowie das Sammeln von Pollen und Nektar von behandelten Pflanzen wurde noch nicht ausreichend untersucht (GOULSON 2013). Zudem sorgen subletale Dosen bei Bestäubern zu Verlust von Erinnerungsvermögen, zur Abnahme der Lernfähigkeit, zu abnehmender Fruchtbarkeit und verminderter Futteraufnahme (HENRY et al. 2012; YANG et al. 2008; MOMMAERTS et al. 2010), was langfristig ebenfalls zum Tod, aber auf jeden Fall zu einem Fitnessverlust führt, jedoch in den Studien nicht berücksichtigt wird.

Zur Bewertung der Auswirkungen von Pestiziden auf das gesamte Boden-ökosystem ist noch weitere Forschung notwendig. Die Enzyymbildung wird durch Pestizide, vor allem Fungizide gestört, was die Aktivität des gesamten Bodenlebens negativ beeinflusst und somit Stoffflüsse, Umwandlungs- und Speicherprozesse beeinträchtigt (RIAH et al. 2014). Fest steht, dass letztendlich Ökosystemfunktionen eingeschränkt werden, sobald die Biodiversität reduziert wird (FENNER et al. 2013). Vor allem Neonikotinoide (die heute am meisten verwendeten Herbizide), gelangen über das Bodennahrungsnetz in die Körper vieler Nicht-Ziel-Organismen und reduzieren dadurch die Schädlingskontrolle durch Nützlinge und damit in der Folge auch Ernteerträge (DOUGLAS et al. 2015).

2002 verpflichteten sich alle 196 partizipierenden Staaten der Convention on Biological Diversity dazu, den Biodiversitätsschwund zu stoppen. Sämtliche Ziele wurden jedoch verfehlt und das Artensterben war nie so schnell

wie heute. Das liegt neben der Landschafts- und Bodenzerstörung an modernen Pestiziden, da diese weit-aus toxischer sind als das mittlerweile verbotene DDT (GOULSON 2013). 1954 konnte eine Menge von 2.000 g pro Hektar DDT 74 Millionen Honigbienen töten. Heute können 10 bis 150 g pro Hektar Neonikotinoide 2,5 Milliarden Honigbienen töten (GOULSON 2022). Vier von fünf Neonikotinoiden sind mittlerweile in der Europäischen Union verboten. Was jedoch an der weiteren Produktion und dem Verkauf in außer-europäische Länder nichts ändert. Da auch die Ausbringung der zugelassenen Pestizide den Ökosystemen schadet, ist eine generelle Reduktion von Pestiziden notwendig. Neueste Erkenntnisse zeigen, dass sich Pestizide auch in größerem Ausmaß verbreiten und nicht wie angenommen in der Region der Ausbringung verbleiben. In verschiedenen Höhenlagen findet die Ausbringung aufgrund spezieller Thermik statt, sodass sich die Stoffe auch auf Bergen und in Nationalparks wiederfinden (BRÜHL et al. 2024).

Abbildung 2-18
Ausbreitungswege von Pestiziden – Grafik nach CLEARWATER et al. (2016);
Quelle: CESSNA et al. (2005)



2.10 Böden unter Bewirtschaftung

2.10.1 Waldböden

Würde der Wald ohne Waldböden existieren? Inwiefern beeinflussen die gleichbleibende Waldvegetation und die Laub-Nadel-Streu den Aufbau der Böden? Die Antwort ist eindeutig: Ohne Waldböden kein Wald und ohne Wald auch kein Waldboden (MEDWEDSKI 2022).

Durch die langfristig gleichbleibende Vegetationsdecke, können sich im Waldboden langfristig stabile Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen und Bodenlebewesen aufbauen (WILPERT 2001). Das unterscheidet sie von landwirtschaftlich genutzten Böden, die gepflügt werden (WALSER et al. 2021). Waldböden sind gekennzeichnet durch eine weitgehend ungestörte Abfolge der Bodenhorizonte. Typisch für die Streuauflage sind abgestorbene, unzersetzte Pflanzenbestandteile. Unterhalb der Streuauflage befindet sich die von den Destruenten zersetzte Schicht, die Vermoderungs- oder Feinhumusschicht. Die für Waldböden typische Humusauflage ist für die Fruchtbarkeit der Böden und den Bodenwasserhaushalt sehr wichtig. Die ausgeprägte Humusschicht sowie die Struktur und das vielfältige Leben im Waldboden bewirken, dass Wasser, Kohlenstoff und Stickstoff gespeichert werden können. In Europa speichern Waldböden dabei sogar mehr organischen Kohlenstoff als der Wald in der oberirdisch lebenden Biomasse speichert (GRÜNEBERG et al. 2017; LAL 2015).

Waldböden sind eine wichtige Ressource, die im menschlichen Zeitschema als nicht erneuerbar gilt. Ihrem Schutz kommt eine besondere Bedeutung zu. Sie reinigen Regenwasser und verbessern so die Qualität des Trinkwassers. Der Waldboden und der darauf stockende Wald bewirken eine Verzögerung des Wassereintrags und schüt-

zen somit vor Hochwasser und Erosion. Der Waldboden ist die Grundlage der erneuerbaren Ressource Holz, ist Lebensraum für zahlreiche Lebewesen und hat hohe Bedeutung für die Fixierung von Kohlendioxid. In Deutschland ist deshalb die Umwandlung von der Bodennutzungsart Wald in eine andere Nutzung nur nach Genehmigung der Forstbehörde möglich (§ 9 Satz 1 Bayerisches Waldgesetz).

Man unterscheidet drei verschiedene Waldhumusformen: Mull, Moder und Rohhumus. Ausgangsmaterial ist die jeweils aufliegende Streu, wobei Nadelstreu langsamer zersetzt wird als Laubstreu.

- Mull besteht meist aus Laubstreu bei geringer Streuauflage und liegt dem humosen Oberboden direkt auf. Mull besitzt einen charakteristischen Erdgeruch, der von streuzersetzenden Bakterien und Pilzen stammt (AMELUNG et al. 2018). Ein sehr aktives Bodenleben aus wühlenden und erdfressenden Bodentieren zersetzt die Streu bei günstigen klimatischen Bedingungen sehr schnell. Dadurch ist im darunter liegenden humosen Oberboden der Humusgehalt sehr hoch und der pH-Wert ist schwach sauer bis alkalisch.
- Moder steht im Abbaugrad zwischen den Humusformen Mull und Rohhumus. Die Streu wird in der organischen Auflage zersetzt und der Abbau erfolgt relativ langsam, weil die Streu schwerer zersetzbar ist und die Bodenlebewesen weniger aktiv sind als beim Mull. Moder entsteht oft in krautarmen Laub- und Nadelwäldern auf relativ nährstoffarmen Gesteinen. Beim Moder ist auch ein Auflagehumus vorhanden, der aber

eine deutlich geringere Mächtigkeit aufweist als beim Rohhumus (AMELUNG et al. 2018).

- Rohhumus bildet sich über extrem nährstoffarmen Böden bei schwer abbaubarer Streu aus, zum Beispiel Heiden- oder Koniferenstreu. Rohhumus bildet eine mächtige, bis zu 30 cm dicke Humusauflage, die nahezu keine Bodentiere aufweist. Kleinklimatische Verhältnisse bewirken eine Hemmung des Abbaus der organischen Substanz. Huminstoffe finden sich dennoch im Unterboden und können durch Regen- und Sickerwasser leicht ausgewaschen werden («Handreichung Lernort Boden» 2006).

2.10.2 Böden in der Landwirtschaft

2.10.2.1 DIE PROBLEMATIK DES KLASSISCHEN ACKERBAUS

In natürlichen Bodenökosystemen wird deren Resilienz durch Selbstregelungsmechanismen gesichert. Hier gibt es selten offenen Boden, früher oder später werden sich immer Pflanzen ansiedeln, die den Boden bedecken und ihn mit unterschiedlichen Wurzelsystemen stabilisieren. Dies reduziert Erosion und vermindert Mineralstoffauswaschung bei gleichzeitig erhöhter Klimaschutzwirkung durch Kohlenstoffbindung (DOLTRA et al. 2019; POWLSON et al. 2012). Mehrjährige Pflanzen wurzeln häufig tiefer und es kann sich ein vielfältiges, resilientes Bodenleben etablieren. Je länger der Boden vegetationsfrei ist, desto schneller degradiert er, verliert er Humus und das Bodenleben nimmt ab.

Wenn die Böden ackerbaulich genutzt werden, führt die regelmäßige Entfernung der Pflanzendecke zur Beeinträchtigung der Kreisläufe. Mineralstoffe werden einseitig entzogen und unerwünschte Kräuter dezimiert. Nach

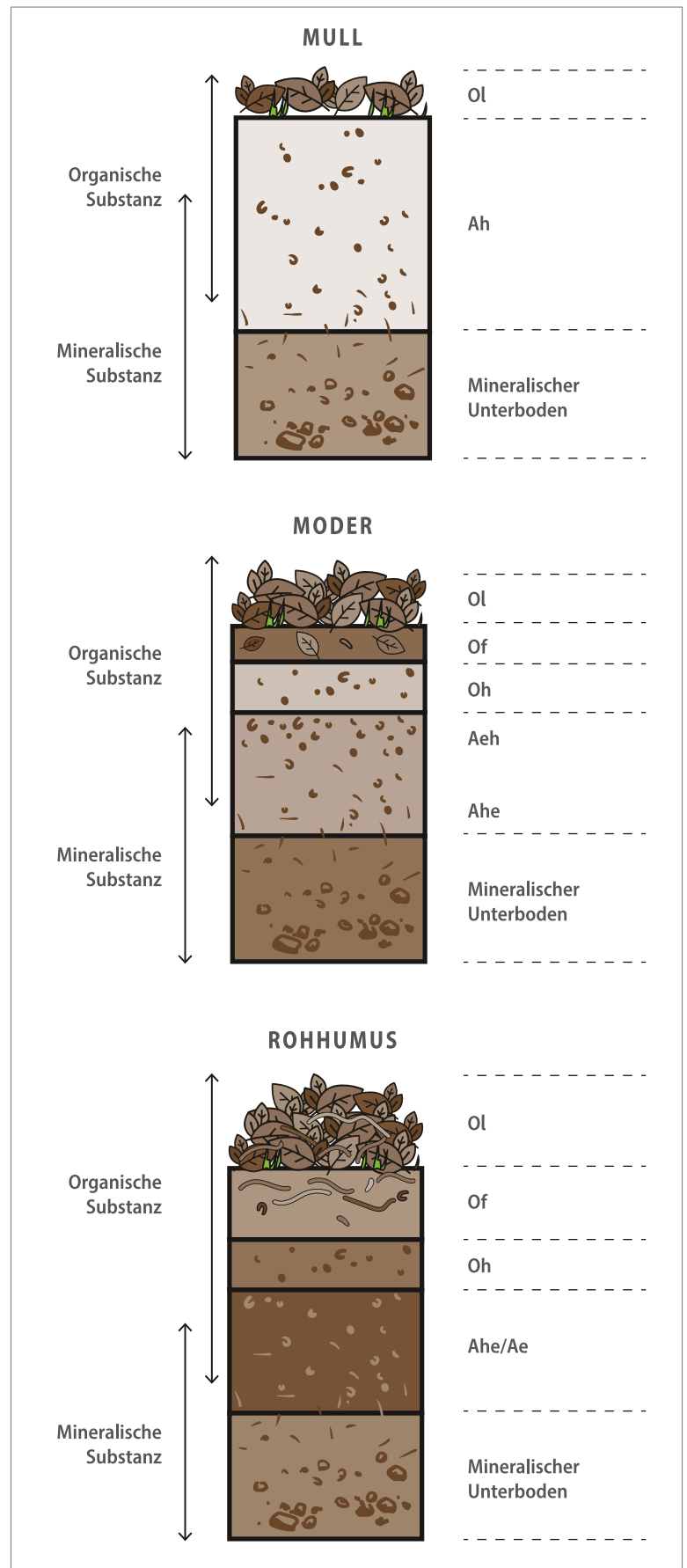


Abbildung 2-19

Aufbau und Unterscheidungsmerkmale der Humusformen Mull, Moder und Rohhumus (nach «Handreichung Lernort Boden» 2006; vereinfachte Beschriftung mit Ol: Streu, Of: Auflagehumus, Ah: humoser Oberboden)

der Ernte wird der Oberboden gepflügt, sodass keine Wurzeln zurückbleiben und die Bodenlebewesen absterben. Ein sogenannter Pflughorizont, auch Pflugsohle genannt, entsteht. In der Tiefe des Pfluges wird der Boden gelockert und darunter verdichtet. Der Boden muss anschließend bearbeitet und gedüngt werden, damit ein stabiles, mineralstoffreiches Bodengefüge für die angebaute Nutzpflanze entsteht.

Ist es dann überhaupt möglich, nachhaltig Ackerbau zu betreiben? Voraussetzung hierfür sind Mischkulturen und Untersaaten, die den Boden möglichst fortlaufend durchwurzeln und ihn stets bedecken. Zudem kann bei standortangepasster Bearbeitung ein lockerer Boden mit vielen kleinen und mittleren Hohlräumen erhalten werden (BLE 2022), wenn darauf geachtet wird, ein reichhaltiges Bodenleben mit Mikroorganismen und Regenwürmern zu erhalten. Die Wahl der Bodenbearbeitung sollte deshalb darauf abzielen, deren Lebensraum so wenig wie möglich zu beeinträchtigen (BERNER 2013). In solch einem Krümelgefüge kann Wasser gut aufgesaugt und überschüssiges Niederschlagswasser in die Tiefe infiltrieren. Sowohl die Bodenfruchtbarkeit als auch die Biodiversität sind unweigerlich mit der Qualität und Menge der Erträge sowie dem Wasserhaushalt verbunden (BLE 2022).

2.10.2.2 STICKSTOFF ALS PFLANZENNÄHRSTOFF

Stickstoff ist ein zentraler Pflanzennährstoff und essenziell für die Bildung von Aminosäuren, Proteinen, Enzymen und Chlorophyll (Heß 2020). Er fördert das Wachstum in Wurzel- und Sprossmeristemem und ist aufgrund seines bidirektionalen Transports in der Pflanze an charakteristischen Mangelercheinungen in allen Pflanzenteilen erkennbar.

Im Boden liegt Stickstoff zu etwa 95 % organisch gebunden im Humus vor. Pflanzenverfügbar ist er vor allem als Ni-

trationen (NO_3^-) und Ammoniumionen (NH_4^+). Nitrat ist im Boden mobil und wird bevorzugt aufgenommen, während Ammonium stärker an die Bodenmatrix gebunden ist. Durch mikrobielle Prozesse wie Nitrifikation und Denitrifikation wird Stickstoff fortlaufend umgewandelt und teilweise in die Atmosphäre abgegeben (URL 10).

Zur Düngung werden sowohl mineralische als auch organische Stickstoffquellen eingesetzt. Mineralische Dünger (zum Beispiel Kalkammonsalpeter oder Harnstoff) liefern sofort verfügbare Nährstoffe, bergen jedoch ein hohes Risiko für Auswaschung und Treibhausgasemissionen. Organische Dünger wie Mist, Kompost oder Gülle müssen erst mikrobiell mineralisiert werden. Ihre Wirkung ist witterungsabhängig, aber nachhaltiger, da sie das Bodenleben fördern und die Nährstofffreisetzung gleichmäßiger erfolgt. Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N) spielt dabei eine entscheidende Rolle: Weite C/N-Verhältnisse, wie zum Beispiel bei Kompost, Festmist oder Kuhfladen, begünstigen den Humusaufbau. Enge C/N-Verhältnisse, wie zum Beispiel bei Gülle, fördern aufgrund häufig anaerober Bedingungen hingegen Fäulnis und Emissionen.

Übermäßige Stickstoffzufuhr, besonders in anorganischer Form, führt zu Nitratverlagerungen ins Grundwasser, Versauerung und Rückgang der Bodenfauna. Zudem entstehen klimawirksame Gase wie Ammoniak und Lachgas (N_2O). Etwa zwei Drittel der Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen in Deutschland stammen aus der Landwirtschaft. Zu hohe Stickstoffmengen destabilisieren Pflanzengewebe, vermindern die Symbiose mit Knöllchenbakterien und verringern langfristig die Bodenfruchtbarkeit.

Eine nachhaltige Stickstoffwirtschaft erfordert daher angepasste Düngung nach Pflanzenbedarf und

EXKURS: Welche Möglichkeiten der Bodenbearbeitung gibt es?

Einige Vorgänger des Pfluges wurden bereits in der Jungsteinzeit in verschiedenen Kulturen benutzt, um das Land zu bewirtschaften. Früh erkannte man, dass der Boden ein lockeres Gefüge haben muss, damit die Samen keimen und die Erträge steigen. Bis heute werden landwirtschaftliche Flächen gepflügt, um den Boden zu lockern und gleichzeitig unerwünschte Pflanzen zu entwurzeln. Deshalb wird der Pflug auch als mechanische Beikrautbekämpfung eingesetzt, insbesondere im ökologischen Landbau, da hier keine Herbizide benutzt werden. Zunehmend werden jedoch auch die Nachteile des Pflugeinsatzes diskutiert. Die Schäden an der Bodenstruktur durch das Wenden des Oberbodens und die vollständige Entfernung der Pflanzendecke sorgen für vermehrte Kohlenstofffreisetzung und einen deutlich erhöhten Bodenabtrag durch Erosion.

Beim Vergleich der beiden Anbauverfahren **mit Pflugeinsatz (1)** und der **pfluglosen Direktsaat (2)** kommt es zu starken Unterschieden in Bezug auf die Qualität und Quantität der mikrobiellen Biomasse und der Bodenfauna, insbesondere Regenwürmer und Laufkäfer.

1. Durch die Bearbeitung mit dem Pflug wird ein homogener Pflughorizont geschaffen, wodurch die Lebensbedingungen in Pflugschartiefe (bis 30 cm Tiefe) einheitlicher werden. Die Vereinheitlichung der abiotischen Umweltfaktoren führt zu einer Vereinheitlichung der dort lebenden Arten, nur wenige robuste Generalisten kommen mit diesen Bedingungen zurecht.
2. Bei der pfluglosen Direktsaat bleiben die natürlichen Horizonte und vielfältigeren Lebensraumstrukturen weitestgehend erhalten, da nur minimal in den Boden eingegriffen wird. Direktsaatverfahren zeigen im Vergleich zu gepflügten Flächen höhere Bodenbiomassewerte und eine messbar höhere Aktivität der Bodenfauna. Vor allem das Vorkommen

großer Laufkäferarten der Gattung *Carabus* ist deutlich erhöht (MÜLLER 2006). Auch gibt es bei einer pfluglosen Bodenbearbeitung positive Auswirkungen auf die Regenwurmdichten. Der tiefgrabende Tauwurm (*Lumbricus terrestris*), der sowohl für eine Verbesserung der Bodenstruktur als auch Erosionsreduzierung verantwortlich ist, wird auf pfluglosen Flächen gefördert (WALTER et al. 2015). Spinnen, welche als wichtige Nützlinge und natürliche Schädlingsbekämpfer gelten, kommen vermehrt auf pfluglos bearbeiteten Flächen vor (KREUTER & NITZSCHE 2004). Konservierende, pfluglose Bodenbearbeitung ist ebenso wirkungsvoll im Erosionsschutz, da das Gefüge und die Pflanzendecke erhalten bleiben (SCHMIDT et al. 2001). Eine Herausforderung der pfluglosen Direktsaat ist die ökologische Beikrautregulierung, die im Kern nur durch konkurrenzstarke Untersaaten und Zwischenkulturen erfolgen kann.

Bei allen Handlungsoptionen im Ackerbau sollte berücksichtigt werden, dass jede Form der Bewirtschaftung Auswirkungen auf zum Beispiel das Bodengefüge, den Anteil des organischen Materials und eben auch auf die Regenwurmpopulation hat. So können leider keine allgemeingültigen, starren Vorgaben erstellt werden. Beispielsweise kann ein zweijähriger Pflugeinsatz, bei gleichzeitig vielfältiger Frucht-Zwischenfruchtfolge ohne den Einsatz von Pestiziden, größere Regenwurmbestände aufweisen als eine dauerhafte pfluglose Minimalbodenbearbeitung. Die ökologisch-landwirtschaftliche Expertise zeigt sich in der Kenntnis und dem Bewusstsein für die Prozesse und Wechselwirkungen im Ökosystem, auf deren Grundlage für den jeweiligen Landwirtschaftsbetrieb unter seinen Standortbedingungen die am besten geeigneten Methoden erarbeitet werden müssen.

Bodentyp, die Einbindung organischer Substanz sowie vielfältige Fruchtfolgen mit Leguminosen und Zwischenfrüchten. Diese fördern die biologische Stickstofffixierung, verringern Auswaschungen und stabilisieren den Humusgehalt. Ergänzend tragen Agroforstsysteme mit tiefwurzelnden Gehölzen dazu bei, überschüssigen Stickstoff aus tieferen Bodenschichten zu binden und Verluste zu vermeiden.

2.10.3 Eine zukunftsfähige Landnutzung

Eine zukunftsfähige Landnutzung orientiert sich an den Prinzipien des Bodenaufbaus, der Biodiversität und der Wasserspeicherung. Böden sind das Fundament ökologischer Resilienz – sie regulieren Wasserhaushalt, Nähr-

stoffkreisläufe und Kohlenstoffspeicherung. Ihre Erhaltung und Regeneration ist daher zentrale Aufgabe einer nachhaltigen Landwirtschaft.

WASSERHAUSHALT UND KLIMAWIRKUNG

In Zeiten zunehmender Trockenperioden muss Wasser länger in der Landschaft gehalten werden. Dauerhafte Bodenbedeckung, vielfältige Vegetation mit unterschiedlich tiefen Wurzeln, reduzierte Bodenverdichtung und kleine Retentionsflächen fördern die Infiltration und Verdunstungskühlung. Durch eine belebte, bewachsene Bodenoberfläche entstehen kleine Wasserkreisläufe und lokale Wolkenbildung und Niederschläge – ein natürlicher Kreislauf, der das regionale Klima stabilisiert.

EXKURS: Einfluss vom Redoxpotenzial und pH-Wert auf das Pflanzenwachstum

Nicht nur das Vorhandensein der Nährstoffe im Boden, sondern auch das Redoxpotenzial und der pH-Wert bestimmen das Wachstum der Pflanzen. Der pH-Wert zeigt die Verfügbarkeit von Oxoniumionen, wohingegen das Redoxpotenzial die Verfügbarkeit von Elektronen für biochemische Prozesse verdeutlicht. Auch die mikrobielle Gemeinschaft wird stark von beiden beeinflusst. Beispielsweise kann die bakterielle Stickstofffixierung nur bei niedrigem Redoxpotenzial erfolgen. Gleichzeitig kann das Mikrobiom sowohl den pH-Wert als auch das Redoxpotenzial zu dessen Gunsten beeinflussen (HUSSON 2013). Ein niedriges Redoxpotenzial begünstigt anaerobe Bakterien, die diese noch weiter reduzieren. Dann können die Pflanzen die Mineralstoffe nicht mehr aufnehmen und es kommt zum Wel-

ken. Hohe Redoxpotenziale entstehen durch Verluste von organischem Material im Boden. Auch hierbei verändert sich die Verwertbarkeit der Nährstoffe durch Oxidation und die Pflanze muss Energie aufwenden, um das Redoxpotenzial für die Stoffaufnahme in Wurzelnähe wieder zu senken. Für ein Redoxpotenzial, bei dem die Nährstoffe pflanzenverfügbar sind, sind ein diverser Pflanzenbestand, ein aktives Bodenleben und eine gute Durchlüftung notwendig. Bei einem angemessenen Redoxpotenzial ist auch die Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten durch Pilze und Bakterien, aber auch parasitische Insekten geringer. Dies verdeutlicht, wie vielschichtig das Thema Düngung ist und dass Pflanzen unmittelbar mit den Wechselwirkungen im Ökosystem Boden zusammenhängen.

VIelfALT ALS RESILIENTZFAKTOR

Artenreiche Fruchtfolgen, Mischkulturen und vielfältige Mikrobiome erhöhen die Widerstandskraft landwirtschaftlicher Systeme. Pflanzliche und mikrobielle Vielfalt senken Krankheits- und Schädlingsdruck, verbessern Nährstoffnutzung und steigern die Produktivität langfristig. Je vielfältiger das System, desto resilienter reagieren Böden und Pflanzen auf Stressfaktoren wie Trockenheit oder Hitze.

GEHÖLZE UND GRÜNLAND ALS SCHLÜSSELSTRUKTUREN

Agroforstsysteme verbinden Bäume mit landwirtschaftlicher Nutzung. Sie stabilisieren Böden, spenden Schatten, verringern Wind- und Erosionsschäden und fördern Biodiversität. Besonders Grünland speichert große Mengen Wasser und Kohlenstoff und wirkt als Filter gegen Nährstoffverluste. Ein Umbruch zu Ackerland setzt erhebliche Mengen CO₂ frei, weshalb der Erhalt von Dauergrünland ökologisch und klimatisch sinnvoll ist.

WEIDETIERE ALS ÖKOLOGISCHE AKTEURE

Naturnahe Beweidung erhält Graslandschaften, belebt den Boden und fördert Nährstoffkreisläufe. Durch Dung, Trittspuren und selektiven Verbiss entstehen vielfältige Mikrohabitate. Voraussetzung ist eine extensive Haltung mit standortangepasster Tieranzahl und Futtergrundlage ausschließlich auf Grünlandbasis.

PERSPEKTIVE UND AUFTRAG

Landwirtschaft muss vom Ökosystem Boden ausgehend gedacht werden: Nur intakte Ökosysteme sichern langfristig die Ernährung und tragen gleichzeitig zum Klimaschutz bei. Politische Anreize sollten sich an ökologischen Leistungen – Bodenfruchtbarkeit, Wasserqualität, Biodiversität – statt an Flächengrößen orientieren. Regenerative Bewirtschaftung, kombiniert mit Bildung und Bewusstseinswandel, kann so eine tragfähige Zukunft für Mensch und Umwelt schaffen.

3. Wirbellose

halten Ökosysteme am Laufen

Ein bunter Schmetterling, eine summende Biene an einer Blüte oder die metallisch glänzende Libelle sind Wirbellose, die wir wertschätzen. Doch unser Verhältnis zu Wirbellosen ist ambivalent: Keiner mag von einer Biene gestochen werden, manche finden Schnecken und Regenwürmer eklig, haben Angst vor Spinnen oder fragen sich, wozu Plagegeister wie Mücken und Silberfischchen denn gut sein sollen. Erst mit der Veröffentlichung der sogenannten «Krefeld-Studie» wurde mit dem Thema Insektensterben den Wirbellosen wieder die Aufmerksamkeit einer breiten Öffentlichkeit zuteil. Insekten machen rund 70 % der Wirbellosen in Deutschland aus und alle Wirbellosen zusammen spielen für

das Funktionieren unserer Ökosysteme eine zentrale Rolle. Eine große Aufgabe für die Bildung ist es, die große Bedeutung der wirbellosen Tiere für das Funktionieren der Ökosysteme und letztlich für unser Überleben zu vermitteln und die Bereitschaft für den Schutz und den Erhalt dieser zahllosen kleinen Tiere zu erhöhen. Denn ohne sie würden zentrale Stoff- und Nahrungskreisläufe nicht mehr funktionieren, darunter die Bestäubung von Nutz- und Wildpflanzen, die Regulation von Schädlingen, der Abbau von organischem Material oder die Bioturbation zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Ihre Biomasse ist weitaus größer als die der Wirbeltiere und sie sind die Nahrungsgrundlage für viele Wirbeltierarten.

3.1 Was sind «Wirbellose»?

Wirbellose (Invertebrata) sind vielzellige Tiere ohne Wirbelsäule. Ihnen wird die Gruppe der Wirbeltiere (Vertebrata) gegenübergestellt. Die Wirbellosen sind keine natürliche Verwandtschaftsgruppe, der Ausdruck hat lediglich einen beschreibenden, nicht systematischen Charakter. Der im Lehrplan-PLUS verwendete Fachbegriff «Wirbellose» bezeichnet folglich mehrere Tierstämme (NICKL 2021). Er umfasst die artenreichsten Tiergruppen mit den

höchsten Artenzahlen in Deutschland. Wirbellose sind damit wesentlicher Bestandteil der biologischen Vielfalt und man findet sie in allen Ökosystemen. Mit über 33.000 Arten stellen die Insekten den größten Anteil der wirbellosen Tiere in Deutschland. Die sehr hohe Zahl und die oft geringe Größe dieser Tiere machen deutlich, dass nur artenarme, überschaubare Tiergruppen, die gut zu beobachten und zu untersuchen sind, für schulische Aktionen in Frage kommen.

QR-Code 3-1

YouTube-Video:
(www.onezoom.org/life/@Arthropoda)



3.2 Systematische Übersicht der Wirbellosen – Haben nur Insekten sechs Beine?

QR-Code 3-1 leitet zu OneZoom mit einem interaktiven Lebensbaum weiter. Dieser stellt die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen weit über zwei Millionen Taxa dar und ist mit über 105.000 Bildern auf einer einzi-

gen Internetseite hervorragend illustriert. Der Lebensbaum-Explorer ist kostenlos und ohne Werbung. OneZoom kann von Schülern jeden Alters im Klassenzimmer oder zu Hause verwendet werden.

Die erfolgreichste Tiergruppe der Wirbellosen ist mit rund 80 % aller bekannten, noch lebenden Tierarten der Stamm der Gliederfüßer (Arthropoda), zu denen unter anderem die Sechsfüßer (und damit die Insekten) sowie die Spinnentiere und die Krebstiere zählen.

Die primitivsten heute lebenden Sechsfüßer (Hexapoda) werden als Urinsekten zusammengefasst. Sie besitzen noch keine Flügel. Die winzigen, nur ein bis wenige Millimeter großen Springschwänze bilden die artenreichste Ordnung. Das am höchsten entwickelte Urinsekt, das Silberfischchen, ist das bekannteste, da es auch in Gebäuden vorkommen kann.

Demgegenüber haben die Fluginsekten den größten Anteil an der biologischen Vielfalt. Sehr hohe Artenzahlen weisen die Hautflügler, Zweiflügler, Käfer und Schmetterlinge auf (Tabelle 3-2). All diesen Insektengruppen ist gemein, dass sich ihre größte Artenvielfalt in der Kreidezeit, parallel zur Entwicklung der Vielfalt der Blütenpflanzen, herausgebildet hat. Denn ohne die Vielfalt der Blütenpflanzen gäbe es die heutige Vielfalt der Insekten nicht.

Im Gegensatz zu den Urinsekten durchlaufen Fluginsekten eine Gestaltsumwandlung (= Metamorphose). Primitivere Fluginsekten durchlaufen diese graduell (Hemimetabolie): Die Larve häutet sich nach dem Schlupf aus dem Ei mehrmals und verwandelt sich schrittweise (ohne Puppenstadium) in das fertige Insekt (Imago). Bei höher entwickelten Insekten findet eine vollständige Verwandlung (Holometabolie), mit einem weitgehenden Ruhestadium (Puppe) zwischen dem Larvenstadium und dem fertigen Insekt, statt. Holometabole Insekten sind die komplexesten Insekten, zu denen die vier artenreichsten Ordnungen zählen. Die staatenbildenden Bienen und Ameisen aus der Ordnung der Hautflügler sind aufgrund ihrer komplexen Sozialstrukturen für die Forschung hochinteressant.

Tabelle 3-2
Artenvielfalt der Wirbellosen in Deutschland in Zahlen, Reihung nach geschätzten Artenzahlen (nach HUSEMANN et al. 2022, ergänzt)

GLIEDERFÜßER (Stamm Arthropoda)		
SECHSFÜßER (Unterstamm Hexapoda)		
	ORDNUNG	ARTENZAHL
FLÜGELLOSE INSEKTEN Urinsekten	Springschwänze (Collembola)	522
	Beintastler (Protura)	41
	Doppelschwänze (Diplura)	21
	Felsenspringer (Archaeognatha)	8
	Fischchen (Zygentoma)	4
FLUGINSEKTEN (Insecta)	Hautflügler (Hymenoptera)	9.318
	Zweiflügler (Diptera)	9.183
	Käfer (Coleoptera)	6.492
	Schmetterlinge (Lepidoptera)	3.602
	Schnabelkerfe (Hemiptera)	2.497
	Tierläuse (Phthiraptera)	641
	Köcherfliegen (Trichoptera)	313
	Fransenflügler (Thysanoptera)	214
	Steinfliegen (Plecoptera)	123
	Eintagsfliegen (Ephemeroptera)	112
	Netzflügler (Neuroptera)	101
	Staubläuse (Psocoptera)	95
	Heuschrecken (Orthoptera)	85
	Libellen (Odonata)	80
	Flöhe (Siphonaptera)	72
	Fächerflügler (Strepsiptera)	15
	Kamelhalsfliegen (Raphidioptera)	10
	Schnabelfliegen (Mecoptera)	9
	Ohrwürmer (Dermaptera)	8
	Schaben (Blattodea)	6
	Schlammfliegen (Megaloptera)	4
KREBSTIERE (Unterstamm Crustacea)		> 1.000
SPINNENTIERE (Stamm Arachnida)		> 3.780
WEICHTIERE (Stamm Mollusca)		635
RINGELWÜRMER (Stamm Annelida)		> 500

Vielfalt ist mehr als die Artenzahl. Die Einzigartigkeit jedes einzelnen Wirbellosen drückt sich auch im äußeren Erscheinungsbild aus – kein Insekt ist wie das andere und jede Art hat ihre spezifische Rolle in den Kreisläufen der Natur. So spielt beispielsweise die artenarme Tiergruppe der Heuschrecken eine bedeutende Rolle im artenreichen Grünland. Diese Pflanzenfresser erreichen hohe Anteile an der tierischen Biomasse

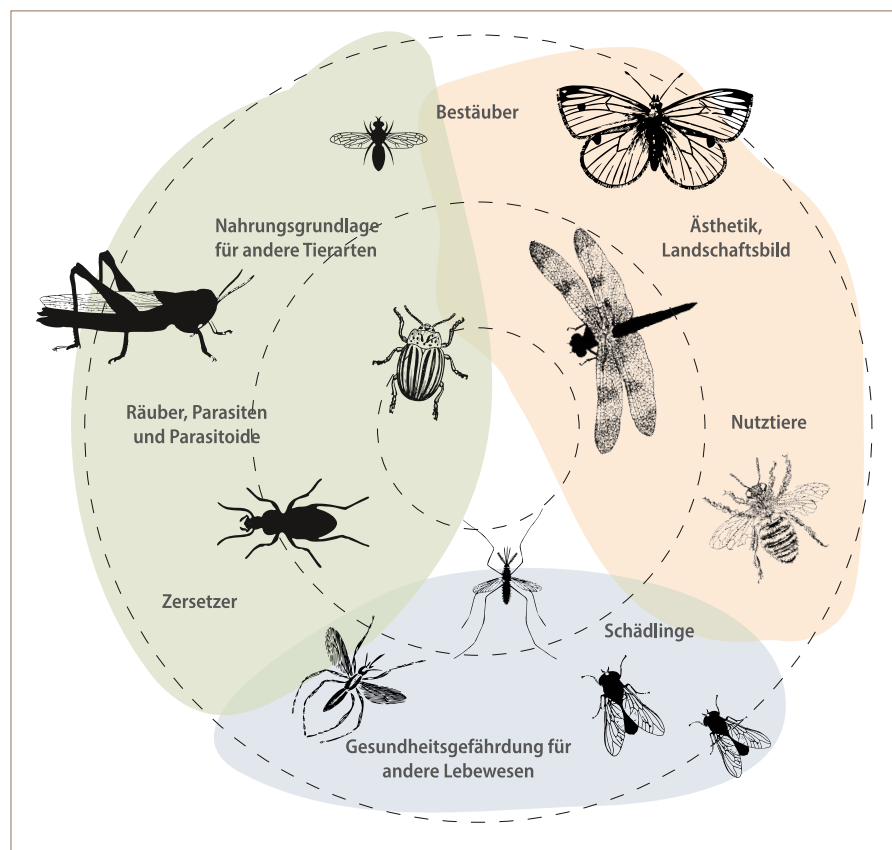
im Grünland und sind gleichzeitig Nahrungsbasis für andere Tiergruppen wie Spinnen, Reptilien und Vögel. Die hoch entwickelte, aber artenarme Tiergruppe der Ameisen wirkt multifunktionell (durch Lockern und Bewegen von Erde in den oberen Bodenschichten) als Verbreiter von Pflanzensamen, als räuberische Insektenjäger und als Nahrungsbasis für Vögel und Spinnen.

3.3 Kleine Tiere, große Bedeutung

Wirbellose erfüllen zentrale ökologische Funktionen als essenzieller Teil der Nahrungsnetze zwischen Pflanzen und Tieren in den verschiedenen Ökosystemen. Wälder, Gewässer, Äcker und Grünland sind untrennbar mit dem Vorkommen von Wirbellosen verbunden. Sie sind «Ökodienstleister», ohne die Stoff- und Nahrungskreisläufe in unseren Ökosystemen zusammenbrechen würden. Sie

sorgen dafür, dass die Böden fruchtbar bleiben oder tragen zur Wasserreinhaltung bei. Abgestorbene Pflanzen (Falllaub und Holz) werden durch ihre Tätigkeit kompostiert und in tierische Biomasse (Dung, tote Tiere) zersetzt. Zudem bestäuben sie Wild- und Nutzpflanzen und sind wichtige Gegenspieler gegenüber Schädlingen an Kulturpflanzen (Abbildung 3-3).

Abbildung 3-3
Wirbellose erfüllen zentrale Funktionen in Ökosystemen. Eine Reihe von Arten können jedoch für Kulturpflanzen schädlich sein oder Gesundheitsgefahren für Mensch und Nutztiere bergen. Bedeutende Gegenspieler sind in vielen Fällen räuberische Wirbellose, die eine regulierende Funktion haben (Grafik nach Josephine Jedicke; Quelle: www.lfu.bayern.de/natur/bayaz/arten-schutz_tiere/insekten/index.htm).





Abbildungen 3-4 und 3-5

Insekten bestäuben Blütenpflanzen auf der Suche nach Nahrung. Blüten und Insekten haben sich deshalb im Laufe der Evolution aneinander angepasst. So erreicht beispielsweise das Taubenschwänzchen (*Macroglossum stellatarum*) mit seinem langen Saugrüssel den Nektar in tiefen Blütenröhren (links; Foto: Jerzy Strzelecki), während die offenen Scheibenblüten des Wiesen-Bärenklaus (*Heracleum sphondylium*) gerne von Fliegen und Käfern mit kurzen Mundwerkzeugen besucht werden (rechts; Foto: Andreas Zehm).

3.3.1 Bestäubung

Die bekannteste Ökosystemleistung ist die Bestäubung von Wild- und Nutzpflanzen. Dreiviertel der wichtigsten Nutzpflanzen sind von Bestäubung durch Wirbellose abhängig. Forscher der Universität Hohenheim haben 2020 den volkswirtschaftlichen Nutzen der Bestäuber ausgerechnet: Die Bestäubungsleistung aller bestäubenden Insekten Deutschlands hat einen Wert von im Durchschnitt rund 3,8 Milliarden Euro pro Jahr, den wir bei einem Wegfall der Bestäuber verlieren. Eine herausragende Bedeutung für die Bestäubung haben Wildbienen, Schmetterlinge, Fliegen, Käfer und Wespen.

Weit bekannter ist die Honigbiene, bei deren Namen man zuerst an deren Honig denkt. Es ist jedoch ihre hohe Bestäubungsleistung für Kulturpflanzen, die sie zum drittwichtigsten Nutztier in Deutschland macht, gleich nach den Rindern (Platz 1) und Schweinen (Platz 2). Sie kommt in Deutschland nicht wildlebend vor. Ihre Bedeutung für die Bestäubung der heimischen Pflanzen wird häufig überschätzt. Neuere Forschungen belegen, dass die Honigbiene auch in der Landwirtschaft nur eine ergänzende Rolle in der Bestäubung einnimmt (OLLERTON et al. 2012; GARIBALDI et al. 2013). Zudem wirkt sich Nahrungskonkurrenz mit Honigbienen negativ auf solitäre und staatenbildende Wildbienen aus (ARZT et al. 2023). Bedeutsam für den Naturhaus-



Abbildungen 3-6 (oben), 3-7 (Mitte) und 3-8 (unten)

Neben der Honigbiene (Abbildung 3-6: *Apis mellifera*; Foto: Jürgen Tautz) sind viele weitere Insekten, wie die auch bei schlechtem Wetter fliegenden Hummeln (Abbildung 3-7; Foto: Josef Limberger) oder Schwebfliegen (Abbildung 3-8; Foto: Roland Günter), wichtige Bestäuber.

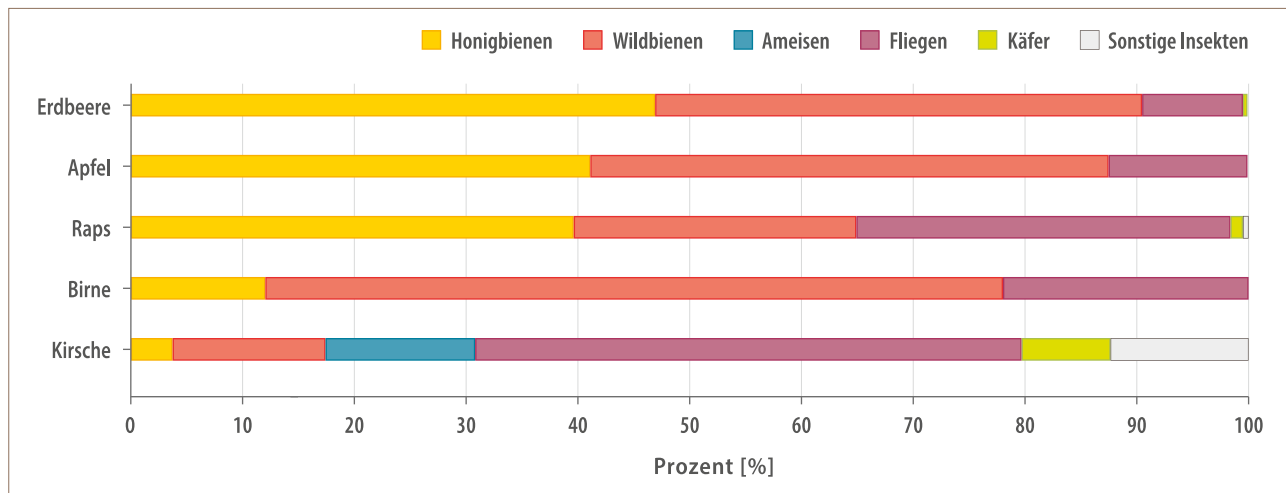


Abbildung 3-9

Anteil verschiedener Insekten-
gruppen an Blütenbesuchen
auf Nutzpflanzen. Die Beispiele
zeigen, dass die Bedeutung
der Honigbiene als Bestäuber
der Nutzpflanzen gegen-
über anderen Bestäubern
wie Wildbienen, Fliegen oder
Käfern oft überschätzt wird
(nach RADER et al. 2016).

halt und eine intakte Biodiversität ist
damit ein Zusammenspiel zwischen
natürlichen Bestäubern wie Wildbienen
und Schwebfliegen mit Honigbienen
(GARIBALDI et al. 2013).

An einem Tag fliegt eine Honigbiene
bis zu 30-mal aus und besucht 200 bis
300 Blüten pro Flug. Bei einem Blüten-
besuch sammelt sie entweder Pollen
oder Nektar. Das führt dazu, dass bei-
spielsweise bei Raps nur etwa 35 % der
Besuche der Honigbiene zur erfolgrei-
chen Bestäubung führen. Die Honig-
biene kann damit die Wildbienenarten
ergänzen, nicht aber ersetzen. So kön-
nen Hummeln wegen ihrer Tempera-
turunempfindlichkeit weitaus länger
als andere Bienen auf Nahrungssuche
sein. Sie fliegen täglich in bis zu 18 Stun-
den bis zu 1.000 Blüten an. Die geringe
Temperaturempfindlichkeit im Vergleich
zu Bienen und die Eigenschaft, auch in
feuchten Sommern die Blütenbestäu-
bung zu sichern, macht sie besonders
in regnerischen Zeiten mit niedrigen
Durchschnittstemperaturen zu wichti-
gen «Schlechtwetter»-Bestäubern.

3.3.2 Regulierende Funktion von Wirbellosen

Spinnen sind eine Modellgruppe für
Prädatoren, die in allen terrestrischen
Ökosystemen in hohen Artenzahlen
und großer Abundanz zu finden sind.
Sie sind strikter fleischfressend als an-

dere räuberisch lebende Wirbellose. Die
meisten Arten sind Generalisten, die vor
allem Insekten, aber auch andere Glie-
dertierte erbeuten.

Spinnen sind die am weitesten ver-
breitete und die artenreichste Gruppe
von Räubern auf der Erde. In Landle-
bensräumen können bis zu 150 Spinnen
auf einem Quadratmeter leben. Ihr Er-
folg beruht auf einem hoch entwickelten
sensorischen System, mit dem sie ihre
Beute und die Umgebung besonders
gut wahrnehmen können. Die im Tier-
reich einzigartige Fähigkeit Fangnetze zu
weben und der Einsatz von Gift machen
Spinnen zu besonders effektiven Jägern.
Nach einer neuesten Schätzung sollen
Spinnen jährlich zwischen 400 und 800
Millionen Tonnen an Beute verzehren.
Zum Vergleich: Der Fleischkonsum der
Menschen liegt bei rund 400 Millionen
Tonnen pro Jahr (NYFFELER & BIRKHOFFER
2017). Die Größenordnung dieser Schät-
zungen ist überraschend und wirft ein
neues Licht auf die Bedeutung der Spin-
nen in Ökosystemen.

Regulatoren pflanzenfressender und
an Pflanzen saugender Wirbellose sind
vor allem für den Anbau von Nutzpflan-
zen von großer Bedeutung. Ein Sieben-
punkt-Marienkäfer (*Coccinella septem-
punctata*) frisst zwischen 100 und 150
Blattläuse pro Tag, seine Larven verspei-
sen in der Zeit bis zu ihrer Verpuppung



Abbildung 3-10 (links)

Im artenreichen Grünland macht im Spätsommer der Morgentau die hohe Spinnendichte mit einer Vielzahl kunstvoll gewebter Fangnetze sichtbar (Foto: Peter Sturm).

Abbildung 3-11 (rechts)

Die Wespenspinne (*Argiope bruennichi*) zählt mit ihrer auffälligen Zeichnung zu den bekanntesten Spinnenarten (Foto: Roland Günter).

weitere 400 bis 600 Blattläuse. So genügen bereits fünf bis zehn Käfer, um den Blattlausbefall an Weizen unter Kontrolle zu halten (Abbildung 10).

Unter der Vielzahl von blattlausfressenden Arten spielen die Florfliegen und die Marienkäfer eine besonders wichtige Rolle. Demgegenüber sind Schlupfwespen meist auf bestimmte Arten von Blattläusen, Minierfliegen und Schmetterlingsraupen spezialisiert. Sie parasitieren ihre Beute und halten auf diese Weise Pflanzenfresser und -sauger in Zaum. Hinzu kommen am Boden aktive Gliederfüßer wie die Laufkäfer, die bevorzugt in der Nacht jagen. Dabei vertilgen sie Schneckeneier, Kartoffelkäferlarven, Drahtwürmer, Läuse und Milben.

Direkt der menschlichen Gesundheit zugute kommt die Regulation von Parasiten. So birgt etwa der Biss von Zecken das Risiko von Infektionen mit Borreliose und Frühsommer-Meningoenzephalitis. Die Dichte dieser kleinen Spinnentiere wird durch Fressfeinde wie Waldameisen signifikant beeinflusst. Bei einer Nestgröße von einem halben Kubikmeter senken etwa die Roten Waldameisen (*Formica polyctena*) die Anzahl der Zecken um rund zwei Drittel (Zingg et al. 2018). Dieses Beispiel zeigt, dass funktionierende Nahrungskreisläufe die Gesundheitsrisiken für den Menschen deutlich senken können.

3.3.3 Abbau von Falllaub und Pflanzenresten am Boden sowie Humusbildung

Wirbellose Destruenten nutzen tote Biomasse als Nahrung, beispielsweise Kot, Tierleichen oder abgefallenes Laub. Sie teilen sich die Arbeit mit vielen Bakterien und Pilzen. Was der erste Destruent ausscheidet, dient dem nächsten als Nahrungsquelle, bis letztendlich die gesamte Biomasse mineralisiert ist, das heißt in der Hauptsache umgewandelt zu Wasser, Kohlenstoffdioxid und Mineralsalzen.

Der Abbau von Falllaub und Pflanzenresten am Boden wird durch eine Reihe von Wirbellosen unterschiedlicher Gruppen bewerkstelligt. In den ersten Phasen sind vor allem Springschwänze, Mücken- und Fliegenlarven, Asseln und

Abbildung 3-12

Die Hauptnahrung von Marienkäfern (*Coccinella septempunctata*) sind Blattläuse (Foto: Herwig Winter).



Schnecken beteiligt, in späteren Phasen die Ringelwürmer. Springschwänze gelten dabei als die individuenreichsten Insektenvertreter. In einem Quadratmeter Waldboden der gemäßigten Breiten leben in den obersten 30 Zentimetern zwischen 10.000 bis über 100.000 Individuen. Nach den Milben, die zu den Spinnentieren gehören, sind sie damit die individuenreichste Tiergruppe im Boden. Durch den Abbau ihrer Nahrung sind sie wesentlich an der Bildung von Humus beteiligt. Sie beseitigen dabei organische Rückstände und fördern so die Bodenfruchtbarkeit und damit das Wachstum von Pflanzen.

Jede Wirbellosengruppe leistet ihren spezifischen Beitrag zum raschen Abbau. Beispielsweise besitzen die Asseln kräftige Mundwerkzeuge, mit denen sie wenig zersetztes Pflanzenmaterial zerkleinern. Ihren eigenen Kot fressen sie mehrmals, um die Nährstoffausnutzung zu verbessern. Außerdem dient ihr Kot auch wieder Bakterien und Pilzen als Nahrungsgrundlage. Asseln verbessern durch ihre grabende Tätigkeit die Durchlüftung des Kompostes. In einem gut mit Asseln besetzten Kompost verläuft die Rotte dadurch schneller.

Eine Schlüsselrolle bei der Humusbildung im Boden spielen die Ringelwürmer (Stamm Annelida), die gut an ihrer deutlichen Segmentierung zu erkennen sind. Zu ihnen gehören alle heimischen Regenwürmer (Familie Lumbricidae) mit dem häufigen und weitverbreiteten Tauwurm (*Lumbricus terrestris*). Auch wenn sich diese Tiere hinsichtlich ihrer Sympathiewerte bei SuS eher geringer Beliebtheit erfreuen, so verdienen diese Bodenbewohner für ihre Leistung größte Wertschätzung. Mit ihren Wohnröhren sorgen sie für die Drainage und die Belüftung der Böden und schaffen Wurzelbahnen für Pflanzen. Mit ihrer Tätigkeit findet die sogenannte Bioturbation statt, das Recycling organischer Abfälle und sogar das Abtöten von Keimen.

Drei Lebensformen können unterschieden werden:

- Tiefgräber wie der Tauwurm sind groß und kräftig und können bis in eine Tiefe von zwei Metern fast senkrechte Wohnröhren anlegen.
- Streuformen sind klein und agil und leben nahe der Bodenoberfläche im organischen Material des Oberbodens. Zu ihnen gehört der Kompostwurm (Gattung *Eisenia*).
- Mineralbodenformen sind träge und über den gesamten Körper durchscheinend bleich gefärbt, da sie kaum an die Oberfläche kommen.

Im Verhältnis zu ihrer Größe zählen Regenwürmer zu den stärksten Tieren der Erde, vermögen sie doch das 50- bis 60-Fache ihres eigenen Körpergewichtes zu stemmen (VETTER 1996). Anstelle von Gliedmaßen nutzen sie hierzu ihren unter Druck stehenden Haut-Muskel-Schlauch, mit dem sie Wohnröhren bis in tiefe Bodenschichten bohren können. Vom zugespitzten und besonders muskulösen Vorderende laufen dabei Kontraktionswellen von vorne nach hinten (peristaltisches Kriechen).

3.3.4 Abbau von Tierleichen

Ein anrühiges, für SuS aus diesem Grund interessantes Thema ist der Abbau von Tierleichen. Schneller als tote Pflanzen werden frische Kuhfladen besiedelt (vergleiche Modul AG 6 – Ökosystem Kuhfladen in der Handreichung «Ökosysteme entdecken») und Tierleichen durch Fliegenmaden aufgefressen. Aasgeruch lockt ungeheure Mengen an Schmeißfliegen, Buckelfliegen und Fleischfliegen an. Die Größe der Tierleiche sowie das Vorhandensein von Wunden spielt eine große Rolle bei der Geschwindigkeit der Zersetzung. Aus diesem Grund wird dieser Prozess in der Forensik (einem Teilgebiet der Krimina-



Abbildung 3-13
Fleischfliege (*Sarcophaga spec.*;
Foto: Seaq68/Pixabay)

listik) zur Bestimmung des Todeszeitpunktes bei Menschenleichen genutzt. Bei Luftzutritt werden Leichen bevorzugt von Echten Fliegen und Schmeißfliegen besiedelt, unter der Erde dominieren die Buckelfliegen. Berühmt sind Buckelfliegen der Gattung Conicera, die bis in Särge in zwei Metern Tiefe vordringen können.

3.3.5 Insektenrückgang

Im Jahr 2017 ging die «Krefelder Studie» um die Welt: Als erste Studie erzeugte sie große mediale Aufmerksamkeit für den Insektenschwund. So konnten Forscher nachweisen, dass 75 % der Fluginsektenbiomasse innerhalb von knapp 30 Jahren in Schutzgebieten Nordwestdeutschlands zurückgegangen ist (HALLMANN et al. 2017). Die vorliegenden Daten aus verschiedenen weiteren Studien sprechen eine klare Sprache: Wir haben es mit einem massiven Rückgang der Insekten zu tun. Sei es der Verlust der Artenzahlen, der Häufigkeiten oder der Biomasse – hier stehen alle Zeiger auf Rot. Die Dramatik ist nicht nur regionaler Natur, sondern ein flächendeckendes Problem.

Stark rückläufig ist ebenso die Artenvielfalt: So stehen beispielsweise mehr als die Hälfte der 561 Wildbienenarten in Deutschland auf der Roten Liste und sind in ihrem Bestand bedroht. In den Isarauen bei Dingolfing sind Dreiviertel der Wildbienenarten im Verlauf

nur eines Jahrzehnts verschwunden (SPARMANN 2020). Die Weltnaturschutzunion (IUCN 2022) schlug Alarm für die Schwebfliegen, die als Bestäuber und bei der Schädlingskontrolle eine wichtige Rolle spielen. Zwei Drittel der Schwebfliegenarten in Europa sind nach deren Angaben vom Aussterben bedroht (IUCN 2022).

Für Bayern konnte SEIBOLD et al. (2019) in einer Studie im Wald und Grünland einen starken Insektenrückgang nachweisen. So sind in zehn Jahren die Waldinsektenbiomasse um über 60 % und die Grünlandinsektenbiomasse um über 40 % zurückgegangen. Als einer der Haupttreiber dieser Entwicklung wurde die intensive Landwirtschaft identifiziert. Neben der Beseitigung von Hecken, Feldrainen und blütenreichen Randflächen gelten der Einsatz von Dünger und Pestiziden in großflächig intensiv genutzten Monokulturen als wesentliche Faktoren.

3.3.6 Nicht nur Insekten gehen zurück – auch im Boden tut sich etwas

Fast unsichtbar ist die Veränderung der Artenvielfalt im Boden. Ein gesunder Boden enthält zwischen einer Million bis drei Millionen Regenwürmer pro Hektar. Alarmierend waren die Ergebnisse einer ersten großen Regenwurmstudie aus allen Teilen der Welt (BLAKEMORE 2018). Intensiv landwirtschaftlich genutzte

**Abbildung 3-14**

Der bis über 30 cm lange Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) gräbt bis zu drei Meter tiefe Gänge und zieht seine Nahrung aus noch nicht stark verwesenen Pflanzenteilen in seine Wohnröhren, um diese dort zu verdauen (Foto: Johannes Bauchhenß).

**Abbildung 3-15**

Regenwürmer lockern und belüften den Boden durch ihre Grabtätigkeit und fördern dadurch die Durchwurzelung (Foto: Otto Ehrmann).

Flächen wiesen dabei einen dramatischen Rückgang der Regenwurmpopulationen von 83 % auf, gleichzeitig hatte sich der organische Gehalt der Böden um die Hälfte reduziert. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kam eine britische Regenwurmzählung mit dem Citizen Science-Projekt «#6ominworm» des Agrarforschungsinstituts Rothamsted Research Centre (STROUD 2019). Viele Böden wiesen zu wenig Wurmart auf, vor allem die Tiefgräber gab es kaum noch. Tiefgräber sorgen für Durchlüftung und sind wichtig für den Wasserhaushalt. Dank ihrer Tunnel kann Wasser abfließen. Zudem steht der Rückgang der Würmer in Zusammenhang mit dem drastischen Rückgang der Singdrossel.

Nicht viel besser ist die Lage in Deutschland. Mehr als die Hälfte der 46 Regenwurmart wird laut WWF-Analyse als «sehr selten» oder sogar «extrem selten» eingestuft (WWF 2016), wodurch das Risiko der Gefährdung steigt. Auf Mais-Monokulturen hin ausgerichtete Fruchtfolgen hungerten die Regenwürmer förmlich aus, Gülle-Ammoniak verätzte sie, zu viel Bodenbearbeitung schädigte sie und Glyphosat verminderte ihre Fortpflanzung. In den meisten Äckern lebten durchschnittlich nur mehr drei bis vier, maximal zehn verschiedene Arten. In der Landwirtschaft sei auch die absolute Bestandszahl gering: Vor allem mit eintöniger Fruchtfolge und starkem Maschinen- und Chemieeinsatz würde ihre Zahl auf unter 30 Tiere pro Quadratmeter sinken. Der Durchschnitt in kleinstrukturierten Äckern liegt bei rund 120 Exemplaren, auf wenig gepflügten Äckern im Ökolandbau können über 450 Würmer gezählt werden. Die Folgen der Regenwurm-Armut für die Landwirtschaft sind verdichtete, schlecht durchlüftete Böden, die zu wenig Wasser aufnehmen können. Hinzu kommen eine zu langsame Nährstoffrückgewinnung und Humusbildung.

4. Hinweise

zur Umsetzung im Unterricht

Exkursionen und Unterrichtsgänge ermöglichen einen ganzheitlichen Zugang zur Natur und ihren Lebewesen. Die Beobachtung von Lebewesen in ihrer natürlichen Umgebung erweitert die im Klassenzimmer erworbenen Kompetenzen in vielfältiger Weise. Der Unterricht ermöglicht dabei auch einen emotionalen Zugang zur heimischen Flora und Fauna. In den entwickelten Unterrichtsmodulen steht daher das ganzheitliche Erfassen von Natur im Mittelpunkt, um die vom LehrplanPLUS geforderten Kompetenzen mit ihren entsprechenden Fachinhalten bei den Lernenden nachhaltig zu entwickeln und dauerhaft zu sichern.

Bildung für Nachhaltige Entwicklung verknüpft dabei die Kompetenzbereiche der Bildungsstandards mit multisensorischen Lernerfahrungen (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Fühlen), um durch unmittelbare Naturerlebnisse konkrete Handlungskompetenzen aufzubauen, die einen verantwortungsbewussten Umgang mit Natur und Umwelt sowie mit den ökologischen, ökonomischen und sozialen Ressourcen der Erde zum Ziel haben. Dies ist wichtig, um Lebensgrundlagen und Gestaltungsmöglichkeiten der jetzigen und der zukünftigen Generationen zu sichern. Dieser Lehr- und Lernauftrag wird auch im Fachprofil Biologie des LehrplanPLUS beschrieben:

«Das Fach Biologie trägt in besonderem Maße zur Umweltbildung und Bildung für Nachhaltige Entwicklung im Sinne eines ressourcenschonenden, nachhaltigen Handelns bei. [...] Die Schülerinnen und Schüler werden sich dadurch der Bedeutung einer intakten Umwelt für ihr persönliches Wohlbefinden und für die Erhaltung ihrer Gesundheit bewusst und wissen zugleich, dass sie Umweltschäden selbst verursachen und zu deren Verhinderung beitragen können. Sie erkennen, dass der Mensch die Ressourcen von Ökosystemen nutzt und reflektieren durch Abwägung von Kosten und Nutzen die menschlichen Eingriffe in die Natur. Die Beschäftigung mit Lebewesen und Lebensvorgängen mit deren Komplexität und mit der wechselseitigen Abhängigkeit zwischen Mensch und Umwelt ermöglicht den Aufbau einer verantwortungsvollen Haltung zur Natur und Mitwelt.»

Die Behandlung wirbelloser Tiere nimmt einen breiten Raum in der Jahrgangsstufe 9 ein. Gliederfüßer und Vertreter anderer Tierstämme lassen sich gut im Freiland beobachten, um ihre Angepasstheiten an die jeweiligen Lebensbedingungen zu untersuchen. Unterrichtsgänge ins unmittelbare Schulumfeld bereichern den Unterrichtsalltag zu diesen Lehrplanthemen.

4.1 Biodiversität bei Wirbellosen

Wirbellose Tiere sind die größte Gruppe an Lebewesen auf der Erde. Sie bilden sowohl aufgrund ihrer hohen Individuenzahl (genetische Vielfalt) als auch der immensen Artenvielfalt das Rückgrat der Biodiversität auf unserer Erde. Obwohl viele Wirbellose eher unscheinbar sind, kommt ihnen eine Schlüsselrolle für das Funktionieren der Ökosysteme zu. Ein zentrales Anliegen der in dieser Handreichung entwickelten Unterrichtsmodule ist es daher, den Lernenden die große Bedeutung dieser kleinen Tiere vor Augen zu führen.

Gerade vor dem Hintergrund des vielfach diskutierten «Insektensterbens» steht der Biologie-Unterricht in der Verantwortung, bei den Lernenden ein Bewusstsein dafür zu entwickeln, dass

- die biologische Vielfalt innerhalb dieser Tiergruppe besonders groß ist,
- menschliche Eingriffe die biologische Vielfalt bedrohen und
- Maßnahmen zum Erhalt der Biodiversität nötig sind.

Obwohl vielen Wirbellosen der «Kuschelfaktor» mancher Wirbeltiere fehlt, geht von ihnen doch eine besondere Faszination aus. Dies lässt sich unterrichtlich nutzen, um bei den Lernenden einen emotionalen Zugang über das Bewundern und Bestaunen der Biodiversität zu fördern.

Ein in diesem Lernbereich immer wiederkehrende naturwissenschaftliche Arbeitsweise ist das kriterienstete Vergleichen der An-

gepasstheiten Wirbelloser mit jenen der bereits bekannten Wirbeltiere. Dadurch erschließt sich den Lernenden im Sinne des explorativen, vernetzten Lernens nach und nach die enorme Formenvielfalt der wirbellosen Tiere im Hinblick auf Besonderheiten in den Bereichen

- aktive Bewegung,
- Stoffwechsel,
- Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung sowie
- Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion.

Für die im Lernbereich B 9.1 «Erkenntnisse gewinnen – kommunizieren – bewerten» verbindlich vorgeschriebene Durchführung naturwissenschaftlicher Untersuchungen eignet sich das kriterienstete Vergleichen von Merkmalen zur Bestimmung und Systematisierung wirbelloser Tierarten besonders gut.

Viele dieser Tiere sind weit verbreitet und deshalb ohne großen Aufwand zu entdecken. Ein besonders motivierendes Element ist daher die aktive Beschaffung der Tiere durch die Lernenden selbst. Das Ziel dieser Handreichung ist es, die Lernenden durch Hinweise auf Fangmethoden und angemessene Bestimmungsliteratur zu befähigen, mit eigenen Forschungsprojekten die Vielfalt der wirbellosen Tiere vor der Haustür aktiv zu erkunden und so die Faszination dieser Tiergruppe hautnah zu erleben.

4.2 Ökosystem Boden

Nach dem Grünland (Jahrgangsstufe 5), den Gewässern (Jahrgangsstufe 6) und Ökosystemen unter dem Einfluss des Menschen (Jahrgangsstufe 8) steht in Jahrgangsstufe 9 das «Ökosystem Boden» im Zentrum. Die im entsprechenden Lernbereich (B 09.5) angeführten Kompetenzerwartungen und -inhalte bilden die Grundlage für die Unterrichtsmodule in dieser Handreichung. Da es sich bei den Bewohnern dieses Lebensraums in aller Regel um wirbellose Tiere handelt, sind die Bezüge zum vorangegangenen Lernbereich «Biodiversität bei Wirbeltieren» (B 09.4) groß.

Die Lernenden untersuchen sowohl die Bodenfauna als auch die abiotischen Bodeneigenschaften und set-

zen diese zueinander in Beziehung. Damit lassen sich Stoff- und Energieflüsse innerhalb des Nahrungsnetzes als Prozesse der Mineralisierung und Humusbildung beschreiben. Ein einfacher Kohlenstoffatomkreislauf stellt die Wechselwirkungen zwischen den Organismen und ihrer unbelebten Umwelt dar. Mithilfe dieser Erkenntnisse leiten die Lernenden die Bedeutung des Bodens für die Nahrungsmittelproduktion ab, erkennen Gefahren für den Lebensraum mit seinen Bewohnern und schätzen die Folgen menschlicher Eingriffe in dieses Ökosystem ab. Im Zentrum des unterrichtlichen Geschehens steht dabei die konkrete Untersuchung der Bodeneigenschaften und der Bodenlebewesen durch die Lernenden.

4.3 Planung von Unterrichtseinheiten

Wie in allen vorangegangenen Jahrgangsstufen ist auch in der Jahrgangsstufe 9 die Beobachtung von Lebewesen und ihren Lebenserscheinungen in ihrem natürlichen Lebensraum in Lernbereich B 09.1 verbindlich vorgeschrieben. Viele der in den Lernbereichen B 09.4 «Biodiversität bei Wirbellosen» und B 09.5 «Ökosystem Boden» geforderten Kompetenzen lassen sich durch direkte Naturbeobachtung – auch im Klassenzimmer – erwerben. Viele kleine Unterrichtsgänge in die unmittelbare Schulumgebung im Rahmen einer Doppelstunde erweisen sich dabei nicht nur als organisatorisch einfacher, sondern durch die häufige Wiederholung oft auch als didaktisch wirkungsvoller als eine einzige große Exkursion (am turbulenten Ende eines ereignisreichen Schuljahres). Wirbellose Tiere lassen

sich in allen Ökosystemen (auch im Schulgebäude selbst) entdecken und meistens gut beobachten.

Im konkreten Unterrichtsgeschehen könnten induktive und deduktive Verfahren abwechseln. So wäre es denkbar, bei einem Unterrichtsgang die Lernenden in einem freien Arbeitsauftrag Insekten fangen zu lassen. Durch kriterienstetes Vergleichen der Exemplare entdecken sie danach die Abwandlung des Grundbauplans der Beine als Angepasstheit an die jeweilige Lebensweise des Tieres. Umgekehrt lässt sich auch die Vorhersage einer allgemeinen Theorie im Freiland überprüfen. Ein Beispiel wäre die Untersuchung der Färbung von Bänderschnecken in verschiedenen Lebensräumen als Folge der natürlichen Selektion.

Untersuchungen aus der empirischen Bildungsforschung zeigen, dass der Lernerfolg mit der Aktivität der Lernenden beim Kompetenzerwerb steigt (CHI & WYLIE 2014). Die Lernenden sollten deshalb möglichst aktiv in das Unterrichtsgeschehen eingebunden werden. Praktische Arbeiten im Rahmen freilandbiologischer Untersuchungen eignen sich deshalb besonders gut für den Kompetenzerwerb. Gleichzeitig haben außerschulische Lernorte ein höheres Ablenkungspotenzial, was im Sinne der «Cognitive Load»-Theorie das fachinhaltliche Lernen erschweren kann (SWELLER & CHANDLER 1991). Um die kognitiven Lernziele eines Unterrichtsgangs tatsächlich zu erreichen, ist somit eine präzise didaktische Planung erforderlich.

Empfehlenswert ist es, mit den Lernenden die zu untersuchenden Fragestellungen und die dafür notwendigen Methoden vorab in einem geschlossenen Lernsetting konkret zu besprechen und wenn nötig, auch schriftlich zu fixieren. Im Freiland sollten die Lernenden dann konkrete Arbeitsaufträge umsetzen und

ihre Beobachtungen dokumentieren (eventuell auf vorstrukturierten Bögen). Die Aufbereitung und Auswertung der Daten erfolgen dann wieder im ablenkungsarmen Klassenzimmer. Um dies zu erreichen, braucht es ein hohes Maß an Verbindlichkeit, das von der Lehrkraft draußen (immer wieder) eingefordert werden muss. Bei einem Unterrichtsgang sollten sich aus didaktischer Sicht solche engagierten Phasen mit hoher extrinsischer Motivation abwechseln mit freieren Phasen der sinnstiftenden Naturbegegnung, um so ein zusätzliches Erlebnis zu ermöglichen, das den Lernenden von der Natur «geschenkt» wird, ohne dass es durch konkrete Aufgaben erzwungen werden kann.

Für die Lehrkraft ist dieser Spagat aus Verbindlichkeit und Freiheit eine anspruchsvolle Planungsaufgabe. Externe Partner können bei der Umsetzung behilflich sein. Kontaktadressen von Umweltbildungsstätten, Umweltverbänden, staatlich anerkannten Umweltstationen, Gebietsbetreuern, Landschaftspflegeverbänden oder den unteren Naturschutzbehörden finden sich im Internet.

4.4 LehrplanPLUS

Die Tabelle auf den nachfolgenden Seiten zeigt, welche Module für die Vermittlung der verschiedenen, auf-

geführten Kompetenzen und Inhalte des Lehrplanabschnittes geeignet sind.

DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ...		BODEN ENTDECKEN													WIRBELLOSE ENTDECKEN												
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
... untersuchen Boden, protokollieren die Ergebnisse gegebenenfalls mithilfe digitaler Medien und erkunden so das Biotop und die Biozönose des Bodens. INHALTE • Bodeneigenschaften: Zum Beispiel Wasserkapazität, Korngröße, Horizontbildung		x	x					x	x																		
... stellen den Stoff- und Energiefluss innerhalb der Biozönose des Bodens dar und beschreiben die Humusbildung und Mineralisierung als zeitliche Veränderung. INHALTE • Nahrungsbeziehungen im Boden: Nahrungsnetz, Energiefluss; biologische Vielfalt • Humusbildung und Mineralisierung: Bedeutung von Lebewesen (unter anderem Regenwurm, Stoffwechselvielfalt bei Bakterien)				x		x	x	x																x			
... stellen einen einfachen Kohlenstoffatomkreislauf als Wechselwirkung zwischen Organismen und zwischen Organismen und unbelebter Materie dar. INHALTE • Einfacher Kohlenstoffatomkreislauf: Atmosphärisches Kohlenstoffdioxid, Produzenten, Konsumenten (auch Destruenten)				x							x																
... beurteilen die Bedeutung des Bodens für eine nachhaltige Produktion von Lebensmitteln, charakterisieren Gefahren für dieses Ökosystem durch die komplexe Verkettung menschlicher Einflüsse und sind sich dabei der Folgen für die Menschen bewusst. INHALTE • Nutzen des Ökosystems für den Menschen (zum Beispiel Anbau- und Weidefläche, Trinkwasser), Einflüsse des Menschen auf das Ökosystem (zum Beispiel Düngung, Schadstoffeintrag, Verdichtung, Versiegelung, Erosion, Möglichkeiten einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung)										x		x	x	x													

66

DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ...		BODEN ENTDECKEN													WIRBELLOSE ENTDECKEN														
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13		
5.2 Stoffwechsel: Stoff- und Energieumwandlung ... vergleichen die Anpasstheiten der Mundwerkzeuge bei Insekten an verschiedene Nahrungsquellen und schätzen die Auswirkungen dieser Nutzung unterschiedlicher Nahrungsquellen auf den Menschen ab. INHALTE Nutzung unterschiedlicher Nahrungsquellen: Anpasstheiten der Mundwerkzeuge, positive und negative Folgen für den Menschen (zum Beispiel Bestäubung von Pflanzen, Destruenten; Übertragung von Krankheiten, Nahrungskonkurrenz)																													
5.3 Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung ... vergleichen Vertreter der Insekten untereinander, mit Vertretern der Wirbeltiere und gegebenenfalls mit Vertretern weiterer Gruppen der Wirbellosen hinsichtlich ihrer Fortpflanzung. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit. INHALTE Zweigeschlechtliche und eingeschlechtliche Fortpflanzung (zum Beispiel Parthenogenese); gegebenenfalls Zwitterigkeit (zum Beispiel bei Ringelwürmern), ungeschlechtliche Fortpflanzung (zum Beispiel Knospung)																													
5.3 Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung ... vergleichen Vertreter der Insekten untereinander und mit Vertretern der Wirbeltiere hinsichtlich ihrer Individualentwicklung. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit. INHALTE Häutung, Metamorphoseformen (allmähliche und vollkommene Verwandlung), hormonelle Steuerung																													

DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ...													BODEN ENTDECKEN													WIRBELLOSE ENTDECKEN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
5.4 Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion ... vergleichen das Nervensystem von Insekten mit dem von Wirbeltieren und gegebenenfalls dem Nervensystem von Vertretern einer weiteren Gruppe der Wirbellosen. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit. INHALTE Zentralisation des Nervensystems, Strickleiternnervensystem																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ...		BODEN ENTDECKEN													WIRBELLOSE ENTDECKEN												
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
... beschreiben die Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen, das mithilfe von naturwissenschaftlichen Befunden belegt werden kann. INHALTE • Belege des evolutionären Wandels: Fossile Abstammungsreihe, Brückentiere																x											
... erklären die Entstehung einer heute lebenden Art als evolutionären Prozess, indem sie deren stammesgeschichtliche Entwicklung auf die Wirkung der Evolutionsfaktoren zurückführen. INHALTE • Erweiterte Evolutionstheorie als die naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten																											
... erklären Angepasstheiten an die jeweiligen biotischen und abiotischen Umweltfaktoren als Selektionsvorteil. INHALTE • Evolution als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren genetische Variabilität, natürliche Selektion und Isolation (geografische Isolation); Entstehung der biologischen Vielfalt															x				x				x				
... erklären die Bedeutung der geografischen Isolation für die Entstehung der biologischen Vielfalt. INHALTE • Evolution als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren genetische Variabilität, natürliche Selektion und Isolation (geografische Isolation); Entstehung der biologischen Vielfalt																			x				x				

DIE SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ...	BODEN ENTDECKEN													WIRBELLOSE ENTDECKEN												
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13
... führen einfache, selbstgeplante oder komplexe, angeleitete, naturwissenschaftliche Untersuchungen durch. Dabei nehmen sie die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten bei bekannten Sachverhalten selbstständig und bei unbekannten mit Hilfestellung (gegebenenfalls auch mit digitalen Hilfsmitteln) vor.	x	x			x		x											x	x					x		x
INHALTE • Arbeitstechniken: Unter anderem sachgerechter Umgang mit Geräten (zum Beispiel Mikroskop, Binokular, einfache Laborgeräte, digitale Messwerterfassung), Anwendung von Sicherheitsregeln																										
... beobachten Lebewesen und ihre Lebenserscheinungen, auch in der natürlichen Umgebung, anhand von vorgegebenen und eigenen Kriterien. Sie dokumentieren überwiegend selbstständig ihre Beobachtungen, werten sie aus und veranschaulichen sie.					x			x						x				x	x				x			x
... verwenden ein Lichtmikroskop oder Binokular, um Präparate zu betrachten, und erstellen selbstständig beschriftete Zeichnungen der betrachteten biologischen Strukturen.														x			x									
... vergleichen Lebewesen und deren Merkmale kriteriengeleitet, um Rückschlüsse auf die Ursachen von Ähnlichkeiten zu ziehen.																	x		x							
... systematisieren unter anderem Insekten mithilfe ausgewählter Bestimmungshilfen (zum Beispiel Bestimmungsbuch, digitales Nachschlagewerk) und sind sich dadurch der Artenvielfalt der Wirbellosen bewusst.														x					x	x			x			x
... interpretieren erhobene oder recherchierte Daten und schätzen deren Gültigkeit ein. Sie benennen mögliche Fehlerquellen und leiten Maßnahmen zur Fehlervermeidung ab.								x										x		x						x
... bewerten selbstständig biologische Sachverhalte und Folgen menschlichen Handelns, indem sie Pro- und Kontra-Argumente formulieren und diese abwägen, um Handlungsoptionen zu entwickeln. Dabei berücksichtigen sie auch die Notwendigkeit des Einbezugs vielfältiger Gesichtspunkte bei der Urteilsfindung.																		x								

LEHRBEREICH 1

5. Themen und Unterrichtsmodule

5.1 Schnelle Übersicht über die einzelnen Module

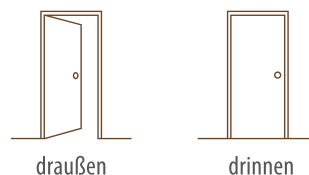
Die Unterrichtsmodule sollen von der Lehrkraft individuell ausgesucht werden. Um das richtige Modul für den eigenen Unterricht schnell zu finden,

beginnt jede Beschreibung eines Moduls mit einer Symbolleiste. Diese enthält wichtige Informationen, wie nachfolgend beispielhaft erläutert wird:

Das Modul kann von Mai bis September durchgeführt werden.

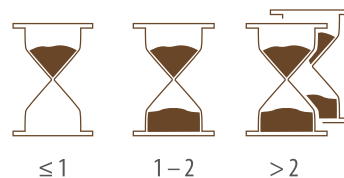


Ort



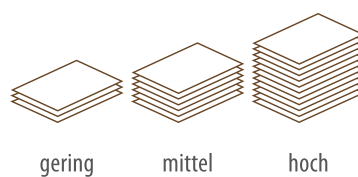
Ein Teil der Arbeiten findet im Freien, ein Teil im Klassenzimmer/ zu Hause bei den SuS statt.

Dauer Unterrichtsstunden (Us)



Der Vorbereitungsaufwand wird von jedem sehr subjektiv empfunden. Die Grafik stellt zumindest einen groben Anhaltspunkt dar, wie zeitintensiv die Vorbereitung zu einem Modul ist.

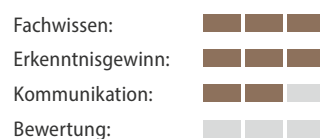
Vorbereitungsaufwand



SuS erarbeiten sich weitgehend selbstständig wesentliche Inhalte und Zusammenhänge (zum Beispiel Arteninventar)

Beobachtungen und Erkenntnisse werden in einer selbst gewählten Form dokumentiert.

Kompetenzen und Anforderungsniveau



Der Kompetenzbereich Bewertung spielt bei diesem Modul eine untergeordnete Rolle.

SuS bekommen Anregungen und Hilfestellung zu den relevanten naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und führen diese dann selbstständig durch. Ausgehend von den Beobachtungen sollen eigene Fragestellungen und Antwortversuche formuliert werden.

5.1.1 Tabellarische Übersicht

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
BODEN ENTDECKEN					
B1 Stationenlernen Experimente zu Bodenfunktionen	STATION 1 Filterfunktion und Wasserreinigung Modellversuch zur Adsorption von Stoffen eines Bodentyps	unabhängig		≥ 2	F II
					E II
					K II
					B 0
	VERSUCH 1 Modellversuch zur Adsorption von Stoffen eines Bodentyps				
	MICROSCALE-VARIANTE 1 Vergleich der Adsorptions- fähigkeiten verschiedener Bodenarten in der Einmalspritze				
	STATION 2 Wasserspeicherfunktion				
	MICROSCALE-VARIANTE 2 Wasserspeicherfunktion				
	STATION 3 Schlämmprobe Woraus besteht der Boden eigentlich?				
	MICROSCALE-VARIANTE 3 Schlämmprobe				
B2 Aufbau von Böden	STATION 4 Wasserversickerung	Apr–Nov		1–2	F II
	ANLAGE B 1.1 Hintergrundwissen				E II
	ARBEITSBLATT B 2.1 Bodenprofil				K II
	ANLAGE B 2.2 Fingerprobe				B 0
B3 Was haben Totengräber- Käfer mit meinen Tomaten zu tun? Ein «Mystery»	ARBEITSBLATT B 2.3 Spatenprobe	unabhängig		≤ 1	F II
	ANLAGE B 3.1 Was haben Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun? Ein «Mystery»				E I
	LÖSUNGSVORSCHLAG B 3.2 Was haben Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun? Ein «Mystery»				K II
					B 0

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
B4 Schau mal, was da krabbelt!	LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.1 Schau mal, was da krabbelt! Biologische Vielfalt vergleichen	Apr–Jun		≥ 2	F I
					E III
					K II
					B 0
	ARBEITSBLATT B 4.1 Schau mal, was da krabbelt! Biologische Vielfalt vergleichen				
	LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.2 Schau mal, was da krabbelt! Bodenlebewesen finden				
	ARBEITSBLATT B 4.2 Schau mal, was da krabbelt! Bodenlebewesen finden				
B5 Bioturbation Plane eine Untersuchung!	LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.3 Schau mal, was da krabbelt! Bodenlebewesen bestimmen	Mär–Nov		1–2	F I
					E II
					K I
					B 0
	ARBEITSBLATT B 4.3 Schau mal, was da krabbelt! Bodenlebewesen bestimmen				
	ANLAGE B 4.4 Beobachtungsprotokoll				
	ANLAGE B 4.5 Bestimmungsschlüssel Bodentiere				
B6 Zersetzung von Materialien im Boden	ARBEITSBLATT B 5.1 Zusammenhang zwischen Ernteerträgen und dem Auftreten von Regenwürmern	Apr–Jun		≥ 2	F II
					E III
					K II
					B 0
	ARBEITSBLATT B 5.2 Hilfekarten				
	ARBEITSBLATT B 6.1 Wie abbaubar sind eigentlich Biomüll-Säcke?				
	ARBEITSBLATT B 6.2 Der Teebeutel-Index				
B7 Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen im Boden messen	LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1 Mögliche Schülerlösungen zu den Versuchen 1–4 Untersuchung von Grünland als Kohlenstoffdioxid-Senke	Mär–Jul		1–2	F II
					E III
					K II
					B 0
	ARBEITSBLATT B 7.2 Warum Moore die besseren Wälder sind				
	ANLAGE B 7.3 Hilfekarten				

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
B 8 Wurzelkino	ANLAGE B 8.1 Planskizzen zum Wurzelkino ANLAGE B 8.2 Ständer für die Rhizobox	unabhängig		1–2	F I E II K II B 0
B 9 Zahl des Tages zu Boden und Bodenverlust	ANLAGE B 9.1 Themenvorschläge zu 5-Minuten-Referaten	unabhängig		≤ 1	F II E I K III B 0
B 10 Bodendüngung Ein «Mystery»	ANLAGE B 10.1 Liedtexte ANLAGE B 10.1 Infokärtchen	unabhängig		1–2	F II E I K III B II
B 11 Klimarelevanz von Böden	LÖSUNGSVORSCHLAG B 11.1 Mit dem Boden das Klima retten? Geht das? ARBEITSBLATT B 11.2 Mit dem Boden das Klima retten? Geht das?	unabhängig		≤ 1	F II E III K II B II
B 12 Bodenbelastung durch Schadstoffe	ANLAGE B 12.1 Rollenanleitungen THEMA 1 Kunststoffe THEMA 2 Biozide THEMA 3 Schwermetalle THEMA 4 Radioaktivität	unabhängig		≤ 1	F II E I K II B II
B 13 Wir tun was für den Boden!	ARBEITSBLATT B 13.1 Zusammenhang zwischen Ernteerträgen und dem Auftreten von Regenwürmern	Apr–Dez		1–2	F I E II K II B II

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
WIRBELLOSE ENTDECKEN					
W1	Bestimmungsmethoden Wirbellose	ANLAGE W1.1 Wirbellose Tiere fangen	Apr–Okt	 ≥ 2	F II E III K I B 0
W1 a	Bestimmung von Regenwürmern	ANLAGE W1 a.1 Bestimmung von Regenwürmern	Apr–Nov	 1–2	F III E II K II B 0
W1 b	Bestimmung von Schnecken Schleimig aber sexy	ARBEITSBLATT W1 b.1 Schneckenjagd ARBEITSBLATT W1 b.2 Schneckenjagd ANLAGE W1 b.3 Gehäuseschnecken ANLAGE W1 b.4 Nacktschnecken	Apr–Okt	 ≥ 2	F II E III K I B 0
W1 c	Bestimmung von Heuschrecken	ARBEITSBLATT W1 c.1 Bestimmung von Heuschrecken ANLAGE W1 c.2 Laubheuschrecken und Grillen ANLAGE W1 c.3 Feldheuschrecken	Jun–Okt	 1–2	F II E II K II B 0
W1 d	Bestimmung von Tagfaltern	ANLAGE W1 d.1 Bestimmung von Tagfaltern	Apr–Okt	 1–2	F II E II K I B 0
W1 e	Bestimmung von Ameisen	ANLAGE W1 e.1 Bestimmung von häufigen Ameisen-Gattungen	Apr–Okt	 1–2	F II E II K I B 0
W1 f	Bestimmung von Insektenordnungen	ANLAGE W1 f.1 Insektenordnungen bestimmen LÖSUNGSVORSCHLAG W1 f.1 Insektenordnungen bestimmen	unabhängig	 1–2	F II E II K I B 0

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
W2 Expedition Biodiversität Stationenlernen zur Bio- diversität der Wirbellosen	ANLAGE W2.1 Station 1: Drei Ebenen der Biodiversität	unabhängig		1–2	F III
					E 0
					K II
					B I
	ANLAGE W2.2 Station 2: Artenvielfalt in Deutschland				
	LÖSUNGSVORSCHLAG W2.2 Station 2: Artenvielfalt in Deutschland				
	ANLAGE W2.3 Station 3: Artenvielfalt in Deutschland				
	LÖSUNGSVORSCHLAG W2.3 Station 3: Artenvielfalt in Deutschland				
	ANLAGE W2.4 Station 4: Was bringt mir die Biodiversität?				
	LÖSUNGSVORSCHLAG W2.4 Station 4: Was bringt mir die Biodiversität?				
	ANLAGE W2.5 Station 5: Alle Lebewesen haben einen Eigenwert				
W3 Tagfalter-Monitoring	ANLAGE W 3.1 Erfassungsbogen Tagfalter- Monitoring Deutschland	Apr–Sep		≥ 2	F II
					E III
					K I
					B 0
W4 Vergleich von Insektenbeinen	ARBEITSBLATT W 4.1 Variante 1: Freiland Evolution am Werk – Vergleich von Insektenbeinen	unabhängig		1–2	F I
					E I
					K II
					B II
	ARBEITSBLATT W 4.2 Variante 2: Klassenzimmer Evolution – ein Zwischenbericht: Vergleich von Insektenbeinen				
	ANLAGE W 4.3 Material Arbeiten mit einer Lupe für das Smartphone/Tablet				
W5 Wir tun was! Mikrohabitatinseln	ARBEITSBLATT W 5.1 Insekten brauchen eure Hilfe!	Apr–Sep		1–2	F II
					E II
					K III
					B II
	ARBEITSBLATT W 5.2 Mikrohabitatinsel				
	ARBEITSBLATT W 5.3 Informationsquellen				

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
W6 Insekten auf Blüten	ARBEITSBLATT W 6.1 Insektenzählung	Apr–Nov		1–2	F II
					E II
					K III
					B II
	ANLAGE W 6.2 Bestimmungstafel Tiere des Grünlands				
	ANLAGE W 6.3 Bestimmungstafel Häufige Insekten auf Doldenblütlern				
W7 Blütenstetigkeit von Insekten	ARBEITSBLATT W 7.1 Untersuchung zur Blütenstetigkeit von Insekten	Apr–Jul		1–2	F II
					E II
					K II
					B 0
	ANLAGE W 7.2 Beobachtungsprotokoll				
	ANLAGE W 7.3 Auswertungstabelle				
W8 Experimente mit Regenwürmern Lumbricidae als Hauptdarsteller	ARBEITSBLATT W 8.1 Lumbricidae als Hauptdarsteller	Apr–Okt		≥ 2	F II
					E III
					K III
					B 0
W9 Evolution live Bänderschnecken im Freiland	ARBEITSBLATT W 9.1 Evolution live Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke	Apr–Jul		≥ 2	F I
					E III
					K II
					B 0
	LÖSUNGSVORSCHLAG W 9.2 Evolution live Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke				
	ARBEITSBLATT W 9.3 Evolution live Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke				
	LÖSUNGSVORSCHLAG W 9.4 Evolution live Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke				
W10 Wer war's? Pflanzen als Opfer	ARBEITSBLATT W 10.1 Wer war's? Pflanzen als Opfer	Apr–Nov		1–2	F II
					E II
					K II
					B 0
	ANLAGE W 10.2 Wer war's? Hefteintrag				
	ANLAGE W 10.3 Wer war's? Farbtafel				

MODUL	ZUGEHÖRIGE ARBEITSMATERIALIEN	ZEITRAUM	ORT	DAUER	NIVEAU
W 11 Mineralisation Alleine oder in Kooperation?	ARBEITSBLATT W 11.1 Mineralisation	Apr–Nov		1–2	F II
	ANLAGE W 11.2 Hilfekarten				E II K I B 0
W 12 Ameisenstraßen ohne Stau	ANLAGE W 12.1 Waldameisen	Mai–Okt		≤ 1	F III
	ANLAGE W 12.2 Ameisen in Siedlungen				E III K III B 0
W 13 Materialgestützte Aufgaben zum Insektensterben	ARBEITSBLATT W 13.1 Menschen und Insekten Eine Schicksalsgemeinschaft	unabhängig		1–2	F II
	ANLAGE W 13.2 Material 1				E II
	ANLAGE W 13.3 Material 2				K III
	ANLAGE W 13.4 Material 3				B II
	ANLAGE W 13.5 Material 4				

Module B 1–B 13

BODEN ENTDECKEN

B 1 Stationenlernen

Experimente zu Bodenfunktionen

Grundlegende Informationen

Bei den Untersuchungen in diesem Modul sollen die chemisch-physikalischen Eigenschaften von Böden beziehungsweise der Bodenarten mit ihren spezifischen Korngrößen näher beleuchtet werden.

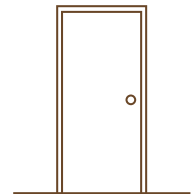
Böden sind die Grundlage unserer Ernährung. 90 % der Lebensmittel wachsen auf ihnen, aber auch für unser Trinkwasser sind gesunde Böden unabdinglich. Sie filtern, reinigen und speichern Wasser. Intakte und nicht verdichtete Böden reduzieren das Risiko für Hochwasser und halten das Wasser in der Landschaft. Giftstoffe und Schwermetalle können von Böden zeitweise gespeichert werden, wodurch das Grundwasser geschützt wird.

Die Bodenfunktionen sind abhängig von Bodenart, Bodentyp und Form der Nutzung. Physikalische, chemische und biologische Eigenschaften bestimmen in einem komplexen Zusammenhang die Qualität der Böden. Nur über das pflanzenverfügbare Bodenwasser können Pflanzen gelöste Mineralsalze aufnehmen und sie für ihr Wachstum nutzen. Deshalb ist der Wasserhaushalt des Bodens von großer Bedeutung für die Zusammensetzung des Vegetationsbestandes und somit auch für die Land- und Forstwirtschaft. Zu unterscheiden ist dabei der Wassergehalt (Anteil des Wassers unter bestimmten Bedingungen) und die Wasserkapazität (höchstmögliche Menge Wasser, die die vorliegende Bodenart fassen kann).

In dieser Unterrichtseinheit erkennen die SuS, welche Funktionen der Boden für uns übernimmt und wie sich verschiedene Bodenproben unterscheiden. An verschiedenen Stationen lernen die SuS, Aufgaben- und Fragestellungen selbstständig zu bearbeiten. Bei der Filterfunktion des Bodens kann auch die Messwerterfassung durch Einsatz einer Farberkennungsapp (Color Picker/Pixel Picker, zum Beispiel ColorGrap) unterstützt werden. Die jeweiligen Farben können dann als RGB-Werte ausgelesen werden. In diesem Modul bleiben die Aussagen auf der qualitativen Stufe. Eine quantitative Aussage, die über Eichkurven und Umrechnung der RGB-Werte in die Absorptionswerte gemacht werden könnte, ist in diesem Rahmen nicht zielführend.

Das Ökosystem Boden ist sehr komplex und nicht unmittelbar zugänglich, weshalb es auch als eines der am wenigsten erforschten gilt. Bei den hier beschriebenen Versuchen wird aufgrund der Vereinfachung die Bodenbiologie außer Acht gelassen. Da sie jedoch in der Natur maßgeblich für die Bodenfunktionen mitverantwortlich ist, sollte dies diskutiert werden.

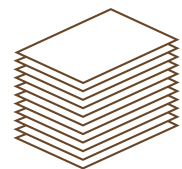
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

Ausführliche Materialbeschreibung im Fließtext

- **Unterschiedliche Bodenarten** für die Bodenproben
- **Farbstoffe** (zum Beispiel Wasserfarben,
- **Lineal oder Meterstab**
- **PET-Flaschen**
- **Flaschenhalterung**
- **Messer/Schere**
- **Nägel**
- **Filterpapier und passende Trichter**
- **Bechergläser (250 ml) mit Skala**

Abbildung B 1-1

Die verschiedenen Bodenproben lassen sich auch lange aufbewahren, da es in diesem Modul weniger um die Bodenbiologie, sondern um die chemisch-physikalischen Eigenschaften geht (Foto: Florian Bernhard).



Ausführliche Materialienliste

- Für die Bodenproben eignen sich:
 - › Verschiedene Böden im Schulhof und im eigenen Garten (als Modellboden kann auch Ton aus der Fachschaft Kunst mit Sand gestreckt werden)
 - › Blumenerde (ohne Torf)
 - › Acker- und Wiesenränder (in kleinen Mengen)
 - › Waldböden
 - › Sand- und Kiesflächen (Spielplätze, Sprunggrube, Wegränder, Fluss- und Seeufer)

Die unterschiedlichen Bodenproben werden luftgetrocknet und stehen so bereit, dass die SuS die benötigte Bodenmenge für ihre Versuche entnehmen können. Größere Brocken müssen mit dem Mörser kleingestampft werden, wobei allerdings die Korngrößen nicht verändert werden dürfen.

- Bei Farbstoffen können Suspensionen verwendet werden, wie zum Beispiel gelbe Wasserfarben und gelöste, kationische Farbstoffe, wie beispielsweise Methylenblau ($w < 0,1 \%$; nicht nach Löffler). Letztere sind am besten geeignet.
- Lineal oder Meterstab
- PET-Flasche für jede Gruppe (Versuch: Filterfunktion und Wasserreinigung)
- Halterung für Flasche oder Kanister (zum Beispiel ein Trichterring)
- Messer/Schere
- Nagel
- Filterpapier und passende Trichter
- Bechergläser (250 ml) mit Skala (zwei für jede Gruppe)
- Destilliertes Wasser



Abbildung B 1-2
Verschiedene Microscale-Aufbauten zur Wasserhaltefähigkeit beziehungsweise Filterfunktion von Böden; vorne links: Wasserfarbensuspension; sehr verdünnte Methylenblaulösung ($w < 0,1 \%$); Foto: Florian Bernhard)

Material Microscale-Variante

Die Versuche können auch mithilfe von Einwegspritzen in der «Microscale-Variante» durchgeführt werden. Hierfür ist weniger Material und Platz notwendig.

- Verschiedene Bodenproben getrocknet
- Glaswatte oder normale Watte
- Mörser
- Trichter zum Einfüllen (Pulvertrichter oder Spatellöffel)
- Einwegspritzen (10 ml) mit Verschluss (zum Beispiel Luer-Stopfen oder Knete)
- «Stativmaterial für die Spritzen» (Reagenzglasständer, Erlenmeyerkolben oder passende Reagenzgläser)
- Einwegspritze zum Befüllen der Bodenproben mit der Farbstofflösung destilliertes Wasser
- Tinte/Farbstoff, zusätzlich gelbe Wassermalfarbe

Überblick

Bei dem Stationenlernen führen die SuS in arbeitsgleicher Gruppenarbeit die verschiedenen Experimente nacheinander durch. Für jede Station gibt es ein Aufgabenblatt mit Hintergrundinformationen, Materialliste, Aufbau- und Durchführungserklärung.

Versuch Wasserfilter und Wasserreinigung

Bei dem Versuch wird der Boden modellartig nachgebaut, um die Reinigungsfunktion zu demonstrieren. In der «Microscale-Variante» werden die verschiedenen Bodenarten einzeln auf ihre Reinigungsfunktion untersucht.

Für die Reinigung unseres Trinkwassers ist der Boden die wichtigste Komponente. Die Filterfunktion kann in drei Klassen eingeteilt werden, die sich gegenseitig beeinflussen:

- Die physikalische Filterfunktion wirkt wie ein feines Sieb, wobei der Boden Schmutz- und Schadstoffpartikel des versickernden Niederschlagswassers abfängt. Besonders gut filternde Böden haben unterschiedliche Horizonte mit verschiedenen Korngrößen beziehungsweise Bodenarten. Diese können sogar Partikel kleiner als $0,2\ \mu\text{m}$ filtern.
- Die chemische Filterfunktion sorgt für eine Adsorption von gelösten Substanzen an Ton- oder Humusteilchen aufgrund deren Ladungseigenschaften.
- Die biologische Filterfunktion beruht auf der Aktivität der Bodenlebewesen, die durch Ab- und Umbauprozesse Schadstoffe und Krankheitserreger filtern.

Versuch Wasserspeicherkapazität

Die Wasserspeicherkapazität von Böden ist abhängig von der jeweiligen Korngröße. Sehr kleine Korngrößen, zum Beispiel bei der Bodenart Ton, bilden auch sehr enge Poren in den Zwischenräumen. Die hohe Bindungskraft zwischen den Körnern speichert dabei hohe Wassermengen. Dieses Wasser ist für die Pflanzenwurzeln jedoch kaum bis nicht erreichbar und wird als Totwasser bezeichnet. Im Gegensatz dazu können grobkörnige Sandböden kaum Wasser halten, da ihre Poren zu groß sind. Dieses durchsickernde Wasser steht den Pflanzenwurzeln ebenfalls nicht zur Verfügung. Mittlere Korngrößen wie bei Schluff haben eine gute Wasserspeicherkapazität und sind gleichzeitig für viele Pflanzen gut zu durchdringen. Schluffige Böden gelten deshalb als sehr gute Voraussetzung für den Ackerbau.

Versuch Schlämmanalyse

Die Schlämmanalyse gibt Auskunft über die jeweiligen Kornfraktionen der Bodenprobe. Das bedeutet, welche Korngrößen in welchem Umfang enthalten sind. Die Zusammensetzung verschiedener Korngrößen bestimmt auch die Bodenart. Die drei Hauptbodenarten sind Sand, Schluff und Ton, bei denen die Korngrößen jeweils in

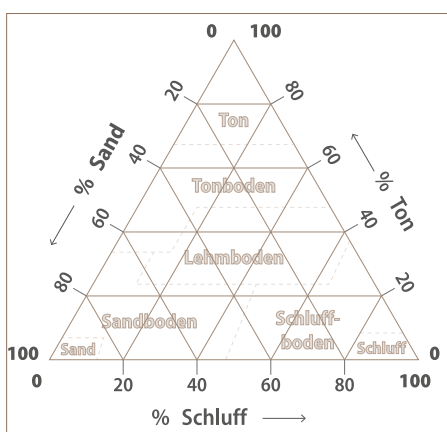


Abbildung B 1-3
Korngößendreieck (aus: Lernort Boden)

unterschiedlichen Mischungsverhältnissen vorkommen. Mithilfe des beiliegenden Korngrößendreiecks kann abgelesen werden, um welchen Boden es sich handelt, wodurch auch die Eigenschaften für eine mögliche Nutzung deutlich werden.

Für diesen Versuch könnten die SuS mit einer Handschaufel ins Freie gehen und sich eine Portion Boden im Schulhof selbst sammeln. Anschließend können die verschiedenen Proben verglichen werden.

Dieser Versuch eignet sich auch als Demonstrationsversuch zu Beginn der Unterrichtseinheit. Die Lehrkraft setzt den Versuch am Anfang der Schulstunde an und am Ende sind die Bodenbestandteile in den aufbauenden Schichten auf den Boden gesunken. Die abgesetzten Fraktionen können nach 5, 10 und 20 Minuten begutachtet werden. Die Schlämmprobe eignet sich auch gut als Hausaufgabe; dann kann die Bodenprobe auch nach 24 Stunden ausgewertet werden.

Versuch Wasserversickerung

Findet im Feld statt: Wenn möglich auf unterschiedlich verdichteten Ackerstandorten (Fahrspur und daneben) oder im Schulhof auf einem verdichteten Weg und einem Beet.

Die Fähigkeit des Bodens, Wasser aufzunehmen und wieder abzugeben, ist sowohl für die Bodenstabilität als auch für das Pflanzenwachstum sehr wichtig. Einfluss auf das Wasserhaltevermögen haben die Bodendichte, die Menge an Bodenlebewesen und der Anteil organischen Materials. Wie viel Wasser der Boden aufnehmen kann, und wie viel versickert, hängt auch von der Größe und Beschaffenheit der Bodenporen ab. Insofern kann man den Boden mit einem Schwamm vergleichen, der aus unterschiedlich großen Hohlräumen besteht. Sandböden haben beispielsweise eine hohe Luftdurchlässigkeit und ein geringes Wasserhaltevermögen. Das Wasser versickert schnell und ist somit für die Pflanzen nicht verfügbar. Es können keine oder nur stark an Sandböden angepasste und trockenheitstolerante Pflanzen wachsen. Ist der Rohboden dem Regen direkt ausgesetzt, hat das Wasser ein hohes Erosionspotenzial für den Boden. Auch der Grad der Verdichtung spielt eine tragende Rolle bei der Wasserversickerung. Sind die Poren verdichtet und somit zu klein, ist das Wasser für Pflanzen nicht verfügbar. Die Wurzeln schaffen es einerseits nicht, in tiefere Schichten vorzudringen, und andererseits wird das Wasser zu stark in den Kapillaren gehalten und kann von der Pflanze nicht genutzt werden. Sobald die Wasserleitfähigkeit durch eine Verdichtung zerstört ist, kann sich durch Niederschlag eine Pfütze bilden, in der sich Schlamm ansammelt. Trocknet die Pfütze aus, entsteht eine Kruste, die ihrerseits die Versickerung von weiteren Niederschlägen hemmt.

Die Versickerung ist am besten anhand eines sandigen Bodens zu demonstrieren. Auf sehr lehm- beziehungsweise tonreichen Böden oder stark wassergesättigten Böden (zum Beispiel im Uferbereich von Seen und Teichen oder Moorböden) kann das Wasser schlecht abrinnen und die Infiltrationsrate ist sehr niedrig.

STATION 1

Filterfunktion und Wasserreinigung

Modellversuch zur Adsorption von Stoffen eines Bodentyps

Hintergrundwissen

Der Boden kann Stoffe an der Teilchenoberfläche binden (= adsorbieren). Dies passiert über Anziehungskräfte der unterschiedlich geladenen Teilchen im Boden. Durch den Boden fließendes Wasser kann dadurch «gereinigt» werden. Böden nehmen dadurch zum Beispiel eine sehr wichtige Rolle bei der Trinkwasserreinigung ein. Viele Stoffe, die auf den Boden treffen, werden in dem feinen Porengeflecht der verschiedenen Horizonte (= Bodenschichten) gehalten. Erst wenn die Kapazität der Stoffaufnahme erschöpft ist, gelangen die Stoffe ins Grundwasser oder in benachbarte Ökosysteme.

Neben der physikalischen Filterfunktionen wandeln zusätzlich Mikroorganismen, Pilze und Wirbellose Stoffe um. Die Reinigung von Böden durch technische Verfahren, insbesondere von Schwermetallen, ist sehr schwierig und teuer. Vorbeugender Bodenschutz hilft, die Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme zu erhalten.

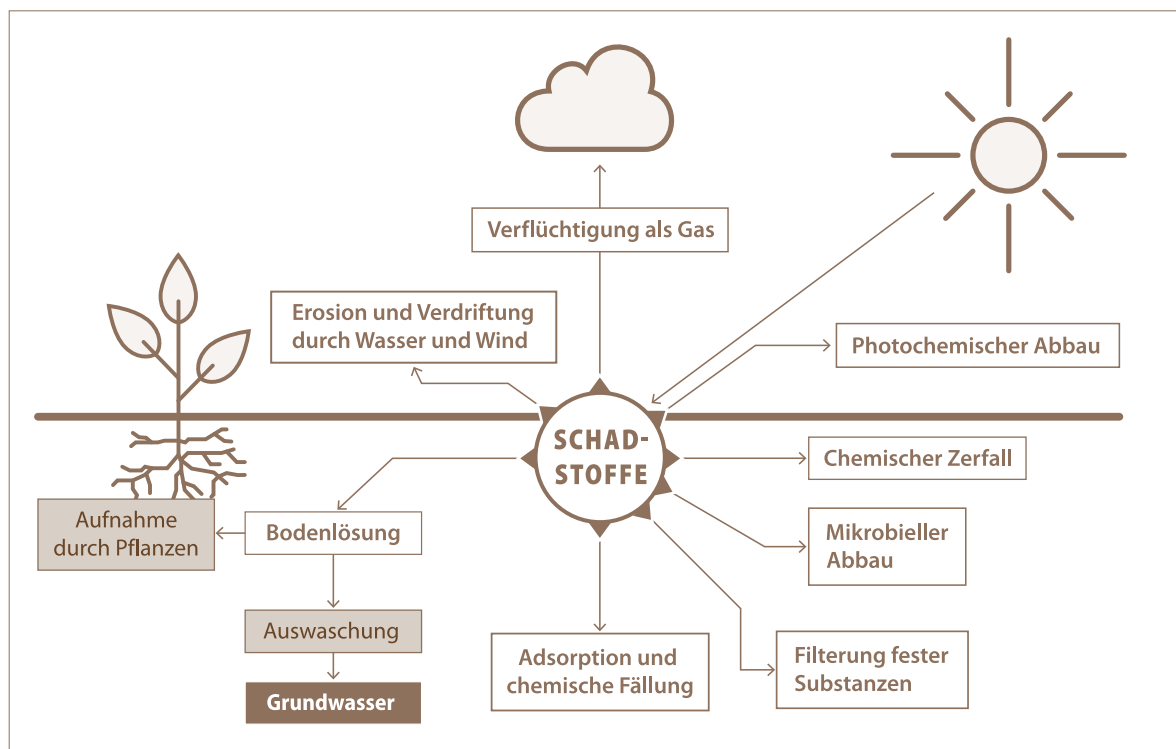


Abbildung B 1-4

Abbau von Schadstoffen im Boden (aus: Lernort Boden)

VERSUCH 1

Modellversuch zur Adsorption von Stoffen eines Bodentyps

Durchführung

Schneide den Boden der Wasserflasche ab.

1 Schraube den Deckel ab und stich mit dem Nagel 2 mm starke Löcher in den Deckel. Schraube anschließend den Deckel wieder auf die Flasche.

2 Befestige die Flasche kopfüber in der Halterung.

Die Flasche wird mit den verschiedenen Bodenmaterialien nacheinander und ordentlich geschichtet befüllt. Dabei sollte der Humusboden als oberste Schicht genutzt werden und Lehm wegen der Verstopfungsgefahr nicht direkt die unterste Schicht über dem Deckel sein.

Das Glas wird darunter gestellt, um das Wasser aufzufangen.

3 Wasser wird von oben in die Flasche gefüllt, bis unten klares Wasser herausfließt.

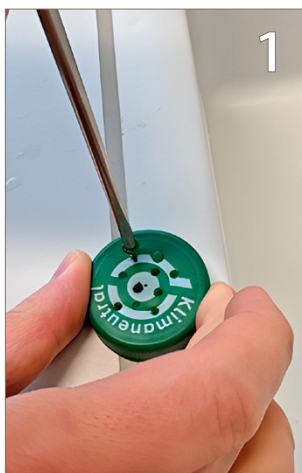
4 Wasser kann nun mit Tinte oder einem anderen Farbstoff gefärbt und oben in die Flasche gefüllt werden. Ein kleiner Rest des farbigen Wassers sollte zum anschließenden Vergleich zurückbleiben.

MATERIAL

- **Bodenmaterial** aus unterschiedlichen Bodenproben
- **Durchsichtige Wasserflasche**
- **Halterung für Flasche oder Kanister (zum Beispiel ein Trichterring; siehe Abbildungen B 1-5 bis B 1-9)**
- **Messer/Schere**
- **Nagel**
- **Filter**
- **Zwei Gläser Wasser**
- **Tinte/Farbstoff**

Aufgaben

1. Protokolliere die Versuchsdurchführung und -beobachtung.
2. Entwickle eine Hypothese, die die Versuchsbeobachtung erklärt.
3. Erkläre die Funktion des Bodens in Bezug auf den Grundwasserschutz.



Abbildungen B 1-5 bis B 1-8

Deckel mit Nagel durchgebohrt, Flasche ohne Boden kopfüber im Stativ mit verschiedenen Bodenhorizonten befüllt (Fotos: Franziska Hanko)

MICROSCALE-VARIANTE 1

Vergleich der Adsorptionsfähigkeiten verschiedener Bodenarten in der Einmalspritze

Durchführung

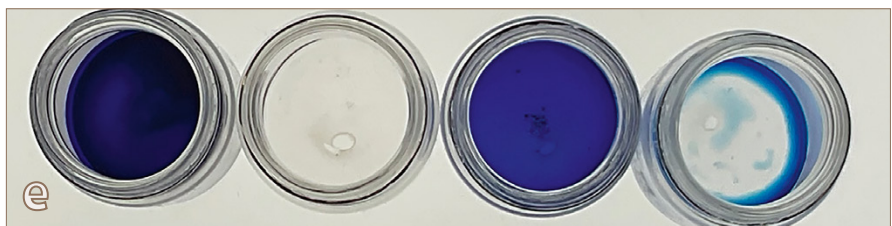
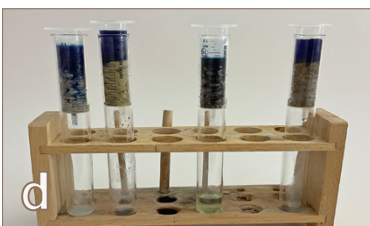
- a** Entferne für jede zu untersuchende Bodenprobe den Kolben aus einer Spritze, füge wenig Watte hinzu (sodass der Auslass den Boden zurückhält) und drücke die Watte mit dem Stempel fest an den Boden; anschließend entfernst du den Stempel wieder. Beschrifte die Spritze anhand der jeweiligen Bodenart!
- b** Fülle deine getrocknete Bodenprobe (mithilfe des Trichters oder mit dem Spatel-
löffel) bis zur gleichen Markierung der Spritze ein und verdichte dann mit dem Kolben vorsichtig die Bodenprobe, sodass der Boden immer noch locker liegt. Große Klumpen können in der Reibschale schwach zerstampft werden. Die ursprüngliche Korngröße muss unbedingt erhalten bleiben, um die Unterschiede der Proben vergleichen zu können.
- c** Fülle das gleiche Volumen (zum Beispiel 5 ml) der von der Lehrkraft vorbereiteten Farbstofflösung auf die Proben und warte, bis keine Flüssigkeit aus der Spritze tropft. (Vorsicht: Wenn die Spritze eng in einem Reagenzglas steckt, kann es sein, dass die Flüssigkeit nicht ablaufen kann. Hebe dann die Spritze mehrfach an, bis die gesamte Flüssigkeit herausgetropft ist.)
- d** Vergleiche die Flüssigkeiten unter den verschiedenen Bodenproben.
- e** Besonders eindrucksvoll siehst du die Unterschiede, wenn du die Gläschen auf eine Leuchtplatte stellen kannst.

Aufgaben

1. Fertige ein Versuchsprotokoll an.
2. Erstelle eine Hypothese, welche die unterschiedlichen Ergebnisse erklärt.
3. Falls du die Zusatzaufgabe mit der Wasserfarbe geschafft hast: Vergleiche die Ergebnisse und suche nach Erklärungen für eventuelle Unterschiede.
4. Erläutere den direkten Nutzen dieser Bodeneigenschaften in Bezug auf den Grundwasserschutz.

MATERIAL

- **Verschiedene getrocknete Bodenproben**
- **Glaswatte** oder **normale Watte**
- **Reibschale**
- **Trichter** zum Einfüllen (Pulvertrichter oder Spatellöffel)
- **Einwegspritzen mit Verschluss** (zum Beispiel Luer-Stopfen oder Knete)
- **«Stativmaterial für die Spritzen»** (Reagenzglasständer, Erlenmeyerkolben oder passende Reagenzgläser)
- **Einwegspritze** zum Befüllen der Bodenproben mit der Farbstofflösung
- **Wasser**
- **Tinte/Farbstoff**
- Zusätzlich **gelbe Wassermalfarbe**



Abbildungen B 1-9 bis B 1-13

Versuchsaufbau Microscale-Variante (Foto: Florian Bernhard)

STATION 2

Wasserspeicherfunktion

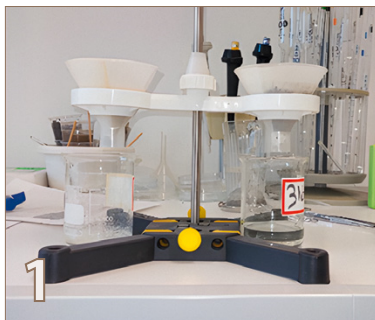
Hintergrundwissen

Boden kann Wasser entgegen der Schwerkraft halten und speichern.

Durchführung

Frische Bodenproben sollten mindestens drei Tage (lieber länger) getrocknet werden. Am besten ist es, die Bodenproben im Ofen beziehungsweise Trockenschrank zu trocknen.

- 1 Für jede Bodenprobe wird eine gleich große Menge abgewogen und kommt separat in jeweils einen Trichter, der mit feuchtem Filterpapier ausgelegt wurde. Klumpen müssen kleingemacht beziehungsweise verrieben werden.
- 2 Gieße das Wasser im Becherglas langsam über die Bodenprobe und verteile es gleichmäßig, bis der Boden gesättigt ist. Notiere die Wassermenge, die benötigt wurde.



MATERIAL

- Verschiedene trockene **Bodenproben**
- Für jede Probe ein gleichgroßer **Trichter** mit breitem Auslaufende
- **Halterung**
- **Papierfilter** (Kaffeefilter)
- **Waage**
- **Bechergläser**
- **Stoppuhr**

Abbildungen B 1-14 und B 1-15
Vergleich der Wasserspeicher-
kapazität verschiedener Böden
(Foto: Franziska Hanko)

Aufgaben

1. Miss die Zeit, bis kein Wasser mehr aus der jeweiligen Probe tropft.
2. Ermittle die im Boden gespeicherten Wassermengen mit Hilfe deiner Messwerte.
3. Vergleiche die Beobachtungen bei den unterschiedlichen Bodenarten.
4. Erstelle eine Hypothese, welche Auswirkungen diese Unterschiede für die auf diesen Böden wachsenden Pflanzen haben.
5. Erkläre, welcher Boden sich nach einer längeren Trockenphase wieder schnell mit Wasser auffüllen lässt. Beschreibe die Vorgänge, die im Boden bei einem starken Gewitter (Starkregen) ablaufen.

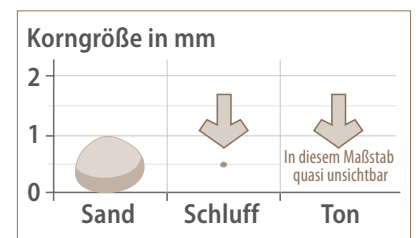


Abbildung B 1-16

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

MICROSCALE-VARIANTE 2

Wasserspeicherfunktion

Durchführung

Entferne für jede zu untersuchende Bodenprobe den Kolben aus einer Spritze, füge wenig Watte zu (sodass der Auslass den Boden zurückhält) und drücke die Watte mit dem Stempel fest an den Boden; anschließend entfernst du den Stempel wieder. Beschrifte die Spritze mit der jeweiligen Bodenart!

Bestimme mit der Feinwaage die Leermasse deiner Spritze und notiere diesen Wert.

a Fülle deine getrocknete Bodenprobe (mithilfe des Trichters oder mit dem Spatel-Löffel) bis zur Markierung der Spritze ein und verdichte dann mit dem Stempel vorsichtig, sodass beim Wiegen nichts mehr herausfallen kann. Falls die Bodenprobe zu große Stücke enthält, musst du sie eventuell vorher in der Reibschale vorsichtig zerkleinern. Achte beim Zerkleinern darauf, dass die Korngröße erhalten bleibt.

b Bestimme erneut die Masse der Spritze und berechne daraus die Masse der eingefüllten Bodenprobe.

Verschieße jetzt die kleine Öffnung der Spritze mit dem Stopfen oder der Knete und fülle oben mit Hilfe einer weiteren Spritze Wasser auf die Probe, sodass Wasser drüber stehen bleibt (mindestens die Hälfte des angegebenen Volumens). Warte nun fünf Minuten, bis sich die Bodenprobe mit Wasser vollgesaugt hat.

c Lasse nun das Wasser durch die geöffnete Spitze ablaufen, bis kein Wasser mehr tropft. (Vorsicht: Wenn die Spritze eng in einem Reagenzglas steckt, kann es sein, dass das Wasser nicht ablaufen kann. Hebe dann die Spritze mehrfach an, bis das gesamte Wasser herausgetropft ist.)

Aufgaben

1. Miss die Zeit, bis kein Wasser mehr aus der jeweiligen Probe tropft.
2. Ermittle die im Boden gespeicherten Wassermengen mithilfe deiner Messwerte.
3. Vergleiche die Beobachtungen bei den unterschiedlichen Bodenarten.
4. Erstelle eine Hypothese, welche Auswirkungen diese Unterschiede für die auf diesen Böden wachsenden Pflanzen haben.
5. Erkläre, welcher Boden sich nach einer längeren Trockenphase wieder schnell mit Wasser auffüllen lässt. Beschreibe die Vorgänge, die im Boden bei einem starken Gewitter (Starkregen) ablaufen.

MATERIAL

- **Verschiedene getrocknete Bodenproben**
- **Glaswatte** oder **normale Watte**
- **Reibschale**
- **Trichter** zum Einfüllen (Pulvertrichter oder Spatel-Löffel)
- **Einwegspritzen mit Verschluss** (zum Beispiel Luer-Stopfen oder Knete)
- **«Stativmaterial für die Spritzen»** (Reagenzglasständer, Erlenmeyerkolben oder passende Reagenzgläser)
- **Einwegspritze** zum Befüllen der Bodenproben
- **Stoppuhr**

Korngröße in mm

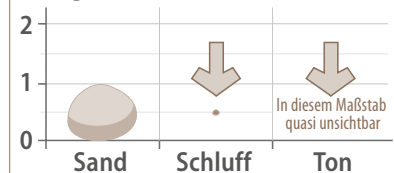
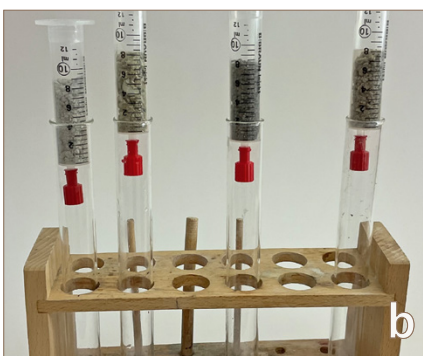


Abbildung B 1-17

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

Abbildungen B 1-18 bis B 1-20

Versuchsaufbau Microscale-Variante: Wasserspeicherfunktion (Foto: Florian Bernhard)



STATION 3

Schlammprobe – Woraus besteht der Boden eigentlich?

Hintergrundwissen

Böden unterscheiden sich durch ihre verschiedenen Bestandteile und die verschiedenen Größen der Einzelkörner. Die Anteile der unterschiedlichen Korngrößen sowie der Aufbau der Humusaufgabe sind ausschlaggebend für die jeweilige Bodenart. Vor allem aus landwirtschaftlicher und gärtnerischer Sicht sind diese Informationen wichtig, da sie Aussagen über die Anfälligkeit gegenüber Verdichtung, die Anbaumöglichkeiten sowie Düngemengen geben. Mithilfe der sogenannten Schlammprobe lassen sich die verschiedenen Korngrößen des Bodens voneinander trennen, sodass die jeweiligen Anteile abgelesen werden können.

Durchführung

Das Schraubglas wird zu etwa einem Viertel mithilfe des Esslöffels mit der Bodenprobe befüllt.

Wasser hinzugeben bis 1 cm unter dem oberen Rand des Schraubglases.

Schraubglas verschließen und kräftig schütteln.

Schraubglas abstellen, in den ersten Minuten beobachten und über die Schulstunde hinweg stehen lassen.

Aufgaben

1. Fertige Skizzen von den Ergebnissen nach 5, 10 und 20 Minuten an und beschreibe deine Beobachtungen bei den verschiedenen Böden.
2. Miss die Höhe der verschiedenen Schichtdicken mit einem Lineal oder Meterstab.
3. Berechne den prozentualen Anteil einer jeden Schicht, indem du die Höhe der einzelnen Schicht durch die Höhe der gesamten Bodenprobe teilst.
4. Benenne die verschiedenen Schichten mithilfe der Grafik.
5. Entscheide mithilfe des Korngrößendreiecks, welche Feldfrüchte sich für deinen Boden eignen würden.

MATERIAL

- **Zylinderförmiges Schraubglas** (mit Deckel)/**Schlammzylinder** (hohe, enge Gläser eignen sich besser als flache, breite Gläser)
- **Lineal oder Meterstab**
- **Frische Bodenproben**
- **Wasser**

Abbildungen B 1-21 bis B 1-24
Schlammprobe
(Fotos: Franziska Hanko)



MICROSCALE-VARIANTE 3

Schlammprobe

Durchführung

- a** Entferne für jede zu untersuchende Bodenprobe den Stempel aus einer 20 ml-Spritze, fülle zirka 10 ml Bodenprobe ein und drücke dann den Stempel wieder in die Spritze (wenn dabei die Öffnung nach oben zeigt, tropft nichts heraus). Beschrifte die Spritze mit der jeweiligen Bodenprobe.
- Fülle ein Becherglas mit Wasser und ziehe jetzt möglichst zügig jede Spritze mit Wasser bis zur 20 ml-Marke auf. Dies muss aber nicht auf einmal geschehen.
- b** Schüttle jetzt die Spritzen sehr stark, sodass sich die Bodenprobe mit dem Wasser optimal vermischt.
- c** Stelle die Spritze auf den Stempel und beobachte ein paar Minuten! Wiederhole deine Beobachtungen nach 5, 10 und 40 Minuten und (wenn möglich) auch mindestens 24 Stunden später. Natürlich kannst du die Spritzen auch hängend (zum Beispiel in einem Reagenzglasständer wie in Abbildung B 1-S3.c) aufbewahren.

Aufgaben

- Fertige Skizzen von den Ergebnissen nach 5, 10 und 20 Minuten an und beschreibe deine Beobachtungen bei den verschiedenen Böden.
- Miss die Höhe der verschiedenen Schichtdicken mit einem Lineal oder Meterstab.
- Berechne den prozentualen Anteil einer jeden Schicht, indem du die Höhe der einzelnen Schicht durch die Höhe der gesamten Bodenprobe teilst.
- Benenne die verschiedenen Schichten mithilfe der Grafik.
- Entscheide mit Hilfe des Korngrößendreiecks, welche Feldfrüchte sich für deinen Boden eignen würden (siehe **Anlage B 1.1**).

MATERIAL

- Verschiedene, trockene Bodenproben**
- Eventuell **Reibschale**
- Trichter** zum Einfüllen (Pulvertrichter oder Spatellöffel)
- Einwegspritzen (20 ml) mit Verschluss** (zum Beispiel Luer-Stopfen oder Knete)
- Becherglas mit Wasser**

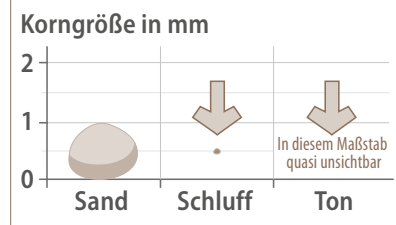


Abbildung B 1-25

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

Abbildungen B 1-26 bis B 1-28

Versuchsaufbau Microscale-Variante: Schlammprobe (Foto: Florian Bernhard)



Abbildungen B 1-29 und B 1-30

Verschiedene Bodenproben (von links: Ufersand, Lehm aus einer Grube, Gartenerde und lehmiger Boden) nach 24 Stunden

STATION 4

Wasserversickerung

Hintergrundwissen

Das Versickern von Wasser in die Bodenoberfläche nach Niederschlägen oder Beregnung nennt man auch Infiltration. Die Infiltrationsrate bezeichnet das Wasservolumen, das je Zeiteinheit in den Boden versickert (StMUGV 2006).

Durchführung

- 1 Zylinder in den Boden drücken (5–10 cm tief)
- 2 Eine definierte Wassermenge (abhängig vom Volumen des Zylinders) in den Zylinder gießen
- 3 Zeit stoppen, bis Wasser vollständig versickert
Zylinder mit dem Spaten ausgraben
- 4 Versuch an anderen Untersuchungspunkten wiederholen
(zum Beispiel Acker und Fahrspur)

MATERIAL

- **Zylinder** (oben und unten offen), Tiefe und Durchmesser können variieren (zum Beispiel eine große Konservendose, Plastikeimer ohne Boden, HT-Rohr) Wasser
- **Stoppuhr**
- **Spaten**

Aufgaben

1. Miss die Versickerungszeit der verschiedenen Standorte.
2. Vergleiche die von euch gemessene Versickerungszeit der zwei Standorte und nenne Ursachen in Bezug auf die Bodenart und Bodennutzung.
3. Kennst du Orte, an denen das Wasser nicht absickert, sondern auf der Oberfläche steht? Nenne mögliche Ursachen dafür.
4. Erkläre die Bedeutung der Erkenntnis für die Grundwassermenge und die Folgen von Starkregenereignissen.

Abbildungen B 1-31 bis B 1-34
Versuchsaufbau Wasserversickerung
(Fotos: Franziska Hanko)



ANLAGE B 1.1

Hintergrundwissen

Anbauvoraussetzungen von Ackerfrüchten

Die Wahl der Bodenart ist entscheidend für den erfolgreichen Anbau bestimmter Ackerfrüchte. Lehm ist ein Gemisch aus Sand, Schluff und Ton zu gleichen Anteilen. Das Korngrößendreieck zeigt die verschiedenen Bodenarten und deren Mischungsverhältnisse. Zum Beispiel hat ein «toniger Lehmboden» einen hohen Anteil an Ton und ist aber trotzdem ein Lehmboden. Eine Übersicht nennt die optimalen Bodenarten für folgende Ackerfrüchte:

- **Weizen** gedeiht am besten in tiefgründigen, nährstoffreichen Lehmböden mit guter Wasserhaltung. Toniger Lehm Böden sind bevorzugt, solange sie gut drainiert sind.
- **Mais** ist gut geeignet für sandige Lehm Böden und lehmige Sandböden. Eine gute Durchlüftung muss gewährleistet sein.
- **Kartoffeln** sind geeignet für leichtere, lehmige Sandböden, da sie eine gute Drainage bieten und das Wachstum der Knollen nicht behindern. Sie benötigen jedoch zusätzliche Nährstoffe und Bewässerung.
- **Gerste** wächst gut auf fruchtbaren Lehm Böden. Braunerden aus Geschiebemergel, tiefgründige Kalksteinverwitterungsböden sowie feinsandige Geschiebesande in humiden Gebieten sind am besten geeignet.
- **Zuckerrüben** gedeihen in tiefgründigen, nährstoffreichen, gut drainierten Böden. Schwere Lehm Böden oder lehmige Sandböden sind geeignet, sofern sie gut bearbeitet und frei von Verdichtungen sind.
- **Sojabohnen** bevorzugen gut drainierte, fruchtbare Lehm Böden. Sie sind empfindlich gegenüber Wasserstau, daher ist eine gute Drainage entscheidend.
- **Raps** benötigt tiefgründige, gut drainierte und nährstoffreiche Böden. Lehm Böden sind ideal, da sie eine gute Nährstoffretention bieten, aber eine ausreichende Drainage ist wichtig, um Staunässe zu vermeiden.
- **Hafer** ist weniger anspruchsvoll und kann auf leichteren Böden, einschließlich sandiger oder saurer Böden, angebaut werden, allerdings mit geringerer Produktivität. Besonders wüchsig ist er auf gut drainierten, fruchtbaren Lehm Böden.

Für weitere Informationen

Zotero; Ökolandbau

Zotero: Peatland Science Centre

Zotero: LfL Winterbraugerste

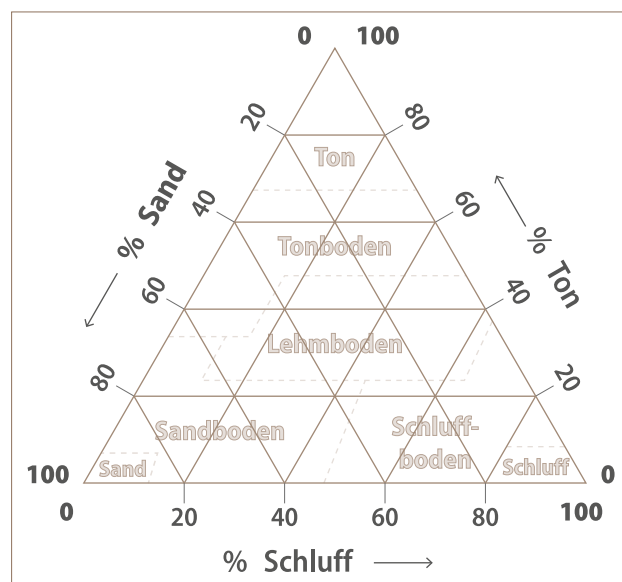


Abbildung B 1-35
Korngrößendreieck (aus: Lernort Boden)

B 2 Aufbau von Böden

Grundlegende Informationen

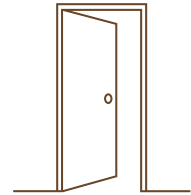
In Bayern haben sich die Bodentypen abhängig vom Klima und Gesteinsuntergrund sehr unterschiedlich entwickelt. In einer Kiesgrube in Bobingen bei Augsburg (siehe Abbildung B 2-1) ist sogar die Bodenentwicklung der letzten 125.000 Jahre, von der Warmzeit zwischen Riß- und Würmeiszeit bis heute, konserviert. So kann man die unterschiedlichen Bodentypen und die Klimabedingungen in den Warm- und Eiszeiten nachvollziehen. Meist setzte die Bodenbildung erst nach dem Ende der Würmeiszeit vor 11.700 Jahren ein. Die am weitesten in Bayern verbreiteten Bodentypen, die Parabraun- und Braunerden, weisen eine klassische Gliederung in O-A-B- und C-Horizont auf (siehe Abbildung B 2-2). Doch befinden sich viele Schulstandorte auch in Auengebieten mit Gleyböden, welche nicht dem klassischen Profil folgen.

Um den Aufbau eines Bodens draußen zu erkennen, können neben dem Arbeiten mit einem Bohrstock auch Aufschlüsse genutzt werden. Natürliche Aufschlüsse finden sich beispielsweise an Prallufern von Gewässern, anthropogene an Kies- und Baugruben sowie an Straßenböschungen. Die entsprechenden Bodentypen kann man aus der Bodenübersichtskarte (BÜK) in Papierform oder aus dem Bayernatlas (<https://atlas.bayern.de>) entnehmen. Nur in den dicht besiedelten Innenstädten sind keine Bodentypen vermerkt. Auch eignen sich für eine Exkursion Boden-Lehrpfade und Bodenstationen in den verschiedenen Regionen Bayerns (Bodenstationen, Boden- und Geolehrpfade – LfU Bayern).

Dabei macht es einen großen Unterschied, ob man einen Boden im Wald, im Grünland oder gar einen Ackerboden betrachtet. Bei dieser Exkursion sollen die SuS einen direkten Einblick in den Aufbau von verschiedenen Bodentypen bekommen und den Boden mit allen Sinnen begreifen.



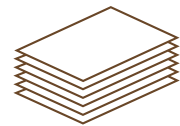
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- **Spaten** oder **Drainagespaten**
- **Bohrstock, Pürckhauer** oder **Boden-Probenehmer**
- **Spritzflasche/ Wasserflasche**
- **Messlatte** oder **Meterstab**

Abbildung B 2-1 (oben)
Aufschluss mit Profilwand in einer Kiesgrube Bobingen (Foto: LfU Bayern)

Abbildung B 2-2 (unten)
Dauerhaft ausgestelltes Eiszeitbodenprofil (Foto: LfU Bayern)

QR-Code B 2-3

Übersicht bayerischer
Bodenlehrpfade und
Bodenstationen:

Das Modul kann an einem bestehenden Bodenprofil (**Arbeitsblatt B 2.1**) oder in kleinerem Maßstab anhand der Spatenprobe durchgeführt werden (**Arbeitsblatt B 2.3**). Die Fingerprobe (**Anlage B 2.2**) wird in beiden Varianten benötigt. (www.lfu.bayern.de/boden/bodenlehrpfade/index.htm)

**QR-Code B 2-4**

Verknüpfung zur Bodenkarte
im BayernAtlas:
(<https://v.bayern.de/5gd7F>)

**Durchführung**

Die Exkursion sollte je nach örtlichen Begebenheiten mindestens zu einem Aufschluss oder zu einer Bodenprofilentnahme führen. Besonders geeignet wäre dazu eine nahegelegene Bodenstation oder ein Boden-Lehrpfad (siehe QR-Code B 2-3). Im Idealfall können auch Bodenprofile an verschiedenen Standorten wie Wald, Grünland und Acker miteinander verglichen werden. Bevor man selbst ein Profil mit den SuS gräbt, muss man natürlich den Grundstückseigentümer um Erlaubnis fragen.

Da die SuS wenig Kenntnisse zu Bodenprofilen aufweisen, sollte die Lehrkraft die Bodenhorizonte erläutern beziehungsweise in einem Lehrgespräch erarbeiten. Die Aufgaben können in Gruppen mit drei SuS gelöst werden. Darüber hinaus könnten die Bodenprofile nach der Trocknung auch in einem Glaszylinder oder wie im Modul B 10 (Wurzelkino) konserviert werden.

Mit der Bodenkarte im Bayernatlas lassen sich die regionalen Bodentypen vorab recherchieren (siehe QR-Code B 2-4)

Aufgaben

Anlagen B 2.1, B 2.2 und B 2.3

ARBEITSBLATT B 2.1

Bodenprofil

Man kann ein Bodenprofil an einem Aufschluss betrachten oder selbst ein Profil mit einem Bohrstock entnehmen.

Aufgaben

1. Betrachte das Bodenprofil und skizziere dann den Boden (inklusive Pflanzendecke, cm-Angabe) in die erste Spalte (Skizze des Bodenprofils. Als Hilfsmittel dient dir ein Meterstab.
2. Untersuche nun das Bodenprofil auf das Vorhandensein von Lebewesen oder Spuren von Lebewesen (zum Beispiel Regenwurmgänge, Wurzeln) und ergänze deine Skizze.
3. Untersuche jeden Horizont im Hinblick auf Farbe, Geruch, Feuchtigkeit und Bodenart (siehe Fingerprobe, **Anlage B 2.2**). Protokolliere deine Beobachtungen in Spalte 2.
4. Beschrifte die Skizze in Spalte 3 mit den folgenden Begriffen: C-Horizont, A-Horizont, B-Horizont, unzersetztes organisches Material, Ausgangsgestein, mit Humus vermischter Mineralboden, sinkender Humusanteil.

SKIZZE DES BODENPROFILS	BEOBACHTUNG	BESCHRIFTUNG
		

ANLAGE B 2.2

Fingerprobe

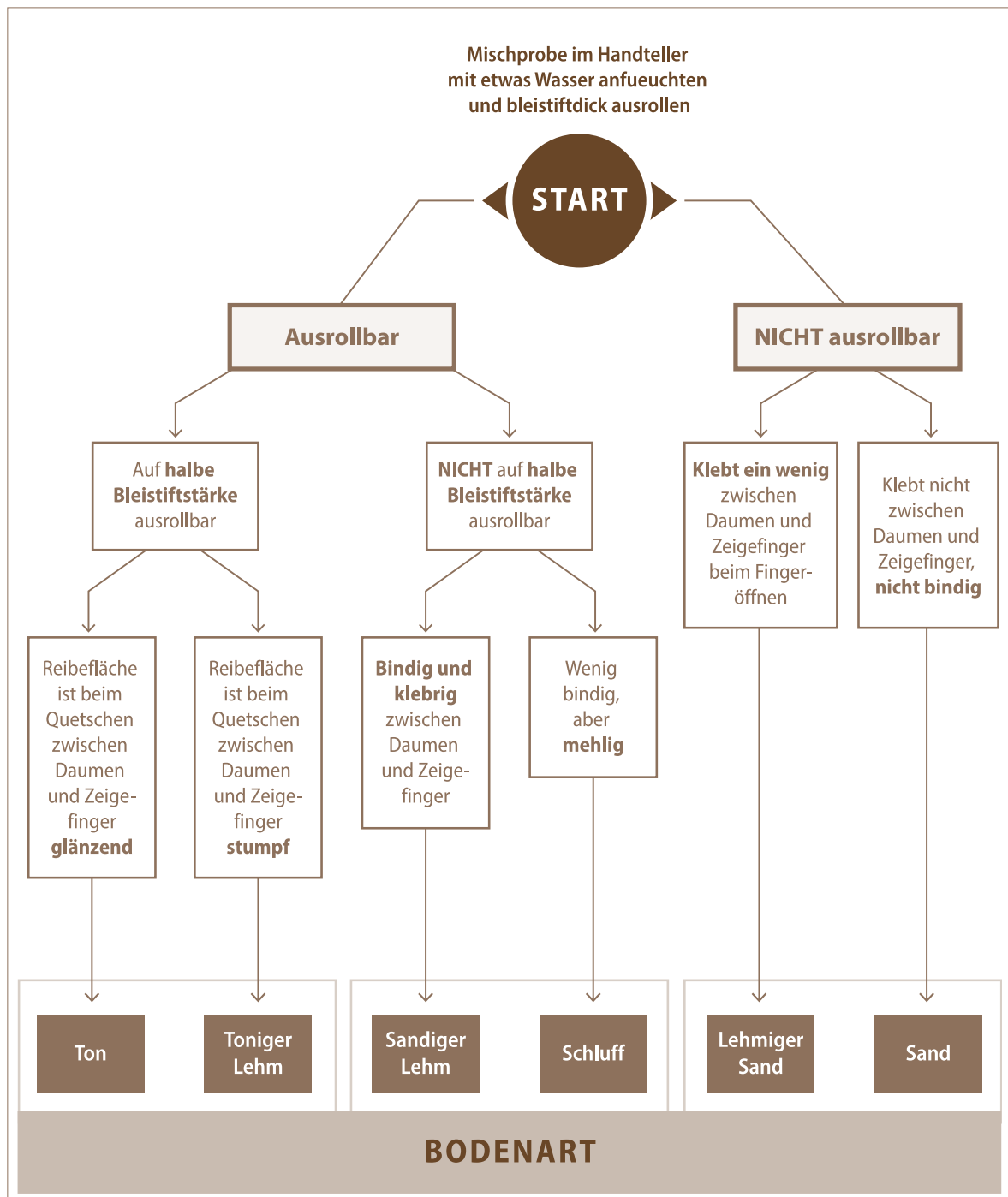


Abbildung B 2.2-1
Anleitung der Fingerprobe

ARBEITSBLATT B 2.3

Spatenprobe

Es wird ein kleines Bodenprofil ausgegraben und ein Bodenblock von der Größe eines Spatens ausgehoben.

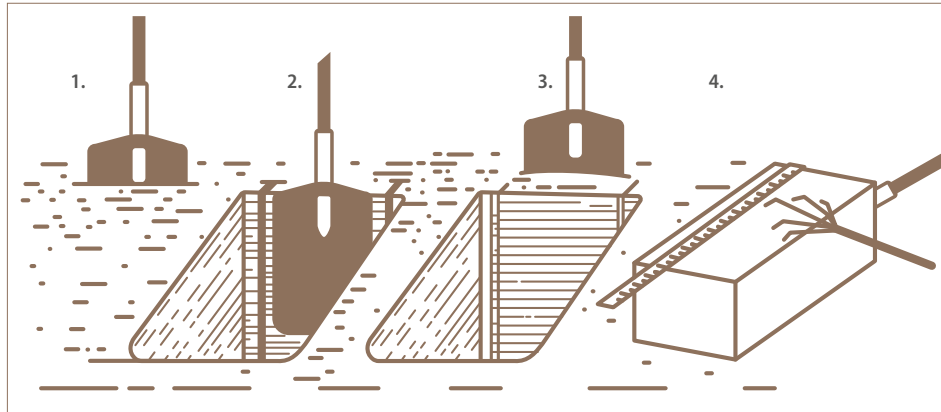


Abbildung B 2.3-1
Anleitung zur Durchführung einer Spatenprobe (Skizze: Hochschule Geisenheim).

Aufgaben

1. Trage für drei unterschiedliche Tiefen deine Beobachtungen in die Tabelle ein.
2. Ermittle die Korngröße anhand der Fingerprobe (**Anlage B 2.2**)

TIEFE	FARBE	GERUCH	FEUCHTIGKEIT	KORNGRÖÖE	BODENLEBEN

B 3 Was haben Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun?

Ein «Mystery»

Grundlegende Informationen

Ein «Mystery» ist ein Rätsel, das die SuS motiviert, fachliche Zusammenhänge aufzudecken und zu erfassen. Ausgangspunkt ist dabei eine ungewöhnliche oder originelle Leitfrage, welche die SuS neugierig macht. Zu dieser erhalten die SuS Informationen auf Kärtchen, die sie analysieren und miteinander in Beziehung setzen. Diese Kärtchen können Texte, Bilder, Diagramme, Grafiken und so weiter enthalten. Die SuS entwickeln daraus ein Wirkungsgefüge und beantworten darauf aufbauend die gestellte Leitfrage. Die Lösungsvorschläge werden anschließend im Plenum präsentiert und diskutiert, wesentliche Fakten können im Heft fixiert werden.

Die Leitfrage muss für die gesamte Klasse einsehbar sein (Projektion, Tafel). Weiterhin sollten die Karten mit dem Informationsmaterial in genügender Anzahl zur Verfügung stehen. Diese können optional zum Wiederverwenden laminiert werden.

Durchführung

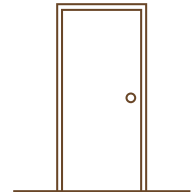
Allgemein

Das Mystery ist so strukturiert, dass die SuS eigenständig in Kleingruppen der Lösung auf die Spur kommen. Dabei wird sich der Lösungsweg und das Ergebnis von Gruppe zu Gruppe unterscheiden.

Konkrete Schritte im Ablauf der Stunde umfassen:

- Die Klasse wird mit der Leitfrage vertraut gemacht.
- Die Klasse wird in Gruppen von drei bis vier Personen eingeteilt.
- Die Gruppe erhält die Leitfrage, die Info-Karten werden unter den Gruppenmitgliedern aufgeteilt.
- Zunächst lesen die SuS die Informationen auf den Kärtchen vor und klären ihnen unbekannte Begriffe (Schulbuch, Lehrkraft).
- Die SuS ordnen die Kärtchen sinnvoll auf dem Papier an und erstellen ein Wirkungsgefüge, in dem die Beziehungen zwischen den Kärtchen deutlich werden. Diese können mit Pfeilen angezeigt werden.
- Auf der Grundlage des Wirkungsgefüges beantworten die SuS die Leitfrage.
- Die Gruppen präsentieren ihre Lösungsvorschläge im Plenum und diskutieren die Ergebnisse mit allen.
- Wesentliche Inhalte können im Heft fixiert werden.

Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☐	☐
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- **Mystery-Kärtchen** in der Anlage

Leistungserhebung

Sollte die Präsentation in Form eines Referats erfolgen, kann dieses gemäß den üblichen Rahmenbedingungen bewertet werden. Es empfiehlt sich jedoch, davon abzusehen, damit die SuS sich auch trauen, kontroverse Meinungen und Schlussfolgerungen zu äußern.

ANLAGE B 3.1

Info-Kärtchen



Der Totengräber-Käfer vergräbt Leichen kleiner Wirbeltiere (Mäuse, Singvögel), die er zerkaut und zu einem breiförmigen Ball formt. In diesen legt das Weibchen seine Eier. Die Larven ernähren sich von der Leiche. Dabei zerkleinert die Mutter das verwesende Fleisch und füttert die Larven damit. Die Leiche wird meist komplett aufgefressen.	Fast alle Pflanzen, darunter die heimischen Bäume, die meisten Kräuter und viele Nutzpflanzen, sind über ihre Wurzeln mit Pilzen in Kontakt. Diese sogenannten Mykorrhiza-Pilze unterstützen die Pflanze bei der Aufnahme von Ammoniumionen (NH_4^+) und Phosphationen (PO_4^{3-}) und erhalten von der Pflanze im Gegenzug Glucose aus der Fotosynthese.
In der darauffolgenden Zerkleinerungsphase wird das Laub von den Bodentieren zerbissen. Dabei beginnen Hornmilben und Springschwänze das Blatt seitlich anzufressen (Fensterfraß). Insektenlarven, Asseln und Tausendfüßer vergrößern diese Löcher (Lochfraß).	Der Abbau von Laubstreu verläuft in drei Phasen. Zuerst werden in der Initialphase komplexe Moleküle an der Blattoberfläche zersetzt, zum Beispiel von Pilzen.
An den Wurzeln von Hülsenfrüchtlern (zum Beispiel Klee, Bohne, Erbse) findet man knotige Verdickungen, sogenannte Wurzelknöllchen. Darin leben Bakterien, die Stickstoff aus der Luft (N_2) in das für die Pflanze verwertbare Ammoniumion (NH_4^+) umwandeln. Die Bakterien erhalten von der Pflanze im Gegenzug energiereiche Stoffe aus der Fotosynthese.	Humus entsteht durch das Zusammenwirken der im Boden lebenden Organismen wie Mikroben, Pilze, Wirbellose und Pflanzen. Er besteht aus organischen Abbauprodukten sowie pflanzlichen und pilzlichen Ausscheidungen. Durch die in ihm enthaltenen Huminstoffe besitzt er eine typisch dunkle Farbe.
In der abschließenden Abbau- und Umbauphase zerlegen Pilze und Bakterien die schwer verdaulichen Bestandteile von Zellwänden und Holz, wie Cellulose oder Lignin.	Mineralisation ist der mikrobielle Abbau von organischen Stoffen im Boden zu einfachen anorganischen Verbindungen wie Kohlenstoffdioxid (CO_2) oder Ionen wie Phosphat (PO_4^{3-}), Nitrat (NO_3^-) und Kaliumionen (K^+).
Mit Fruchtwechsel kann ein Landwirt erreichen, dass verschiedene Mineralsalze im Boden von Jahr zu Jahr unterschiedlich stark entnommen werden. Vor der Erfindung des Kunstdüngers mussten Felder auch regelmäßig brach liegen, das heißt ein Jahr nicht bewirtschaftet werden, um sich zu erholen.	In der Landwirtschaft verwendet man Kunstdünger, Mist oder Gülle, um Nutzpflanzen mit Mineralsalzen zu versorgen. Dafür werden Stickstoffatome in Form von Ammonium- und Nitrationen, Phosphoratome in Form von Phosphat und Kaliumionen, etwa als Kaliumoxid, zugeführt.
Um ausgelaugte Böden mit stickstoffatomhaltigen Mineralsalzen anzureichern, kann man Hülsenfrüchte wie Klee oder Luzerne in die Fruchtfolge einbauen. Die mit diesen in Symbiose lebenden Knöllchenbakterien können Luftstickstoff für die Pflanzen verfügbar machen. Diese sogenannte Gründüngung wird nicht geerntet, sondern in den Boden untergepflügt.	Pflanzen sind in der Lage, durch Fotosynthese die Nährstoffe Glucose und Stärke herzustellen. Allerdings erhalten sie durch die Fotosynthese keine Mineralsalze und auch keine Schwefel-, Stickstoff- und Phosphoratome zum Einbau in Proteine und Nukleinsäuren.

Zersetzungsstufen eines Blattes

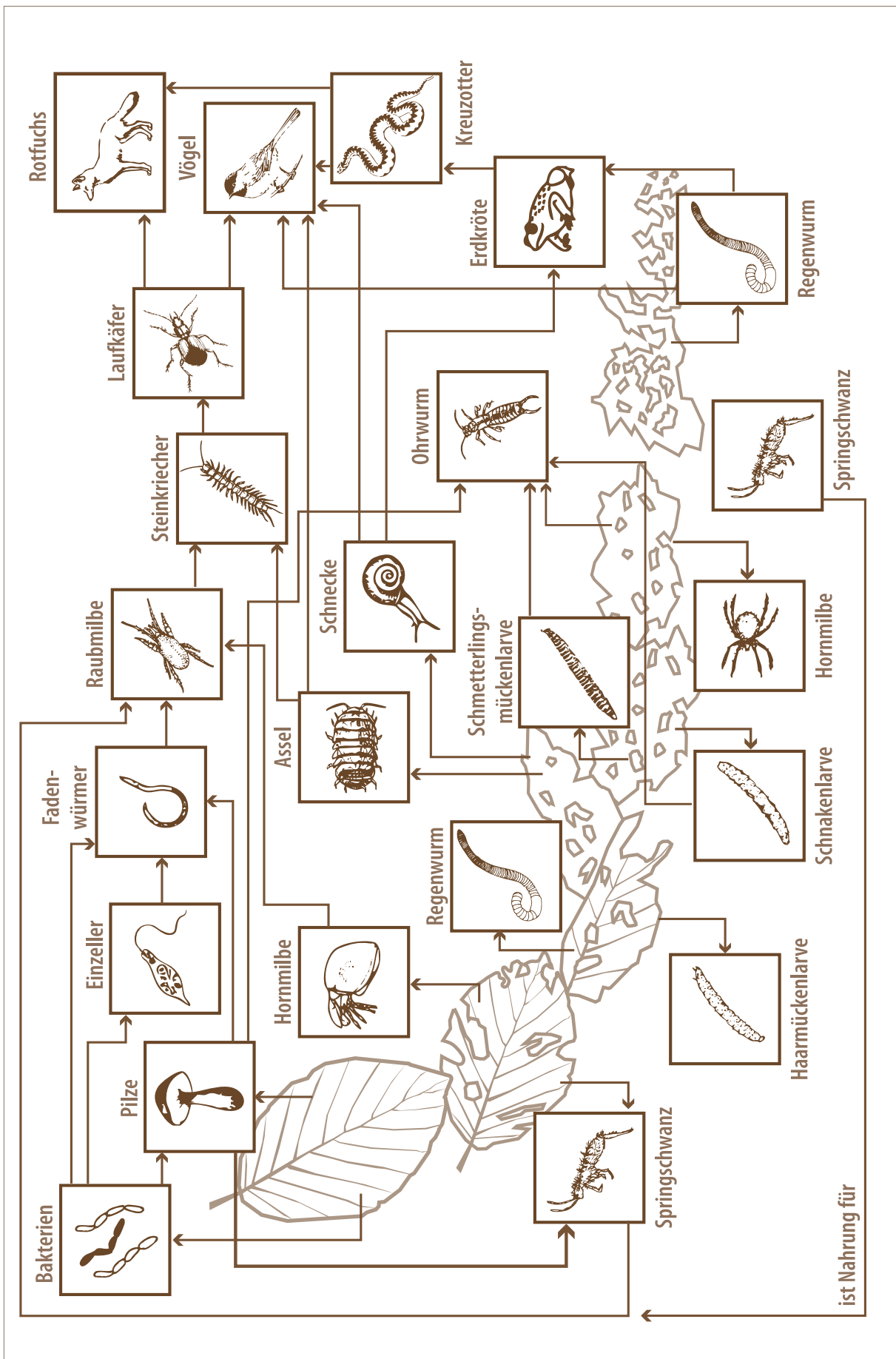


Abbildung B 3.1-1
Zersetzungsstufen eines Blatts und wer daran beteiligt ist (aus: Lernort Boden)

Kaliumionen-Fluss

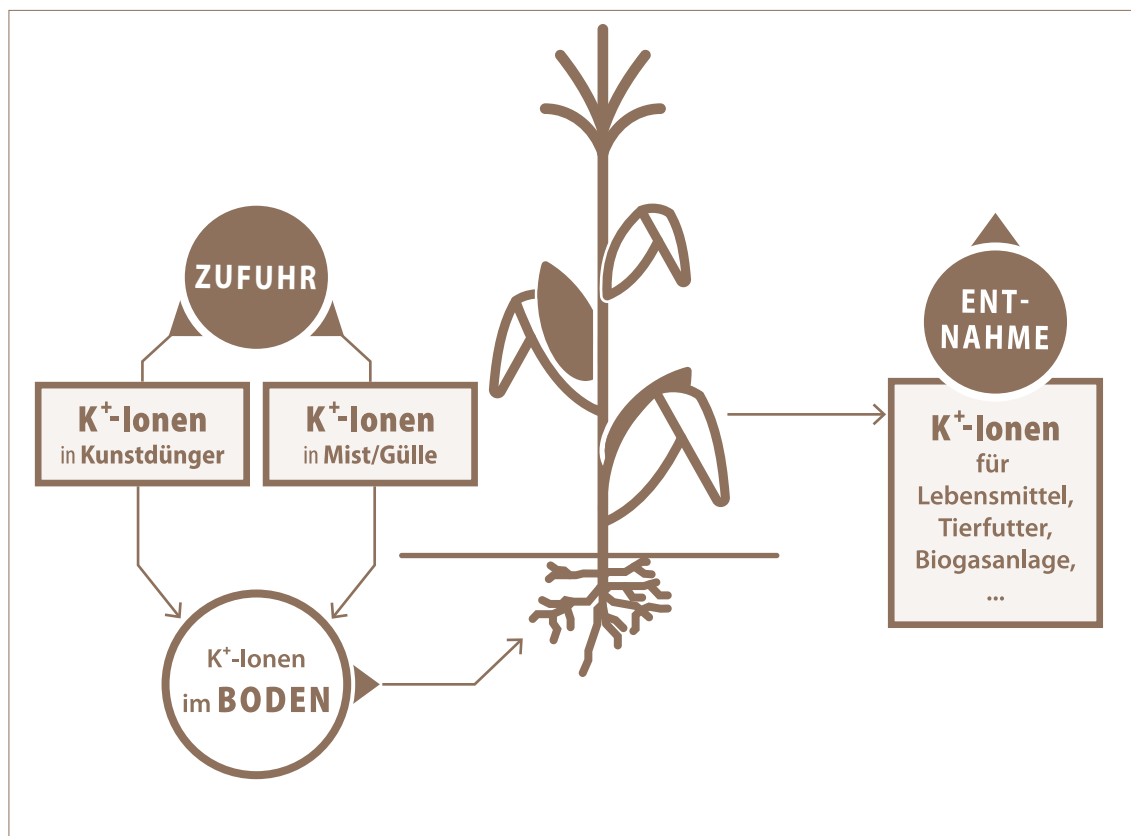


Abbildung B 3.1-2

Schematische Darstellung des Kaliumionen-Flusses (Abbildung: Martin Eiblmaier)

Kaliumionen-Kreislauf

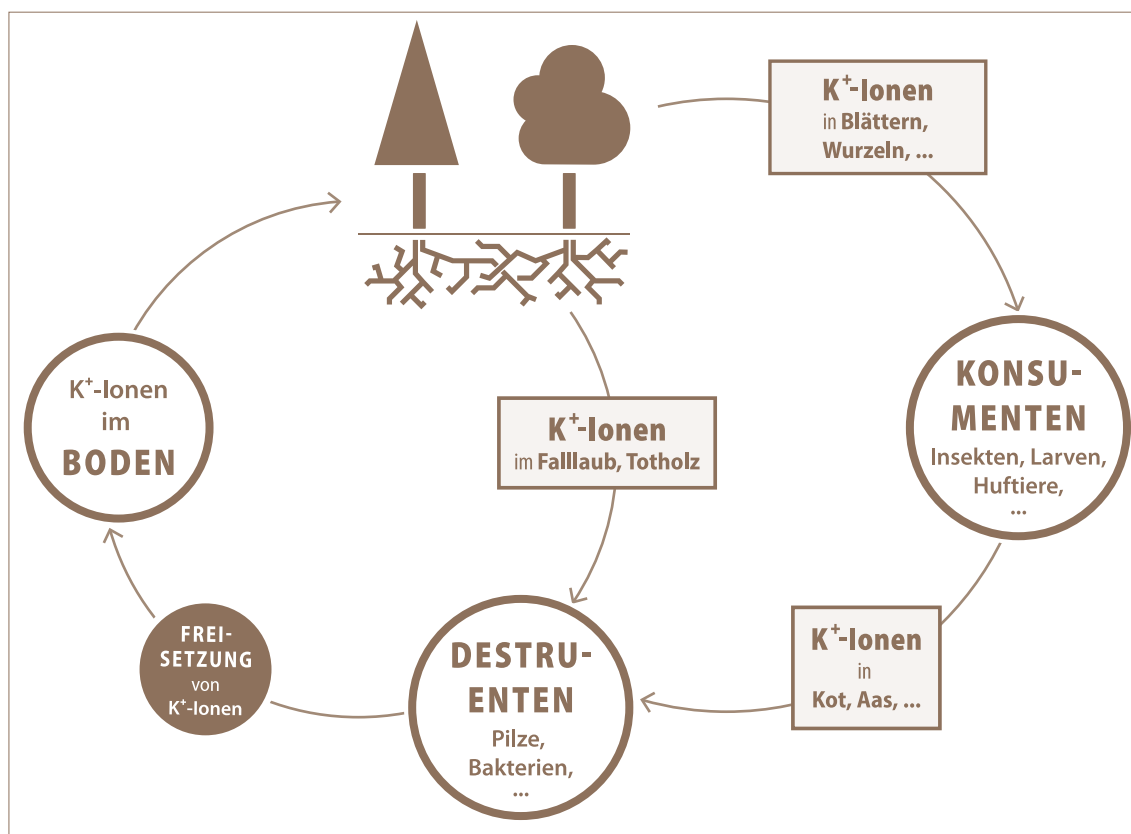


Abbildung B 3.1-3

Schematische Darstellung des Kaliumionen-Kreislaufs (Abbildung: Martin Eiblmaier)

Tabelle B 3.1-4

Anzahl der Individuen der jeweiligen Bodenorganismen (aus: Lernort Boden)

INDIVIDUENANZAHL	BODENORGANISMUS	BIOMASSE
10.000.000.000.000	Bakterien	~ 160 g/m ²
12.000.000.000	Pilze	~ 380 g/m ²
1.000.000.000	Algen	~ 90 g/m ²
600.000.000	Einzeller	~ 115 g/m ²
1.800.000	Fadenwürmer	~ 4 g/m ²
28.000	Springschwänze	~ 11 g/m ²
18.000	Milben	~ 10 g/m ²
10.000	Borstenwürmer	~ 2 g/m ²
800	Käfer(-larven)	~ 18 g/m ²
550	Tausendfüßer	~ 20 g/m ²
320	Ameisen	~ 2 g/m ²
300	Asseln	~ 4 g/m ²
240	Fliegenlarven	~ 26 g/m ²
230	Spinnen	~ 2 g/m ²
130	Regenwürmer	~ 145 g/m ²
50	Schnecken	~ 25 g/m ²
Gesamtbiomasse		~ 1.014 g/m ²



Knöllchenbakterien



Abbildung B 3.1-5

Wurzel mit Knöllchenbakterien (aus: Lernort Boden)

Tabelle B 3.1-6

Bedeutung der unterschiedlichen Nährelemente für Pflanzen (aus: Lernort Boden)

NÄHRELEMENT	BEDEUTUNG	MANGELERSCHEINUNG
Kalzium (Ca)	Baustoff, Regulation des Wasserhaushaltes	Wachstumshemmung
Kalium (K)	Regulation des Wasserhaushaltes	Blätter welken
Magnesium (Mg)	Bildung von Blattgrün (Chlorophyll)	Punktuelles Ausbleichen der Blätter, Wachstumshemmung
Eisen (Fe)	Bildung von Blattgrün (Chlorophyll)	Wachstumshemmung
Stickstoff (N)	Aufbau von Eiweißen	Wachstumshemmung, helle Blätter
Phosphor (P)	Aufbau von Substanzen des Zellkerns	Wachstumshemmung
Schwefel (S)	Aufbau von Eiweißen und Vitaminen	Wachstumshemmung, helle Blätter



Abbildung B 3.1-7

Totengräber-Käfer im Nationalpark Berchtesgaden (Foto: Martin Eiblmaier)

Symbiose von Pilz und Baum

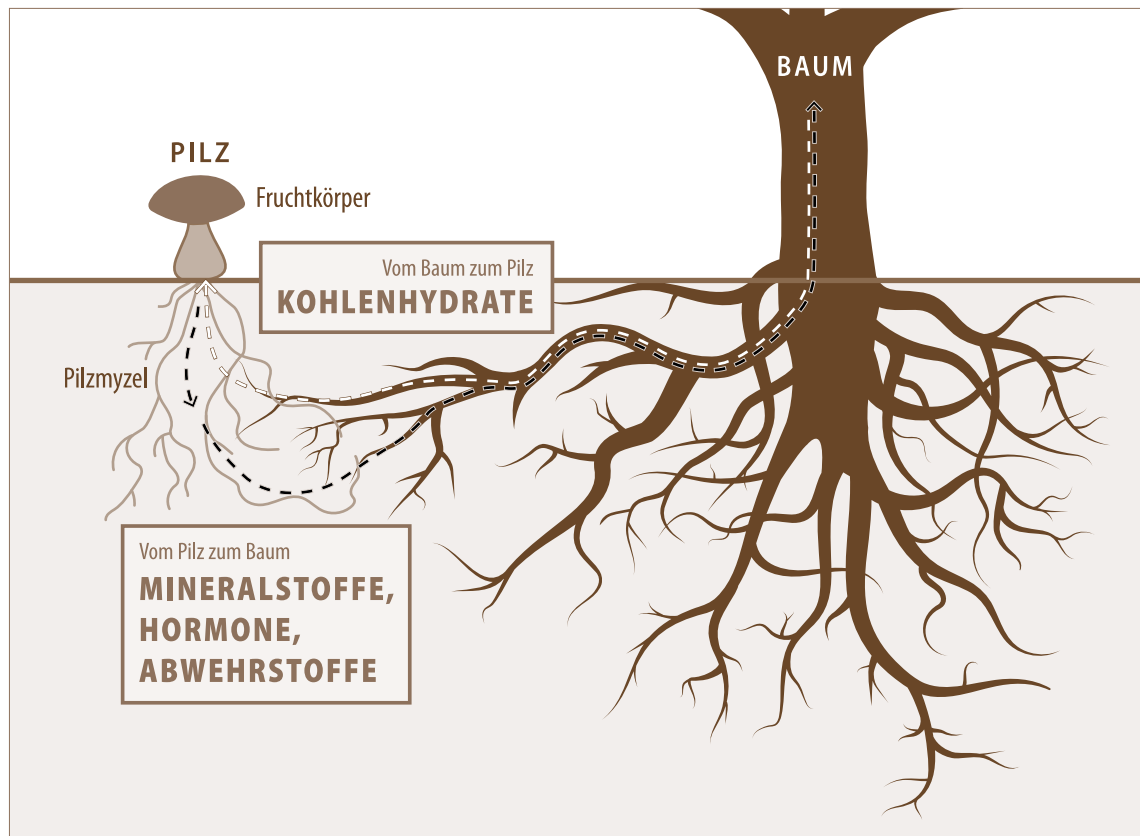


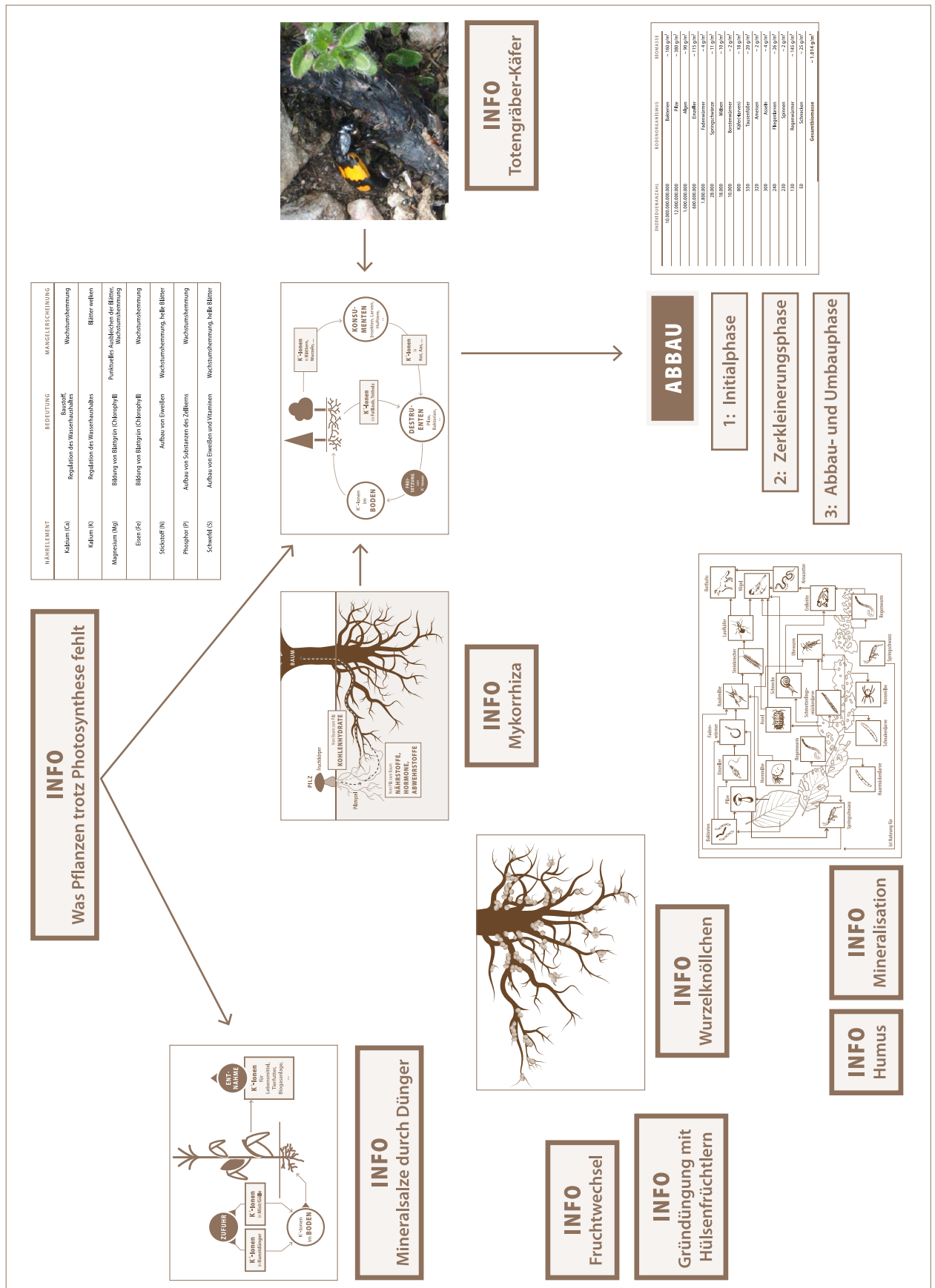
Abbildung B 3.1-8
Symbiose von Pilz und Baum (aus: Lernort Boden)



LÖSUNGSVORSCHLAG B 3.2

Was haben Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun?

Ein «Mystery»



B 4 Schau mal, was da krabbelt!

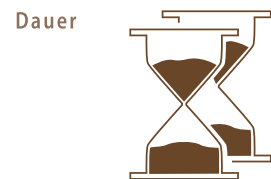
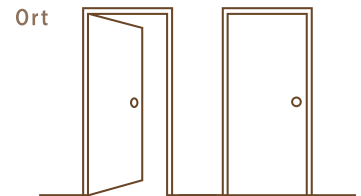
Grundlegende Informationen

Die unterschiedlichen Bodentypen sind Heimat für sehr viele unterschiedliche Lebewesen. Der zahlenmäßig größte Anteil entfällt dabei auf Mikroorganismen, die auch einen Hauptanteil der Stoffwechselaktivität in Böden ausmachen (siehe **Modul B 7**). In der nationalen Biodiversitätsstrategie der Bundesrepublik Deutschland (BMUB 2015) wird der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit als zentrales Ziel genannt, das nur durch intakte Biozönosen in diesem Ökosystem zu erreichen ist.

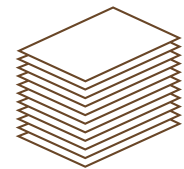
Die Gesamtheit der Bodenorganismen wird als Edaphon bezeichnet. Neben zahllosen Organismen der Mikrofauna (zum Beispiel Bakterien, Pilze, Einzeller) leben im Boden auch eine Vielzahl an größeren Tieren der Meso- (bis 2 mm), Makro- (2–20 mm) und Megafauna (> 20 mm), die in diesem Modul untersucht werden sollen. Besonders häufige Vertreter der Meso- und Makrofauna im Boden sind Fadenwürmer (Nematoda), Springschwänze (Collembola) und Milben (Acari). Unter den größten Bodenbewohnern der Makrofauna sind die Regenwürmer mit zahlreichen Individuen und auch mehreren Arten vertreten (vergleiche **Modul B 5**). Zusätzlich finden sich unter anderem Vertreter der Tausendfüßer (Myriapoda) und Asseln (Isopoda).

Die größeren Vertreter des Edaphons sorgen vor allem für eine Durchmischung des Bodens (Bioturbation, vergleiche **Modul B 5**), indem sie den Boden auf der Suche nach Nahrung durchwühlen. Dabei entstehen Hohlräume in der Erde, die für die Belüftung und die Wasserrückhaltungsfähigkeit der Böden besonders wichtig sind. Ausschlaggebend für die Remineralisierung toter, organischer Materie ist auch die mechanische Zerkleinerung durch die größeren Vertreter des Edaphons. Dadurch erhöht sich die reaktive Oberfläche für Bakterien und Pilze der Mikrofauna, die mit ihren Stoffwechselaktivitäten die biologischen Makromoleküle abbauen und Mineralstoffe so wieder in den Kohlenstoff- beziehungsweise Stickstoffatomkreislauf einspeisen.

Bodenorganismen reagieren auf Umwelteinflüsse, wie beispielsweise die Änderung der Feuchtigkeit nach Regenfällen, die Gabe von Düngemitteln, den Eintrag von Pestiziden oder die Bewirtschaftung der Fläche. Da die Auswirkungen auf die einzelnen Arten in der Praxis schwierig zu ermitteln sind, wird in der Bodenökologie die Stoffwechselaktivität des gesamten Edaphons als Parameter für die Leistungsfähigkeit der Bodenfauna herangezogen (vergleiche **Modul B 7**). Durch moderne Methoden, wie beispielsweise das DNA-Barcoding, können inzwischen aber auch die Auswirkungen veränderter Umweltbedingungen auf einzelne Organismen-Gruppen verfolgt werden.



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- Anlagen B 4.1–5
- Kleine Schaufel
- Messbecher (1 Liter)
- Waage
- Lupen/Binokulare
- Pinsel
- Pinzetten
- Verschiedene Bodenproben
- Präparierschalen (am besten mit hellem Boden)
- Alternativ: Berlese-Apparat

Das forschende Entdecken der Bodenfauna stellt eine schüleraktivierende Unterrichtsform dar, die durch die Begegnung mit lebenden Tieren stark motiviert. Dabei erweitern die Lernenden ihr Fachwissen zur Formenkenntnis wirbelloser Tiere. Neben der Begegnung mit den Lebewesen stellt dieses Modul den Kompetenzbereich «Erkenntnisgewinnung» in das Zentrum des unterrichtlichen Interesses, da immer wieder der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg aufgegriffen wird.

Material

(Siehe Extrakasten)

Alternativ Berlese-Apparat

- Großer Kunststofftrichter oder entsprechend geformter Papptrichter
- Haushaltssieb (Maschenweite etwa 1 bis 2 mm, Durchmesser in Trichter passend)
- Stativ, Schreibtischlampe (Glühbirne mit zirka 25 Watt)
- Größeres Glas
- Schuhschachtel
- Filterpapier

Durchführung

Als motivierenden Einstieg in diese Unterrichtseinheit könnte man das in populärwissenschaftlichen Publikationen immer wieder verwendete Bild benutzen, dass in 1 Kubikmeter Boden mehr Lebewesen existieren, als es Menschen auf der Erde gibt. Doch hält diese Behauptung auch einem Faktencheck stand?

Mit Hilfe der Aufgaben in **Anlage B 4.1** verschaffen sich die SuS zunächst einen Überblick über die durchschnittlichen Individuenzahlen von Lebewesen im Boden. Dabei müssen sie Beobachtungen auswerten, eigene Hypothesen entwickeln und eine naturwissenschaftliche Untersuchung planen. Nach Bearbeitung dieser Aufgabe lohnt es sich, die zu Beginn aufgestellte Behauptung zur Zahl an Bodenlebewesen aufzugreifen und ihre Richtigkeit anhand der Messdaten zu diskutieren.

In der darauffolgenden Einheit untersuchen die Lernenden mithilfe der **Anlagen B 4.2** und **B 4.3** Bodenproben, die die Lernenden selbst entnehmen. Dabei könnten an verschiedenen Standorten des Schulgeländes Proben entnommen werden.

Im Zuge der Binnendifferenzierung kann die Lehrkraft in den **Anlagen B 4.2** und **B 4.3** Aufgaben auswählen, die alle Lernenden bearbeiten müssen, und andere den schnelleren SuS der Lerngruppe zuweisen. Insgesamt eignet sich diese Unterrichtsphase gut, um die im Lernbereich 1 geforderte Kompetenzerwartung «Die SuS systematisieren unter anderem Insekten mithilfe ausgewählter Bestimmungshilfen (zum Beispiel Bestimmungsbuch, digitales Nachschlagewerk) und sind sich dadurch der Artenvielfalt der Wirbellosen bewusst» zu erfüllen.

Anlage B 4.4 ist eine analoge Bestimmungshilfe, die für die Aufgaben **B 4.3** verwendet wird. Eine Kombination mit den Untersuchungen aus Modul 07 bietet sich an, um die dort gewonnenen Messwerte mit der Zahl an Bodenlebewesen in Beziehung zu setzen.

Sollte die Unterrichtszeit für die Probenentnahme durch die SuS nicht ausreichen, kann auch die Lehrkraft die Bodenproben mitbringen. Besonders reich an Lebewesen sind Waldböden mit einem hohen Totholzanteil oder auch Komposterde. Natürlich stellt die Freude an der Beobachtung einer Vielzahl von Lebewesen ein zentrales Element dieser Stunden dar. Gleichzeitig sollten aber auch der «wissenschaftliche» Blick auf die Proben geschult und zumindest zwei Bodenproben von verschiedenen Standorten, zum Beispiel in arbeitsteiliger Gruppenarbeit, untersucht werden. Auf diese Weise lassen sich gegebenenfalls anhand der verschiedenen Umweltbedingungen beobachtete Unterschiede in den Biozönosen erklären. Ein solcher Vergleich erweitert die rein beschreibende Bestandsaufnahme der Fauna einer einzigen Bodenprobe doch erheblich.

Neben dieser klassischen Alternative mit ausgedruckten Arbeitsblättern und analogen Bestimmungstabellen lässt sich dieses Modul auch digitalisieren.

Das vom Senckenberg Museum für Naturkunde in Görlitz entwickelte Projekt «Bodentier⁴» bietet digitale Bestimmungstools für eine Vielzahl an Bodentieren an. Nach einer kostenlosen Registrierung lassen sich die Funddaten in einer Datenbank speichern. Diese Funktionen lassen sich entweder direkt über die Homepage des Projektes (siehe QR-Code B 4-1) oder auch offline in der für iOS (siehe QR-Code B 4-2) und Android-Betriebssysteme (siehe QR-Code B 4-3) zur Verfügung stehenden App nutzen.

Grundsätzlich müssen die SuS auf den sorgsamen Umgang mit lebenden Tieren aufmerksam gemacht werden. Dazu gehört auch, dass die Tiere nach Abschluss der Untersuchungen an die gleiche Stelle zurückgebracht werden, von der sie entnommen wurden.

QR-Code B 4-1

Projekt Bodentier⁴
(<https://bodentierhochvier.de>)



QR-Code B 4-2

Bodentier⁴ für iOS
(<https://apps.apple.com/de/app/BODENTIER-hoch-4/id1558879327>)



QR-Code B 4-3

Bodentier⁴ für Android
(<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kbs.idoapp>)



LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.1

Biologische Vielfalt vergleichen

Aufgabe 1

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Im Durchschnitt enthalten die untersuchten Böden rund zehnmal so viele Fadenwürmer wie Milben.	R
Obwohl in den untersuchten Böden über 1.000-mal mehr Milben als Regenwürmer gefunden wurden, ist die Biomasse der Regenwürmer wesentlich größer als jene der Milben.	R
Die Masse einer einzelnen Schnecke ist viel größer als die Masse einer einzelnen Assel.	F
In Waldböden sind deutlich mehr Bodenlebewesen enthalten als in Ackerböden.	X

Aufgabe 2–3

Die Formulierung der Hypothese und dazu passende Planung eines Experiments ist für alle Lernenden individuell.

Beispiel:

Hypothese: Wenn die gemessene Gesamt-Biomasse größer ist als die Masse der gefundenen Arten, dann sind die weiteren in der Probe vorhandenen Lebewesen zu klein, um sie mit dem bloßen Auge zu entdecken.

Untersuchung: Analyse der gleichen Probe mit einem besseren Mikroskop oder einer anderen Methode (zum Beispiel Suche nach DNS-Markern statt Lebewesen)

Aufgabe 4

Addiert man die Anzahl der in dem Diagramm untersuchten Lebewesen-Gruppen auf, ergibt sich eine Zahl, die weit kleiner als 8 Milliarden Menschen ist. Allerdings zeigt sich, dass hier nur die größeren Tiere und nur die obersten 30 cm des Bodens berücksichtigt wurden. Alle kleineren Arten müssten also zu dieser Zahl hinzugezählt werden. Da sich deren genaue Anzahl aus den gegebenen Daten aber nicht ableiten lässt, kann die Aussage nicht abschließend überprüft werden.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.2

Bodenlebewesen finden

Aufgabe 1–3

Individuelle Lösungen der SuS

Aufgabe 4

Das Volumen oder die Masse sind notwendig, um die Individuenzahlen in der gleichen Menge der Probe zu vergleichen. Erst damit lassen sich aussagekräftige Daten über die Fauna verschiedener Böden ermitteln.

Aufgabe 5

Die Anzahl der gefundenen Individuen in den verschiedenen Proben variieren.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 4.3

Bodenlebewesen bestimmen

Aufgabe 1–3

Individuelle Lösungen der SuS

Aufgabe 4

Die Planung eines Experiments ist für alle Lernenden individuell. Grundsätzlich gilt das Prinzip der Variablenkontrolle, das heißt um aussagekräftige Daten zu erhalten, darf immer nur eine Versuchsbedingung variiert werden und alle anderen müssen gleich bleiben.

Aufgabe 5

Individuelle Lösungen der SuS; die Nutzung von speziellen Suchmaschinen ist wichtiger als das eigentliche Ergebnis.

ARBEITSBLATT B 4.1

Biologische Vielfalt vergleichen

In den obersten Bodenschichten tummeln sich eine Vielzahl von lichtscheuen Lebewesen, die für uns ein meist verborgenes Leben führen. Sie spielen für die natürlichen Kohlenstoff- und Stickstoffatomkreisläufe eine zentrale Rolle. Zudem sind sie wichtige Verbündete im Kampf gegen die Klimaerwärmung, da sie dafür sorgen, dass Kohlenstoffatome dauerhaft im Boden gebunden werden und somit nicht mehr in klimaschädlichen Treibhausgasen durch die Atmosphäre schwirren können.

Durch die Auswertung zahlreicher Untersuchungen verschiedener Böden ergaben sich für einen Bodenkörper von 1 m² Fläche und 30 cm Tiefe (entspricht etwa 300 Liter) im Durchschnitt folgende Werte (BRAUNS 1968):

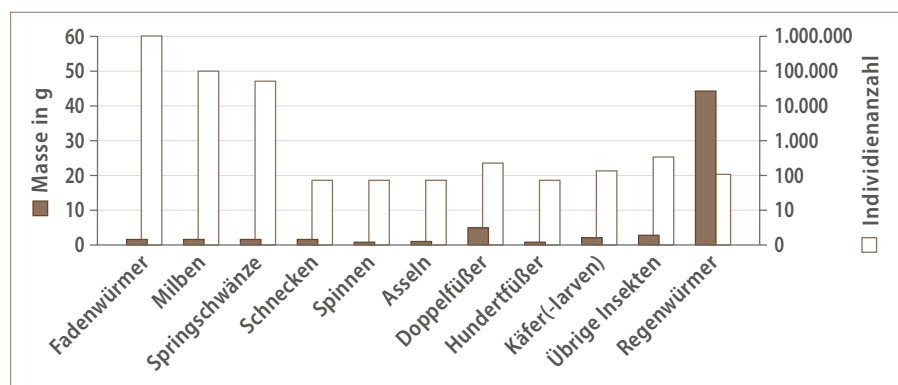


Abbildung B 4.1-1
Durchschnittliche
Masse und Anzahl von
Bodenlebewesen

Aufgaben

1. Kennzeichne in folgender Tabelle richtige Aussagen mit einem «R», falsche mit einem «F» und solche, bei denen eine Aussage mit Hilfe der gegebenen Daten nicht möglich ist, mit einem «X».

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Im Durchschnitt enthalten die untersuchten Böden rund zehnmal so viele Fadenwürmer wie Milben.	
Obwohl in den untersuchten Böden über 1.000-mal mehr Milben als Regenwürmer gefunden wurden, ist die Biomasse der Regenwürmer wesentlich größer als jene der Milben.	
Die Masse einer einzelnen Schnecke ist viel größer als die Masse einer einzelnen Assel.	
In Waldböden sind deutlich mehr Bodenlebewesen enthalten als in Ackerböden.	

2. Genauere Untersuchungen der gesamten Biomasse aller Lebewesen in den untersuchten Proben betrug in der vorliegenden Untersuchung über 1.000 g. Vergleiche diesen Befund mit den Messdaten aus dem Diagramm und entwickle eine Hypothese, wie sich dieser Unterschied erklären lassen könnte.
3. Plane eine naturwissenschaftliche Untersuchung, mit deren Hilfe sich deine Vermutung überprüfen lässt.
4. Es wird immer wieder behauptet, dass unter einem Quadratmeter Boden mehr Lebewesen vorkommen, als es Menschen auf der Erde gibt. Beurteile mittels der Messdaten die Richtigkeit dieser Aussage.

ARBEITSBLATT B 4.2

Bodenlebewesen finden

Eine für die Ökologie besonders spannende Frage ist der Vergleich der biologischen Vielfalt in unterschiedlichen Bodentypen. Eine mögliche Fragestellung einer solchen Untersuchung wäre: «In welchem Boden leben die meisten Lebewesen?»

Aufgaben

1. Entwickle zu dieser Fragestellung eine Hypothese, die sich mithilfe einer naturwissenschaftlichen Untersuchung überprüfen lässt.
2. Entnimm von verschiedenen Standorten auf deinem Schulgelände Bodenproben von ungefähr einem Liter Volumen. Besonders gut geeignet sind zum Beispiel Wiesenflächen, Blumenbeete oder ein Kompost-Haufen.
3. Ermittle die Individuenzahl und trage die Werte in die Ergebnistabelle ein.

INDIVIDUENZAHL	PROBENORT

4. Begründe, warum bei allen Proben das gleiche Volumen für den Vergleich der biologischen Vielfalt in den Böden erhoben werden muss.
5. Überführe die Probe in eine weiße Schale und sortiere die Tiere mit Pinzette und Pinsel in eine zweite Schale und zähle sie dabei. Falls du keine weiße Schale hast, lege zumindest ein weißes Blatt Papier in deine Schale, damit du die zum Teil sehr kleinen Tiere besser erkennen kannst.

Um die Genauigkeit zu erhöhen, kann ein Berlese-Apparat verwendet werden (siehe Abbildung B 4-2). Dieses Gerät nutzt die sogenannte negative Phototaxis der meisten Bodentiere. Das bedeutet, dass sich die meisten Bodentiere vom Licht weg hin ins Dunkle bewegen und dann durch den Trichter ins Sammelgefäß fallen.

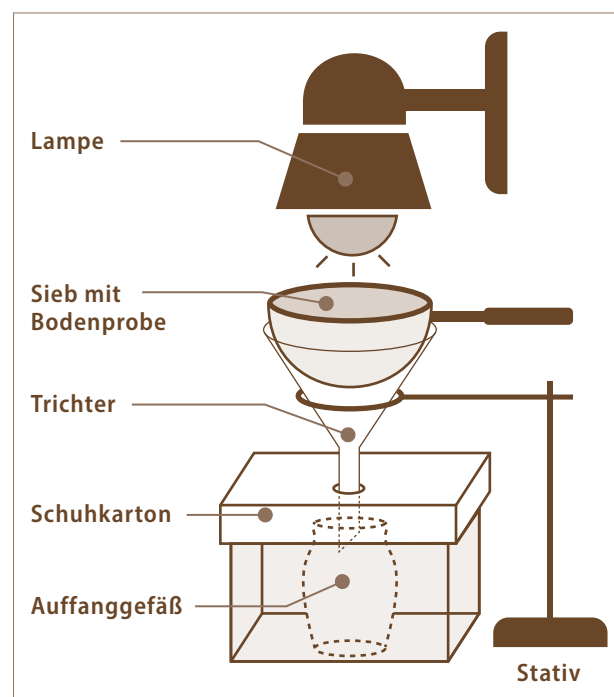


Abbildung B 4.2-1
Versuchsaufbau eines Berlese-Apparats (aus: Lernort Boden)

ARBEITSBLATT B 4.3

Bodenlebewesen bestimmen

Aufgaben

1. Bestimme die Lebewesen und ermittle die Anzahlen für die einzelnen Arten oder Artengruppen. Trage die Werte in das Beobachtungsprotokoll ein. Erstelle dann ein Diagramm, das die Anzahl der Individuen der Tiergruppen zeigt.
2. Vergleiche die Ergebnisse der verschiedenen Probenorte miteinander.
3. Vergleiche deine Beobachtungen mit den Daten von BRAUNS (1968; siehe **Arbeitsblatt B 4.1**).
4. Plane ein Experiment, mit dessen Hilfe sich der Einfluss von Pestiziden auf die Bodenfauna überprüfen lässt.
5. Recherchiere im Internet nach Studien, die den Einfluss der Bodennutzung (zum Beispiel Düngegabe, Einfluss von Pestiziden, Häufigkeit der Mahd) auf die Tierwelt im Boden untersucht haben, und fasse deren Ergebnisse zusammen. Nutze dafür eine wissenschaftliche Suchmaschine, zum Beispiel Google Scholar oder ResearchGate.

ANLAGE B 4.4

Beobachtungsprotokoll

NAME(N)			DATUM		
PROBENORT					
ANGABEN ZU DEN GEFUNDENEN TIERGRUPPEN					
Tiergruppe		Anzahl	Tiergruppe		Anzahl
Schnecken	Nacktschnecken		Milben	Schildkrötenmilbe	
	Gehäuseschnecken			Rote Samtmilbe	
Regenwürmer				Raubmilbe	
Weißwürmer				Hornmilbe	
Fadenwürmer				andere	
Springschwänze			Spinnen		
Käfer	Laufkäfer		Weberknechte		
	Kurzdeckflügler		Pseudoskorpione		
	Schnellkäfer		Asseln		
	andere		Hundertfüßer	Steinkriecher	
Übrige Insekten	Kugelspringer			Erdläufer	
	Doppelschwanz			Zwergfüßer	
	Ohrwurm			Andere	
	Waldschabe		Doppelfüßer	Schnurfüßer	
	Wanze			Saftkugler	
	Ameise			Andere	
	Andere		Sonstiges		

ANLAGE B 4.5

Bestimmungsschlüssel Bodentiere

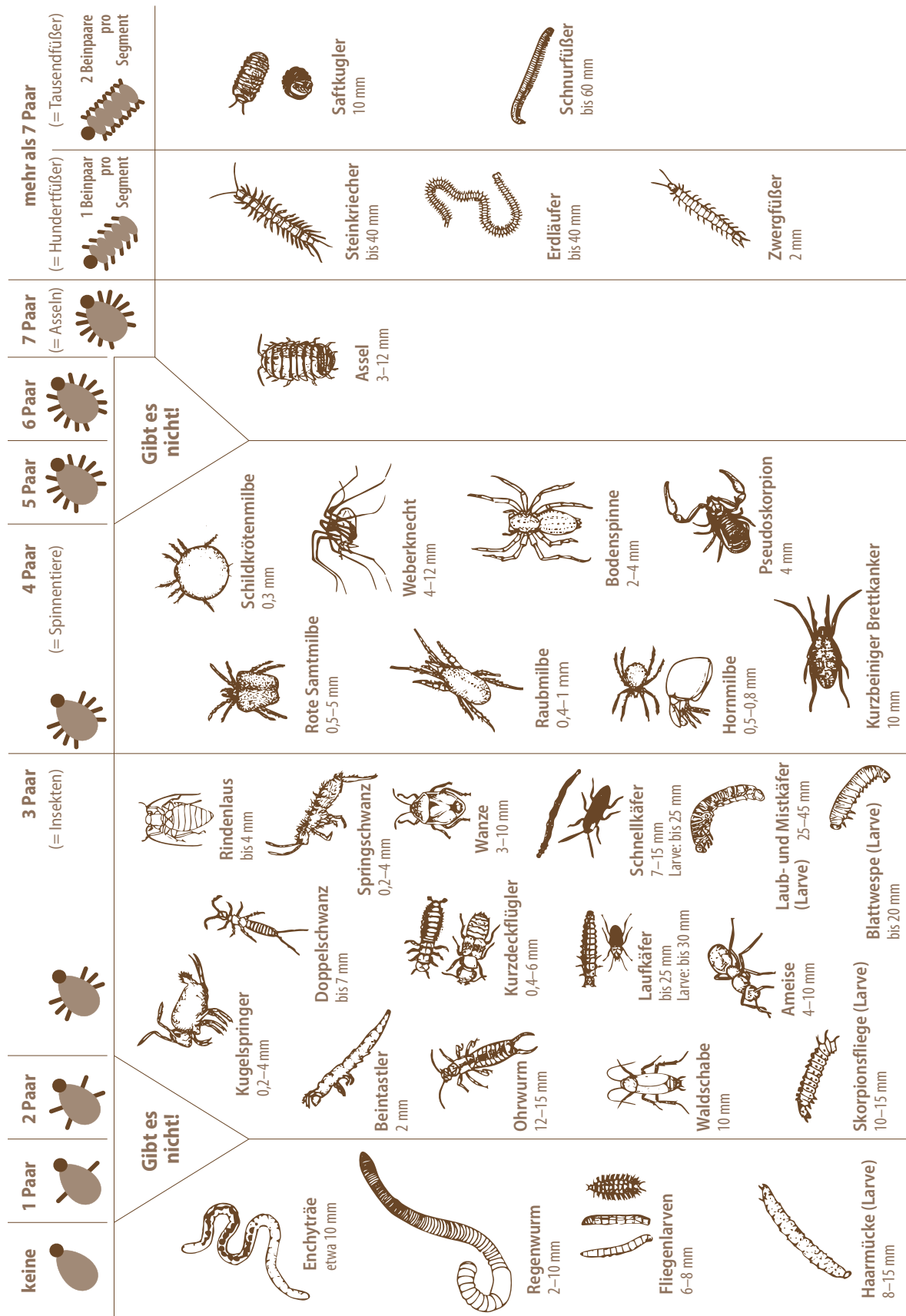


Abbildung B 4.5-1

Bestimmungsschlüssel gängiger Waldbodentiere (Abbildung nach LBV e. V.)

B 5 Bioturbation

Plane eine Untersuchung!

Grundlegende Informationen

Bodenorganismen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Bodenaufbau und die Bodenfruchtbarkeit. Bioturbation beschreibt die Durchmischung des Bodens durch Kleinsäugetiere (wie Mäuse und Maulwürfe), Insekten und vor allem Regenwürmer. Dabei wird der humusreiche A-Horizont des Bodens vergrößert, da organisches Material durch Grabaktivitäten in tiefere Schichten transportiert und mineralische Bestandteile nach oben befördert werden.

Zur Untersuchung dieser Vorgänge eignen sich Regenwürmer hervorragend als Versuchstiere, da sie leicht zu beschaffen und im Vergleich zu Wirbeltieren unkompliziert zu halten sind. Als lebende Organismen erfordern sie jedoch eine respektvolle Behandlung. Daher ist es wichtig, die Lernenden vor den Aktionen über den achtsamen Umgang zu informieren (einschließlich des Anfassens der Würmer mit feuchten Fingern).

In diesem Modul wird der «klassische» Regenwurm-Versuch durchgeführt: Verschiedene, farblich gut unterscheidbare Bodenschichten werden in ein Gefäß gegeben und nach einer gewissen Zeit auf ihre Durchmischung durch Regenwürmer untersucht. Um die eigenständige Recherche der Lernenden zu fördern, wird bewusst auf die Begriffe «Regenwurmglas» oder «Regenwurmaquarium» verzichtet.

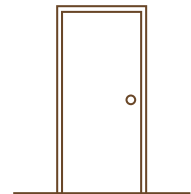
Ziel des Moduls ist es, dass die Lernenden eine eigene Untersuchung entwickeln, um die vorgegebene Hypothese zu überprüfen: «Regenwürmer beschleunigen die Durchmischung des Bodens und damit die Bioturbation.»

Vor der Durchführung von Untersuchungen oder Experimenten muss die Lehrkraft diese im Hinblick auf Tierschutzaspekte prüfen. Die dafür notwendigen Grundlagen sind in der Veröffentlichung «Tiere live» der ANL zu finden. Eine fachliche Überprüfung erfolgt nicht. Auch fehlgeschlagene Experimente können durch Fehleranalysen und Verbesserungen wertvolle Lernerfahrungen bieten.

Sollten die Lernenden mit ihrem Versuchsansatz nicht weiterkommen, stehen Hilfekarten (**Anlage B5.2**) zur Verfügung, die jedoch zeitlich gestaffelt und dosiert ausgegeben werden sollten. Alternativ können sie digital freigeschaltet werden.

Weitere Versuchsvorschriften und Anregungen finden sich in den Publikationen «Tiere live» (ANL und ALP) sowie «Bio? – logisch! Praktisches Arbeiten im Unterricht» der ALP Dillingen (Bestell-Nummer: 506).

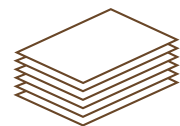
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und
Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- Große, dünnwandige **Kunststoffgefäße** (lebensmittelecht)
- Dunkler, **humusreicher Boden**
- **Heller Sand** oder andere hell gefärbte Bodenarten
- **Luftdurchlässiges Gewebe** zum Abdecken (zum Beispiel **Mull**, **Feinstrumpfhosen**)

QR-Code B 5-1

Aktionshandbuch «Tiere
live – lebende Tiere im
Schulunterricht»
([www.anl.bayern.de/
publikationen/
unterrichtsmaterial/
index.htm](http://www.anl.bayern.de/publikationen/unterrichtsmaterial/index.htm))



Materialien

Die Lernenden entwickeln Modellversuche, wobei die Lehrkraft mit Materialien unterstützt. Eine Lenkung der Lernenden durch gezielte Materialauswahl sollte vermieden werden. Idealerweise nutzen die Lernenden Materialien aus ihrem Haushalt. Geeignete Materialien sind:

- Große, dünnwandige Kunststoffgefäße aus dem Lebensmittelbereich, die leicht zu bearbeiten sind
- Dunkler, humusreicher Boden
- Heller Sand oder andere hell gefärbte Bodenarten
- Luftdurchlässiges Gewebe zum Abdecken (zum Beispiel Mull, Feinstrumpfhosen)

Hinweis: Vorschläge für einen motivierenden Einstieg sind in **Anlage B 5.1** beschrieben.

Beschaffung der Regenwürmer

Die Zugabe der Regenwürmer erfolgt unter Anleitung der Lehrkraft. Als Quelle für Regenwürmer bieten sich folgende Optionen an:

- **Komposthaufen:** Hier finden sich große Mengen von Kompostwürmern (*Eisenia fetida*). Diese sind kleiner und weniger grabaktiv als Tau- oder Erdwürmer, aber für kleinere Versuchsbehälter geeignet.
- **Tiefgrabende Arten:** Tauwürmer (*Lumbricus terrestris*) und Erdwürmer (*Aporrectodea longa*) eignen sich für größere Beobachtungskästen. Diese Arten legen senkrechte Wohnröhren an und tragen aktiv zur Bioturbation bei. Die hellblau gefärbten, mineralbodenbewohnenden Regenwürmer sind nicht geeignet, da sie nicht zur Bioturbation beitragen. Bei diesem Ansatz wird auf Salat und Küchenabfälle verzichtet, dafür verrottete Bodenstreu oder sich zersetzendes, altes Laub locker aufgestreut.
- **Freiland:** Regenwürmer können vorsichtig mit einem Spaten aus dem Gartenboden gegraben werden oder aber durch die Verwendung von mehreren Gießkannen Wasser auf einer Grünfläche an die Oberfläche getrieben werden.
- **Anglerbedarf:** Tauwürmer aus dem Handel sind keine einheimischen Arten und dürfen nicht in die Natur entlassen werden.

Mit dem **Modul W 1 a** stehen weiterführende Informationen zu den verschiedenen Regenwurmgruppen bereit. Die SuS sollten darauf hingewiesen werden, dass die Gefäße im Freien aufgestellt werden müssen und der Inhalt bei Schimmelbildung schnell entsorgt werden sollte.

Durchführung

Der Versuch erstreckt sich über mehrere Wochen und kann im Lernbereich «Wirbellose» gestartet werden. Alternativ sind im **Modul W 11** Versuchsvorschläge für kürzere Zeiträume zu finden.

Ein motivierender Einstieg erfolgt durch statistisches Material zur Bedeutung von Regenwürmern (**Anlage B 5.1**). Die Hypothese, dass Regenwürmer zur Bioturbation beitragen, wird vorgestellt. Die Lernenden planen daraufhin ein eigenes Modellexperiment. Dabei übernimmt die Lehrkraft eine beratende Rolle und sorgt dafür, dass keine tierschutzwidrigen Experimente durchgeführt werden.

Mögliche Produkte der Lernenden

Der zeitliche Verlauf der Experimente wird idealerweise durch Fotos dokumentiert. Beispiele hierfür finden sich in den Abbildungen B 5-3 bis B 5-8.

Aufgaben

(Siehe **Anlage B 5.1**)

Die Hypothese wird durch den Versuch bestätigt oder falsifiziert.

Leistungserhebung

Entfällt



Abbildung B 5-2
Woche 1



Abbildung B 5-3
Woche 2



Abbildung B 5-4
Woche 3



Abbildung B 5-5
Woche 4



Abbildung B 5-6
Woche 5



Abbildung B 5-7
Woche 6

ARBEITSBLATT B 5.1**Zusammenhang zwischen Ernteerträgen und dem Auftreten von Regenwürmern**

Tabelle B 5.1-1
Ernteerträge in Abhängigkeit von Regenwürmern (www.lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bnt/gym/bp2016/fb2/2_mat/1_recycling/2_destruent/3_einstieg/)

ERNTTEERTRÄGE BEI WEIZEN (im Durchschnitt)	OHNE REGENWÜRMER	MIT REGENWÜRMERN
HALMGEWICHT (OHNE ÄHRE)	7,1 g	10,5 g
KÖRNER PRO ÄHRE	60 Stück	110 Stück

In der Landwirtschaft wird immer wieder festgestellt, dass Böden mit vielen Regenwürmern oft sehr gut für die Landwirtschaft geeignet sind und viel Humus enthalten. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Regenwürmer einen essenziellen Beitrag zur Humusbildung und Mineralisierung leisten, indem sie durch ihre Lebensweise den Boden gut durchmischen und dadurch

- den Boden und seine Lebewesen mit mehr Sauerstoff versorgen,
- den Boden für die Wurzeln der Pflanzen lockern,
- den Humusanteil für die Pflanzen durch ihre Grabtätigkeit vergrößern und
- auch mineralische Bestandteile aus dem Untergrund nach oben bringen, welche dann Mineralstoffe für die Pflanzen freisetzen können.

Man nennt diesen Prozess «Bioturbation».

HYPOTHESE

Regenwürmer beschleunigen die Durchmischung des Bodens.

Aufgaben

1. Plane eine naturwissenschaftliche Untersuchung, mit der du diese Hypothese stützen kannst oder verwerfen musst. Dir stehen dabei alle Möglichkeiten (Untersuchung, Experiment, Modellierung) offen. Wenn du nicht mehr weiter weißt, kannst du auch Hilfekarten von deiner Lehrkraft bekommen.
2. Führe ein Protokoll, in dem du den genauen Ablauf und deine Ergebnisse festhältst. Dazu eignen sich Fotos besonders gut.

ANLAGE B 5.2 Hilfekarten



HILFE 1	Lies dir nochmals die Methodenseiten über die Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen in deinem Schulbuch durch.
HILFE 2	Versuche deine Untersuchung so einfach wie möglich zu halten, damit du deine Beobachtungen auch den Regenwürmern zuordnen kannst. Plane also ein Modellexperiment.
HILFE 3	Ein Experiment benötigt immer auch eine Absicherung (Kontrollversuch). Wie musst du diese negative Blindprobe zu deinem Modellexperiment planen?
HILFE 4	Überlege dir Möglichkeiten, wie du die Durchmischung der Bodenschichten verdeutlichen kannst.
HILFE 5	Greife auf verschiedene Bodenarten zurück, die möglichst deutlich voneinander zu unterscheiden sind.
HILFE 6	Beachte, was deine Versuchstiere alles außerdem benötigen, damit es ihnen im Versuchszeitraum gut geht.

B 6 Zersetzung von Materialien im Boden

Grundlegende Informationen

Der Abbau von Materialien im Boden ist ein wichtiger Prozess, der unterschiedlich lange dauern kann. Neben der physikalischen Verwitterung sind vor allem Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze für diese Zersetzungsprozesse verantwortlich. Mit ihren Enzymen beschleunigen sie den chemischen Abbau bestimmter Substanzen. Fehlen diesen Organismen die nötigen Enzyme, dauert der Abbauprozess sehr lange.

Auf der anderen Seite unterscheiden sich verschiedene Böden auch im Hinblick auf die Anzahl und Vielfalt der Lebewesen, die sie bewohnen. Je größer die biologische Vielfalt in den Böden ist, desto höher ist auch die Abbaurrate organischer Materialien.

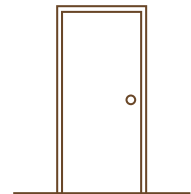
Mit diesem Material sollen anhand von Experimenten mit Alltagschemikalien sowohl die Abbaugeschwindigkeiten für verschiedene Materialien als auch die Aktivität von zersetzenden Organismen in verschiedenen Böden experimentell erforscht werden.

Durchführung

Beide vorgestellten Untersuchungen sind Langzeitexperimente, die mehrere Wochen dauern. Deshalb sollten die beiden Unterrichtsmaterialien als Alternativen angesehen werden. Im Experiment mit den verschiedenen Materialien für eine Biomülltüte reicht eine wöchentliche Kontrolle, die Versuchsansätze mit den Teebeuteln müssen nur am Anfang und am Ende des gesamten Versuchszeitraums betrachtet werden. Der größere Effekt, dass heißt der schnelle Abbau des Materials, erfolgt bei dem Experiment mit den Teebeuteln. Die Durchführung dauert daher zwar lange, ist aber trotzdem mit keinem großen Aufwand für die Lernenden beziehungsweise Lehrkräfte verbunden. Die Darstellung der Ergebnisse in einem Poster, das dann auch zur Leistungserhebung herangezogen werden kann, lohnt sich.

Die Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf die möglichen Ursachen für die unterschiedlichen Beobachtungen bleibt dabei notwendigerweise eher oberflächlich. Im Wesentlichen lässt sich der Abbau jedoch auf eine unterschiedliche biologische Aktivität in den Böden zurückführen. Je größer die Aktivität ist, desto schneller erfolgt der Abbau.

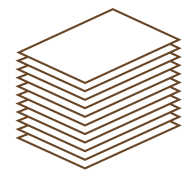
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand

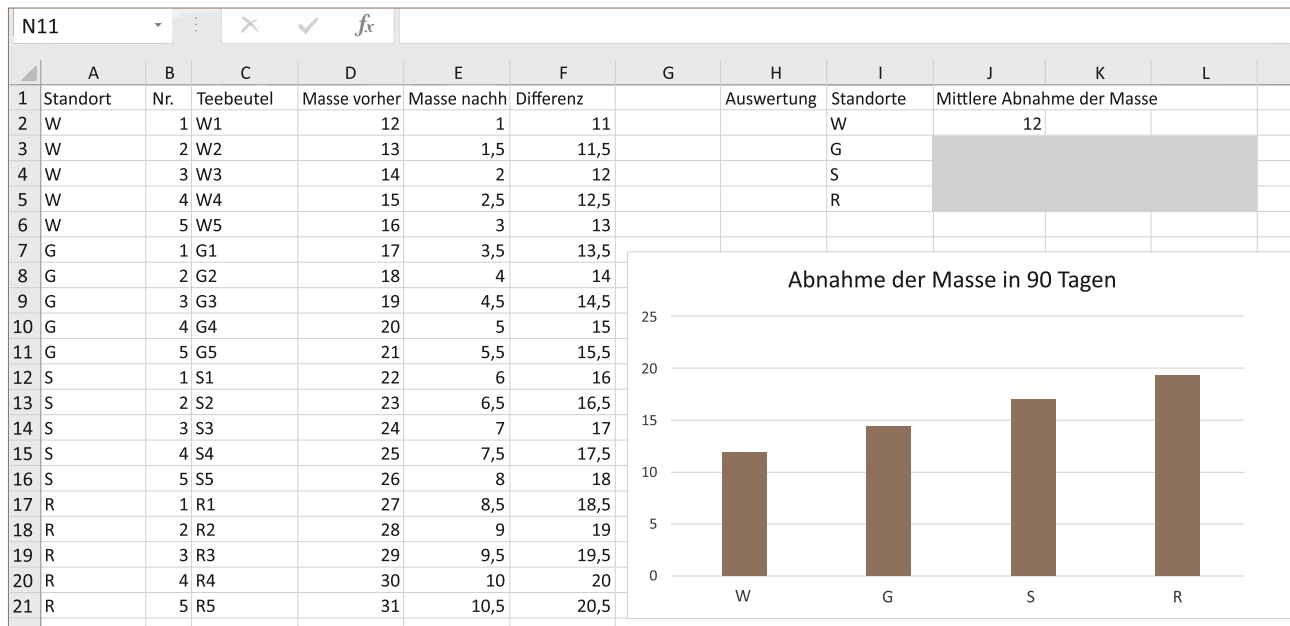


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☒
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- **Anlagen B 6.1 und B 6.2**
- **Plastiktüten** (zum Beispiel Obstbeutel)
- **Biomüllsäcke**
- **Papiertüten**
- **Teebeutel**
- Verschiedene **Bodenproben**
- **Holzstäbe** für Markierungen

**Abbildung B 6-1**

Screenshot einer beispielhaften
Excel-Auswertemappe

Aufgaben

Arbeitsaufträge siehe **Anlagen B6.1** und **B6.2**

Mögliche Produkte der SuS

Planung, Durchführung, Dokumentation und Auswertung der Experimente ist für alle SuS individuell. Grundsätzlich gilt das Prinzip der Variablenkontrolle, das heißt um aussagekräftige Daten zu erhalten, darf immer nur eine Versuchsbedingung variiert werden und alle anderen müssen gleich bleiben.

Abbildung B 6-1 zeigt einen möglichen Screenshot aus einer von SuS im Informatik-Unterricht erstellten Excel-Tabelle, die sehr einfach erstellt werden kann.

Leistungserhebung

Das Versuchsprotokoll könnte zusammen mit den Aufgaben als Teil eines Portfolios bewertet werden.

ARBEITSBLATT B 6.1

Wie abbaubar sind eigentlich Biomüll-Säcke?

Bestimmt sammelt ihr bei euch zu Hause Biomüll getrennt von anderen Abfallstoffen. In vielen Haushalten steht ein Sammelbehälter für Bananenschalen, Reste von Gemüse und Salat, nasses Pulver aus der Kaffeemaschine und noch vieles weitere mehr. Entleert man den Abfall dann auf dem Kompost oder in der Biotonne bleiben immer einige der Abfälle in dem Gefäß kleben.

Um das Gefäß nicht dauernd putzen zu müssen, liegt die Idee nahe, auch die Bioabfälle in einem Sack zu sammeln. Doch welches Material eignet sich für diese Tüten am besten? Plastik, Papier oder doch die speziellen Biomüllsäcke?



Abbildung B 6.1-1
Mit Küchenabfällen gefüllter Komposteimer
(Foto: Thomas Gerl)



Abbildung B 6.1-2
Leerer Komposteimer
(Foto: Thomas Gerl)

Aufgaben

1. Plane eine naturwissenschaftliche Untersuchung, um die drei Materialien im Hinblick auf Ihre Abbaubarkeit im Boden zu testen.
2. Dokumentiere dein Vorgehen unter Mitverwendung von Fotos in einem naturwissenschaftlichen Protokoll.
3. Überlege dir zwei weitere Anforderungen, die das ideale Material zur Aufbewahrung von Biomüll in der Küche erfüllen sollte.
4. Entscheide anhand deiner in der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse, welches Material sich am besten für diesen Verwendungszweck eignet.

ARBEITSBLATT B 6.2

Der Teebeutel-Index

Kein Boden gleicht dem anderen. Einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler behaupten, dass sich die Böden darin unterscheiden, wie schnell in ihnen organisches Material abgebaut wird. Doch stimmt das überhaupt? Mit einem einfachen Experiment lässt sich das überprüfen. Alles, was du dazu brauchst, sind Teebeutel, eine genaue Waage und ein bisschen Geduld.

FORSCHUNGSFRAGE

Wie groß ist die durchschnittliche Zersetzungsrates von organischem Material an vier verschiedenen Standorten (zum Beispiel Waldboden, Ackerboden, Rasenfläche, Sandkasten, Komposthaufen)?

Durchführung

1. Überlege dir vier Versuchsflächen mit möglichst unterschiedlichen Bodeneigenschaften.
2. Beschrifte fünf Teebeutel für jede der vier Versuchsflächen mit einem Kürzel für die Fläche und einer Zahl (zum Beispiel S1 für Sandkasten 1).
3. Ermittle die Masse aller 20 Teebeutel vor dem Experiment und notiere die Werte in der Excel-Liste.
4. Vergrabe je fünf Teebeutel in den Versuchsflächen. Markiere die Stellen so, dass du die Teebeutel später wiederfinden kannst (zum Beispiel mit Schaschlik-Spießen oder Fähnchen).
5. Grabe die Teebeutel nach 90 Tagen wieder aus und lasse sie trocknen (zum Beispiel über Nacht in einem Trockenschrank oder ein paar Tage auf der warmen Fensterbank).
6. Säubere die Teebeutel nach dem Trocknen von anhaftender Erde (mit der Hand, einer Pinzette und einem Pinsel).
7. Ermittle die Masse der getrockneten Teebeutel am Ende des Experiments und trage die Werte in die entsprechende Excel-Liste ein.

Auswertung

1. Erstelle ein Balkendiagramm mit den mittleren Zersetzungsrates in den Böden der vier Standorte.
2. Suche nach einer Erklärung für die unterschiedlichen Zersetzungsrates.
3. Begründe, warum an jedem Standort fünf Teebeutel vergraben wurden und nicht nur einer.
4. Plane ein Experiment, das überprüft, ob die Befunde aus eurer Untersuchung nur für den von euch verwendeten Tee oder auch für ein anderes Ausgangsmaterial gelten.



QR-Code B 6.2-1

Datenbank

«Expedition Erdreich»

(expedition-erdreich.de)

5. Zur Vertiefung: Tragt eure Ergebnisse in die Datenbank des Projekts «Expedition Erdreich» ein (siehe QR-Code), um herauszufinden, wie hoch die Zersetzungsrates in den Böden an euren Standorten im Vergleich zu anderen Böden in Deutschland sind.
6. Formuliere eine weitere Forschungsfrage und eine entsprechende Hypothese, die sich aus deinen Befunden ergeben und die in einer weiteren Untersuchung abgeklärt werden könnten.

B 7 Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen im Boden messen

Grundlegende Informationen

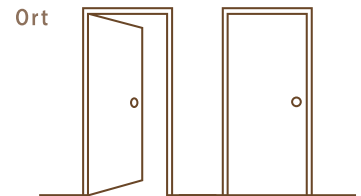
In diesem Modul soll die Stoffwechselaktivität des Bodens erforscht werden. Dabei wird ausgehend vom Phänomen jeweils eine Hypothese erstellt und dann ein Versuchsaufbau von der Klasse entwickelt, mit dem die Hypothese überprüft, gestützt oder verworfen wird. Außerdem sollen die Lernenden auch ihre Versuchsaufbauten verbessern, wenn sie bei der Messung Fehlerquellen finden. Dieses Modul fördert also vor allem Kompetenzen aus dem Bereich Erkenntnisgewinnung, indem es den naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg zeigt und die Lernenden selbst Experimente planen und durchführen.

Die Stoffwechselaktivität von Mikroorganismen gelangt in letzter Zeit vermehrt ins Bewusstsein der Öffentlichkeit. Vor allem der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß trockengelegter Moore wird inzwischen häufig benannt. Oft wird damit die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen im Boden in Verbindung gebracht.

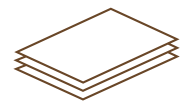
Als experimentelles Vorgehen wird zunächst die «Haubenmethode» nachempfunden. Dabei wird ein Kohlenstoffdioxid-Sensor unter einer möglichst dicht abschließenden Haube auf den Boden gelegt und die Veränderung der Gaskonzentrationen in der Haube gemessen. Der Versuch wird nur qualitativ ausgewertet, da viele Störfaktoren eine quantitative Auswertung sehr kompliziert machen und eine solche deshalb für die 9. Jahrgangsstufe nicht geeignet ist. Kurze Messungen (10 s bis 30 s) sind in der Regel aussagekräftiger, da bei zu langen Messungen zu viele Störeffekte auftreten können. Für die Untersuchung der Bodenatmung müsste eigentlich auch der Sauerstoffverbrauch gemessen werden. Im Versuch hat sich der Sauerstoff-Sensor nicht bewährt. Deswegen wird in diesem Modul nur der CO₂-Sensor verwendet (schnelle und zuverlässige Messungen im ppm-Bereich).

Je nach zur Verfügung stehender Unterrichtszeit kann die Lehrkraft individuell auch nur einzelne Versuche auswählen. Durch die kurze Versuchsdauer ist ausreichend Zeit für die Auswertung und Diskussion (auch mehrerer Versuche) gegeben. Bereits mit einem Versuch kann eine intensive Fehlerdiskussion durchgeführt werden; zum Aufwerfen neuer Fragestellungen und zur Planung weiterer Untersuchungsansätze sind natürlich mehrere Experimente nötig. Die Auswertung beziehungsweise Darstellung der Daten können die Lernenden auch als Hausaufgabe durchführen.

Ausgehend von der Fragestellung «Nimmt die Grünfläche unserer Schule Kohlenstoffdioxid auf oder gibt sie Kohlenstoffdioxid ab?», können mit einem digitalen Kohlenstoffdioxid-Sensor verschiedene Hypothesen erstellt, Untersuchungen geplant und durchgeführt werden.



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☒
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

Ausführliche Materialbeschreibung im Fließtext, da versuchsabhängig

- **Arbeitsblatt B 7.2**
- **Arbeitsblatt B 7.3**

VERSUCHS- NUMMER	HYPOTHESE	DURCHGEFÜHRTER VERSUCH	NEUE FRAGESTELLUNG	
1	Das Grünland in unserem Schulgelände nimmt Kohlenstoffdioxid auf.	CO ₂ -Messung mit der Haubenmethode auf dem Schulgrünland	Verbesserung des Versuchsaufbaus: Welchen Einfluss hat die Photosynthese der Pflanzen?	Bei einer sehr guten Klasse können diese drei Schritte zusammenfallen, wenn sofort erkannt wird, dass die Pflanzendecke als Störquelle ausgeschlossen werden muss.
2	Die Photosynthese der Pflanzen ist nicht entscheidend	CO ₂ -Messung mit der Haubenmethode mit verdunkelter und belichteter Haube	Wer ist für die gemessene CO ₂ -Produktion verantwortlich – der Boden oder die Pflanzenatmung?	
3	Das Kohlenstoffdioxid stammt aus dem Boden.	CO ₂ -Messung mit der Haubenmethode ohne Pflanzenbedeckung	Aus welcher Quelle im Boden stammt das CO ₂ ?	
4	Das Kohlenstoffdioxid stammt aus den Stoffwechselprozessen von Bodenlebewesen.	CO ₂ -Messung im Labor von erhitztem und nicht erhitztem Boden		

Erweiterte Fragestellung mit der Untersuchung unterschiedlicher Standorte:
Warum unterscheidet sich die CO₂-Emission der verschiedenen Böden?

Hypothese:

Je mehr Humus als Kohlenstoffquelle im Boden vorhanden ist, desto mehr abbauender Stoffwechsel durch Bodenlebewesen kann stattfinden. Deshalb wird mehr Kohlenstoffdioxidgas freigesetzt.

Die SuS diskutieren diese Hypothese durch einen Vergleich ihrer Ergebnisse an unterschiedlichen Standorten!
Eventuell führen sie ein weiteres Laborexperiment durch.

Tabelle B 7-1

Mögliche Reihenfolge von Versuchen zur Stoffwechselaktivität des Bodens

Eine vorgeschlagene Reihenfolge der Versuche findet sich in Tabelle B7-1. Eine Diskussion der Ergebnisse und Sicherung erfolgt nach jedem Versuch. Eine weiterführende Fragestellung ergibt sich durch den Vergleich unterschiedlicher Standorte, erfordert aber arbeitsteilige Bearbeitung und ist zeitlich und methodisch anspruchsvoller. Inwieweit die Hypothesenentwicklung durch die SuS selbstständig oder gelenkt stattfindet, ist stark von der Leistungsfähigkeit der Klasse abhängig und muss von der Lehrkraft situativ entschieden werden.

Da die Lernenden selbst Versuche entwickeln oder verbessern sollen, gibt es zu diesem Modul keine Arbeitsblätter; das Heft dient in diesem Fall als Laborbuch.

Materialien

Versuch 1

Kohlenstoffdioxid-Sensor, Klarsichthaube (zum Beispiel durchsichtige Plastikbox), eventuell Reagenzglashalter (zur Aufnahme des Sensors)

Versuch 2

Kohlenstoffdioxid-Sensor, Klarsichthaube und verdunkelte Haube (zum Beispiel passende Pappschachtel), eventuell Reagenzglashalter (zur Aufnahme des Sensors)

Versuch 3

Kohlenstoffdioxid-Sensor, Klarsichthaube (aus Versuch 1 oder 2), eventuell Reagenzglashalter (zur Aufnahme des Sensors); auf dem Messbereich muss der oberirdische Teil der Pflanzendecke entfernt worden sein

Versuch 4

Kohlenstoffdioxid-Sensor, Reagenzglashalter mit großen Reagenzgläsern oder Erlenmeyerkolben, mit denen die Kohlenstoffdioxid-Sensoren dicht abschließen (eventuell sind auch Gefäße im Lieferumfang der Sensoren enthalten, diese müssen aber hitzebeständig sein!), frische Gartenerde oder frischer Kompost, heißes Wasserbad oder Mikrowelle, kaltes Wasserbad.

Erweiterte Fragestellung mit der Untersuchung unterschiedlicher Standorte

Vergleichbare Messwerte oder aber Modellversuch mit Bodenproben aus den untersuchten Bereichen: Kohlenstoffdioxid-Sensor, Reagenzglashalter mit großen Reagenzgläsern oder Erlenmeyerkolben, mit denen die Kohlenstoffdioxid-Sensoren dicht abschließen (eventuell sind auch Gefäße im Lieferumfang der Sensoren enthalten); verschiedene Bodenproben mit unterschiedlichen Humusanteil: Beispielsweise Sand oder Kies, Gartenerde, frischer Kompost.

Als Einstieg kann beispielsweise ein kurzer Ausschnitt aus dem Artikel der Zeitschrift National Geographic verwendet werden (QR-Code B 7-2) bis Zeile: «Dieses setzt dann Nährstoffe frei, die die Pflanzen besser wachsen lassen»; vergleiche Anhang B 7-2).

Alternativ können nebenstehende Veröffentlichungen (QR-Codes) genutzt werden.

Durchführung

Die Lernenden bekommen (eventuell als Hausaufgabe) einen Textausschnitt (Anhang, Schulbuch oder Material oben), der sich mit der Kohlenstoffdioxid-speicherung von Böden beschäftigt. Von dem Material ausgehend, wird eine Hypothese aufgeworfen. Daraus entwickeln die Lernenden einen Versuch zur Überprüfung des Schulgrünlandes auf Kohlenstoffdioxidaktivität. Sie formulieren auch, welche Ergebnisse sie erwarten. Gestaffelte Hilfekarten zu den im Folgenden beschriebenen Versuchen befinden sich im Anhang. Die folgenden Versuche sind Vorschläge; falls Lernende andere Versuchsvorschriften entwickeln, so sollten diese geprüft und möglichst durchgeführt werden. Da eine einzelne Messung maximal eine Minute dauern sollte, kann dies mit einem Sensor im Unterricht durchgeführt werden. Ein Scheitern und die damit erzwungene Neuplanung des Versuchs fördert die Erkenntnisgewinnungskompetenz.

Aufgaben

(Siehe Anlage B7.2)

Leistungserhebung

Keine

QR-Code B 7-2

National Geographic
(www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/05/warum-moore-die-besseren-waelder-sind)



QR-Code B 7-3

Max-Wissen der Max-Planck-Gesellschaft
(www.mpg.de/4705567/kohlenstoffspeicher-boden)



QR-Code B 7-4

YouTube: Kohlenstoffatomkreislauf
(https://youtu.be/KX0mpvA0g0c?si=zILMjLAI_JQpNV76)



LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1

Mögliche Schülerlösungen zu den Versuchen 1–4

Untersuchung von Grünland als Kohlenstoffdioxid-Senke

HYPOTHESE

Das Grünland auf dem Schulgelände bindet Kohlenstoffdioxid. Die Verwendung und der Messbereich des jeweiligen Sensors wird von der Lehrkraft erläutert (inklusive Kalibrierung an der Luft).

Die Lernenden planen jetzt ein Experiment zur Überprüfung der Hypothese.

Ausgangshypothese: Das Grünland in unserem Schulgelände nimmt Kohlenstoffdioxid auf.

Der Versuchsaufbau zur Messung der Kohlenstoffdioxidkonzentration liefert folgendes beispielhaftes Ergebnis:

VERSUCH 1

Kohlenstoffdioxid-Konzentration mit Lichteinfluss

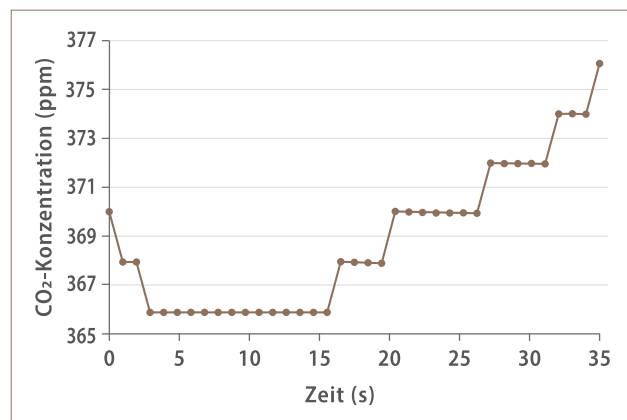


Abbildung B 7.1-1

Einfacher Versuchsaufbau zur Messung der Stoffwechselaktivität auf dem Schulgelände
(Foto: Florian Bernhard)

Beim Versuchsaufbau 1 wurde die Photosynthese der Pflanzen als Störquelle nicht berücksichtigt und sollte ausgeschlossen werden.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1 (Fortsetzung)

Mögliche Schülerlösungen

Folgefrage:

Welchen Einfluss hat die Fotosynthese der Pflanzen?

(Diese Frage muss unter Umständen von der Lehrkraft aufgeworfen werden)

Folgehypothese:

Die Photosynthese der Pflanzen ist nicht entscheidend.

VERSUCH 2

Kohlenstoffdioxid-Konzentration ohne Lichteinfluss

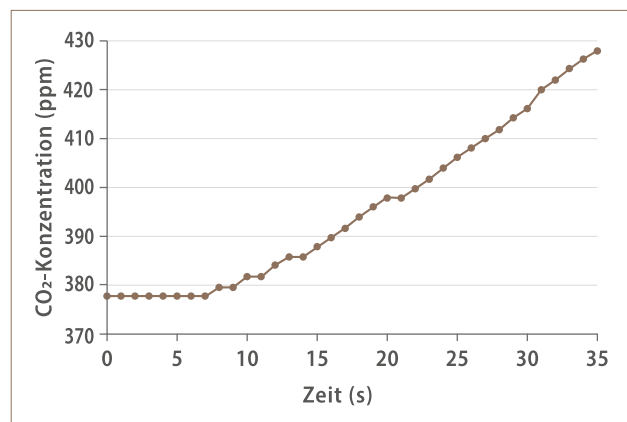


Abbildung B 7.1-2

CO₂-Sensor unter einer verdunkelten Haube/Pappkarton (Foto: Florian Bernhard)

Die Photosynthese ist bei diesem Versuch ausgeschlossen, jedoch bleibt die Pflanzenatmung als mögliche Kohlenstoffdioxidquelle.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1 (Fortsetzung)

Mögliche Schülerlösungen

Folgehypothese:

Das Kohlenstoffdioxid stammt aus dem Boden.

Der Versuchsaufbau zum Ausschluss der Pflanzendecke liefert ein Ergebnis wie in Versuch 3. Dabei sollten möglichst alle Parameter zum Vorversuch konstant gehalten werden, nur der Faktor Pflanzendecke wird verändert.

VERSUCH 3

Kohlenstoffdioxid-Konzentration ohne Bewuchs

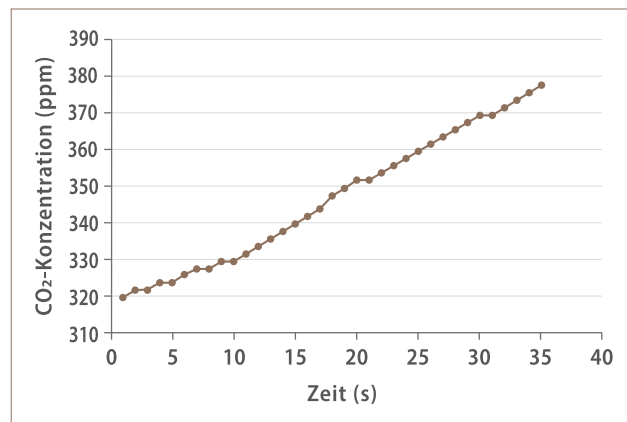


Abbildung B 7.1-3

Einfacher Versuchsaufbau zur Messung der Stoffwechselaktivität auf dem Schulgelände (nun ohne Pflanzendecke; Foto: Florian Bernhard)

Die Pflanzendecke kann bei diesem Versuchsaufbau als Fehlerquelle ausgeschlossen werden. Die Quelle des Kohlenstoffdioxidgases ist der Boden. Im nächsten Versuch soll nun eine genauere Bestimmung der Herkunft erfolgen.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1 (Fortsetzung)

Mögliche Schülerlösungen

Hypothese 4:

Das Kohlenstoffdioxid stammt aus den Stoffwechselprozessen von Bodenlebewesen.

Der Versuchsaufbau zum Nachweis der Stoffwechselaktivität von Bodenlebewesen liefert folgendes beispielhaftes Ergebnis (hier: Nachweis durch Entfernen der Komponente: Hitzedenaturierung der Lebewesen):

VERSUCH 4

Kohlenstoffdioxid-Konzentration ohne Bewuchs

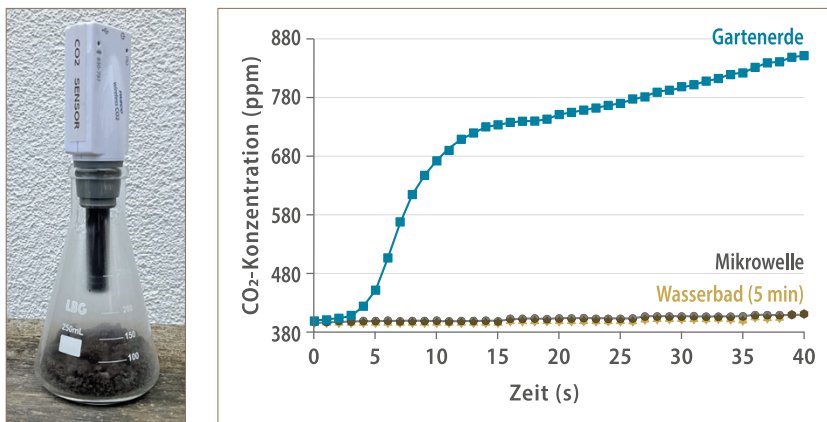


Abbildung B 7.1-4

Messung der Bildung von Kohlenstoffdioxid in Bodenproben (Foto: Florian Bernhard)

HINWEIS

Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Bodenprobe bei der Messung wieder Raumtemperatur hat (zum Beispiel durch Kühlung in einem kalten Wasserbad), da sonst durch die Abkühlung ein Unterdruck entstehen kann, der die Messwerte verfälscht.

Die erhitzte Bodenprobe emittiert kein weiteres Kohlenstoffdioxid. Dies ist ein starker Hinweis, dass das Kohlenstoffdioxid durch biologische Prozesse freigesetzt wird. Durch die Denaturierung hört die Kohlenstoffdioxid-Emission auf. Chemische Prozesse würden durch die Temperaturerhöhung nicht beeinflusst werden und danach unvermindert weiterlaufen.

Falls als Einstieg das **Arbeitsblatt B 7.2** verwendet wurde, sollte jetzt wieder die Besonderheit der Moore besprochen werden. So verstehen die Lernenden auch die Wichtigkeit der Wiedervernässung von Feuchtbiotopen als positive Reaktion auf die Klimakrise.

LÖSUNGSVORSCHLAG B 7.1 (Fortsetzung)

Mögliche Schülerlösungen

Versuch zur erweiterten Fragestellung

Wenn mehrere Gruppen verschiedene Böden im Schulgelände getestet haben, so kann jetzt durch den Vergleich der Messreihen und der mitgebrachten Bodenproben eine Korrelation zwischen Kohlenstoffdioxid-Emission und der Färbung der Bodenprobe festgestellt werden.

Dies kann zur Hypothese führen, dass die Kohlenstoffquelle für die Stoffwechselvorgänge der Humus ist.

Zu dieser Hypothese muss unter Umständen kein neuer Versuch geplant werden, wenn verschiedene Böden im Schulgelände getestet wurden. Um jedoch möglichst viele Variablen auszuschalten, kann diese Hypothese auch unter Laborbedingungen geprüft werden.

VERSUCHSAUFBAU

Kohlenstoffdioxid-Produktion verschiedener Bodenarten

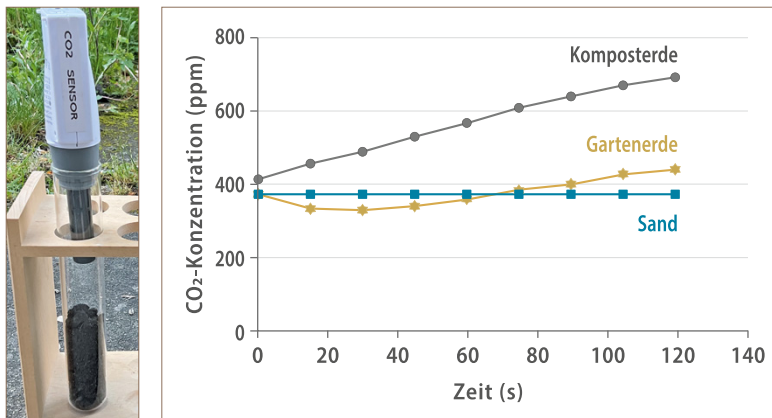


Abbildung B 7.1-5

Versuchsaufbau zur Messung der Kohlenstoffdioxid-Produktion verschiedener Bodenproben (Komposterde, Gartenerde und Sand), hier Gartenerde (Foto: Florian Bernhard)

ARBEITSBLATT B 7.2

Warum Moore die besseren Wälder sind

Aufgaben

1. Lies den untenstehenden Text und beschreibe die Bedeutung von Böden für den Kohlenstoffatomkreislauf.
2. Entwickle einen Versuchsaufbau mit Hilfe eines Kohlenstoffdioxid-Sensors, mit dem du überprüfen kannst, ob auch das Grünland auf dem Schulgelände als Kohlenstoffdioxid-Speicher dient.

Warum Moore die besseren Wälder sind

Dass gesunde Wälder CO₂ binden und somit lebenswichtig für uns Menschen sind, ist inzwischen eindeutig belegt. Immer mehr Umweltschutzorganisationen fordern daher Maßnahmen für den Erhalt dieser wertvollen Ökosysteme. Ein anderer, ebenso unverzichtbarer Lebensraum steht weitaus seltener im Zentrum der Diskussion: Das Moor. Dabei ist auch dieses Ökosystem durch Entwässerung, Torfabbau und Bebauung in großer Gefahr – obwohl es in seiner Funktion als Kohlenstoffspeicher in Hinblick auf die Effizienz Wälder sogar überholt.

Eine neue Studie betont nun den Status der weltweiten Feuchtgebiete als kohlenstoff-speichernde Hotspots – und warnt vor ihrem Verlust. «Obwohl Feuchtgebiete nur ein Prozent der Erdoberfläche bedecken, speichern sie 20 Prozent des globalen organischen Ökosystem-kohlenstoffs», schreiben die Forschenden. Jährlich ginge jedoch ein Prozent dieser Flächen durch menschlichen Einfluss verloren – eine alarmierende Rate.

Die Studie, die in Zusammenarbeit des Niederländischen Instituts für Meeresforschung mit den Universitäten Utrecht, Groningen, Radboud und Greifswald entstand, beschäftigt sich darum auch mit der Frage, wie verloren gegangene Feuchtgebiete wiederhergestellt werden können – und verweist mit Blick auf das Problem der globalen Erwärmung auf die Dringlichkeit rettender Maßnahmen. «Solche Vorgaben sind bei der Verfolgung der Ziele des Pariser Abkommens und der UN-Dekade zur Wiederherstellung von Ökosystemen enorm wichtig», schreiben die Forschenden.

Unterschätzte Ökosysteme

Neben Mooren zählen auch Salz- und Seegraswiesen sowie Mangrovenwälder und Torfgebiete zu den untersuchten Feuchtgebieten. Ihre enorme CO₂-Speicherkapazität übersteigt die von Ozeanen um ein Vielfaches. Im Vergleich zu Wäldern sind sie fünfmal so effizient.

Der Grund dafür liegt der Studie zufolge in dem perfekten Zusammenspiel der verschiedenen Lebensformen des Ökosystems Moor. «Ein entscheidender Fortschritt beim Verständnis der Funktionsweise von Feuchtgebieten war die Anerkennung der Rolle gegenseitiger Wechselwirkungen zwischen Organismen und Landformen», erklärt Ralph J. M. Temmink vom Copernicus Institute of Sustainable Development der Universität Utrecht. Diese sogenannten biogeomorphen Rückkopplungen sorgen dafür, dass sich das Wachstum der Pflanzen und die Ablagerung von Kohlenstoff im Boden gegenseitig stimulieren.

Die Rückkopplungen werden also durch die Vegetation selbst erzeugt: Die Pflanzen halten mit ihrem oberirdischen Blattwuchs und ihrer unterirdischen Wurzelmatte abgestorbenes Pflanzenmaterial zurück. Dieses setzt dann Nährstoffe frei, die die Pflanzen besser wachsen lassen.

Quelle:

www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/05/warum-moore-die-besseren-waelder-sind

ANLAGE B 7.3

Hilfekarten



Versuch 1 HILFE 1	Plane einen Versuchsaufbau, mit dem messbar wird, wie sich die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Luft verändert, wenn der Boden Kohlenstoffdioxid aufnimmt. Dazu musst du einen Messraum definieren, indem du ihn begrenzt.
Versuch 2 HILFE 1	Welche Prozesse können für ein Absinken der Kohlenstoffdioxid-Konzentration verantwortlich sein? Kannst du sie voneinander getrennt messen oder diesen Prozess stoppen?
Versuch 2 HILFE 2	Versuche alle Variablen möglichst konstant zu halten; ändere nur eine Variable (in der Regel durch Ausschluss!).
Versuch 3 HILFE 1	Gibt es bei deiner Messung mehrere Kohlenstoffdioxid-Quellen? Kannst du sie voneinander getrennt messen?
Versuch 3 HILFE 2	Ändere die Variable «Pflanzendecke», indem du sie entfernst oder eine Stelle in der Nähe suchst, bei der sie fehlt (zum Beispiel ein Blumenbeet). Dabei sollten die anderen Außenfaktoren möglichst gleich bleiben.

ANLAGE B 7.3 (Fortsetzung)

Hilfekarten



Versuch 4 HILFE 1	Beachte die allgemeinen Regeln des Experiments (vergleiche Hilfe 2 bei Versuch 2). Finde einen Weg, die Kohlenstoffdioxidbildung durch Lebewesen zu unterbinden (Tipp: denke an die Konservierungsmethoden gegen Mikroorganismen in deinem Biologieunterricht).
Versuch 4 HILFE 2	Beachte die allgemeinen Regeln des Experiments (vergleiche Hilfe 2 bei Versuch 2). Enzyme sind maßgeblich an den Stoffwechselprozessen von Lebewesen beteiligt. Diese sind sehr hitzeempfindlich, daher gibt es die Konservierungsmethode «Einkochen».
Erweiterte Fragestellung HILFE 1	Falls du die Messwerte der verschiedenen Böden nicht miteinander vergleichen kannst, da zu viele Umgebungsvariablen unterschiedlich waren, plane ein Laborexperiment, mit dem du möglichst viele Variablen konstant halten kannst.
Erweiterte Fragestellung HILFE 2	Beachte die allgemeinen Regeln des Labor-Experiments (vergleiche Hilfe 2 bei Versuch 2). Messe die Kohlenstoffdioxidprobe eines humusfreien Substrats (zum Beispiel Sandboden aus der Sprungkiste) und anderer verschiedener humushaltiger Böden beziehungsweise Kompost als reinem Humus. Es gilt eine einfache Regel: Je dunkler die Farbe des Bodens ist, umso mehr Humus enthält er. Finde eine Korrelation zwischen einer verbliebenen Variablen der verschiedenen Böden und deinen Messwerten!

B 8 Wurzelkino

Grundlegende Informationen

Wurzeln spielen eine wichtige Rolle in den Ökosystemen der Erde. Sie sind die zentralen Transportachsen, über die Stoffe sowohl vom Boden in die Pflanzen als auch aus den Pflanzen und der Atmosphäre in den Boden gelangen. Während der Transport, zum Beispiel von Wasser und Mineralstoffen, aus dem Boden in die oberirdischen Teile der Pflanze bekannt sein sollte, sind die Transportvorgänge in den Boden hinein weniger bewusst und seltener Bestandteil des Unterrichts.

In die Wurzeln gerichtete Stofftransporte sind vielfältig, werden aber in ihrem Umfang meist unterschätzt. Sie stellen eine wichtige Basis für alle Konsumenten im Ökosystem Boden dar. Einige wichtige Transportprozesse sind:

- Transporte von oberirdisch erzeugten primären und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen
- Transport von Sauerstoff in den Boden
- Die Erleichterung des Wasserflusses im Boden
- Stoffaustausch zwischen Wurzel und Boden
- Die aktive Abgabe von Pflanzenmetaboliten in die Umgebung (= Rhizodeposition)

Wurzeln tragen somit zur Bodenfruchtbarkeit bei und bieten Lebensraum sowie Nahrung für eine Vielzahl von Organismen. Darüber hinaus verhindert das Wurzelsystem Erosion und unterstützt den Wasserrückhalt in der Fläche. Außerdem binden Pflanzen Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre und speichern Kohlenstoffverbindungen dauerhaft im Boden. Dies wirkt dem Klimawandel entgegen (siehe **Modul B11**).

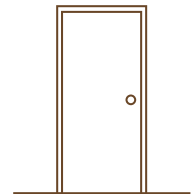
Zielsetzung

Dieses Modul kann je nach Durchführung folgende Aspekte veranschaulichen:

- Ausmaß des Wurzelwachstums
- Geschwindigkeit des Wurzelwachstums
- Charakteristische Wurzelsysteme verschiedener Lebensformtypen gegenüberstellen

Das Modul kann schüleraktivierend für Langzeitbeobachtung genutzt werden (Variante 1) oder dient der Lehrperson als Demonstrationsobjekt (Variante 2).

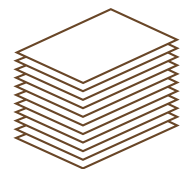
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

Ausführliche Materialbeschreibung im Fließtext, da versuchsabhängig

- **Anlage B 8.1**
- **Anlage B 8.2**

QR-Code B 8-1

Montagevideo für den Ständer
(<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-001.mp4>)



Zudem kann zur Veranschaulichung verschiedener Bodentypen ein regionaltypisches Bodenprofil mit der zugehörigen Vegetation im Wurzelkino der Variante 2 nachgebildet werden und auch als Demonstrationsobjekt für **Modul B 2** dienen.

Materialien**Variante 1 – Rhizobox**

Das Wurzelkino kann als sogenannte «Rhizobox» (siehe Abbildung B 8-2) für das Schullabor fertig in den unterschiedlichsten Größen (DIN A5 bis DIN A3) gekauft und als Langzeitexperiment genutzt werden. Für den schulischen Gebrauch ist das DIN-A4-Format im Klassenzimmer gut nutzbar und für die SuS sehr gut handhabbar.

Zur standsicheren Aufstellung der Rhizoboxen mit der optimalen Neigung von 50° (Erläuterung siehe **Anlage B 8.2**) bieten die Hersteller Fünffachständer an. Für die im schulischen Umfeld wohl eher einzeln verwendeten Rhizoboxen lassen sich diese Ständer leicht selbst anfertigen. Entsprechende bemaßte Planskizzen für den Eigenbau finden sich in Anlage B 8.2. Ein Montagevideo für den Ständer finden Sie auf dem YouTube-Kanal der ANL oder können Sie hier herunterladen.



Abbildung B 8-2
Rhizobox DIN A4 (Foto: German Weber)



Abbildung B 8-3 (links)
Rhizobox – Frontansicht mit Abdeckung, mit rund drei Wochen alten Bohnenpflanzen (Foto: German Weber)



Abbildung B 8-4 (rechts)
Rhizobox – Frontansicht ohne Abdeckung mit Blick auf die Wurzeln (Foto: German Weber)



Abbildung B 8-5 (links)
Wurzelkino mit Abdeckplatte
(Foto: German Weber)

Abbildung B 8-6 (rechts)
Wurzelkino, offen (Foto:
German Weber)

Variante 2 – Wurzelkino

Als Blickfang für den Schulhof kann ein Wurzelkino auch in deutlich größerem Maßstab selbst gebaut werden. Ein Vorteil der größeren und beeindruckenderen Selbstbauvariante ist die dauerhafte Aufstellung im Freien, die den SuS einen Zugang jederzeit ermöglicht, um dieses Thema ins Bewusstsein zu rücken.

In Anlage B 8.1 finden sich Planskizzen mit detaillierten Materialangaben für den Nachbau. Das in Abbildungen B 8-5 und B 8-6 gezeigte Wurzelkino hat eine Größe von 90 cm × 120 cm × 12 cm (B × H × T).

Durchführung

Variante 1 – Rhizobox

VORBEREITUNG DURCH LEHRKRÄFTE ODER SuS

1. Substrat:
Feinkrümelige, torffreie Blumenerde oder natürlicher Oberboden
2. Rhizobox mit Substrat füllen und auf der Oberfläche vereinzelte Samen ansähen. Denkbar sind Bohnen, Grassamen, Wildblumensamen, Getreidesamen oder kleine Pflanzzwiebeln. Die Wahl der Pflanzen sollte sich an der Jahreszeit, dem Lebensumfeld der SuS und gegebenenfalls der regionalspezifischen Vegetation orientieren. Es ist auch möglich, die Rhizobox mit bereits angezogenen Pflanzen zu besetzen. Dabei ist darauf zu achten, die bereits vorhandenen Wurzeln bei der Entnahme nicht zu beschädigen. Dies kann am besten durch Ausschwemmen der Wurzelballen erreicht werden. Bei der Verwendung von Topfpflanzen, zum Beispiel im Biomarkt erhältlichen Küchenkräutern, kann zudem das Pflanzsubstrat der Topfpflanzen direkt für die Befüllung der Rhizobox wiederverwendet werden.

QR-Code B 8-7

Ein kurzes Video, das den Bewuchs und das Wurzelwachstum im ersten Jahr zeigt, finden Sie auf dem YouTube-Kanal der ANL oder zum direkten runterladen:
<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-002.mp4>



QR-Code B 8-8

Ein Montagevideo gibt es auf dem YouTube-Kanal der ANL oder zum direkten herunterladen:
<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-003.mp4>



3. Plexiglasscheibe mit Abdeckung bedecken und mit Vielzweckklemmen (oder Haushaltsgummis) fixieren (dadurch werden das Wurzelwachstum beeinträchtigende Lichteinflüsse verhindert).
4. Rhizobox mit 50°-Neigung aufstellen. Die geneigte Aufstellung begünstigt, dass durch den in der Box entstehenden Feuchtgradienten und die Schwerkraft die Wurzeln angeregt werden, an der Plexiglasscheibe sichtbar entlangzuwachsen.

DURCHFÜHRUNG DES VERSUCHES

1. Beobachtung und Dokumentation des Wurzelwachstums im Wochenrhythmus während der Biologiestunden
2. Dokumentation über Skizzen, Fotos oder Scans (beim verwendeten DIN-A4-Format kann die Rhizobox auf einen Scanner gelegt und abgescannt werden)

ANMERKUNG

Falls mehrere Rhizoboxen an einer Schule vorhanden sind, bieten sich zusätzlich Vergleiche mit unterschiedlichem Substrat, unterschiedlichen Pflanzen, unterschiedlichen Düngemittelgaben oder Pflanzdichten an.

Variante 2 – Wurzelkino

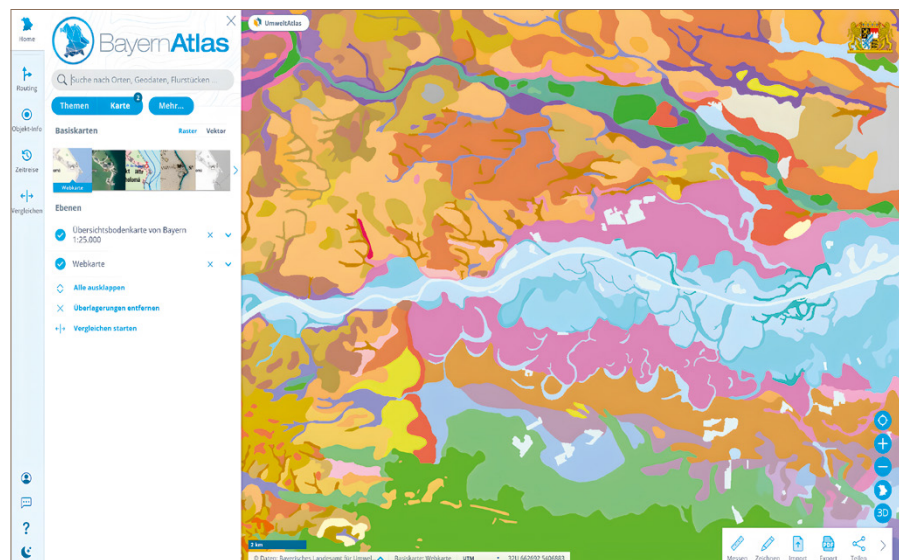
Befüllung des Wurzelkinos (einmalige Vorbereitung durch die Lehrkraft oder eine SuS-Gruppe):

1. Recherche zu regionaltypischen Bodenprofilen

Information zu den regionaltypischen Bodentypen finden sich im **BayernAtlas Kartenviewer des Freistaates Bayern** – dargestellt in Abbildung B 8-9 am Beispiel Neuburg an der Donau. Um unkompliziert an Ihrem Schulort zu navigieren, wird der Ortsname im Suchfeld eingegeben. Die Erläuterung zum Bodentyp wird beim Klick auf den gewünschten Bereich eingeblendet.

Abbildung B 8-9

Kartenausschnitt des BayernAtlas (<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=umwe&bgLayer=atkis&catalogNodes=110&layers=bb0343f9-43b6-450e-a1b5-019600eeb565&E=661908.07&N=5401001.57&zoom=8>)



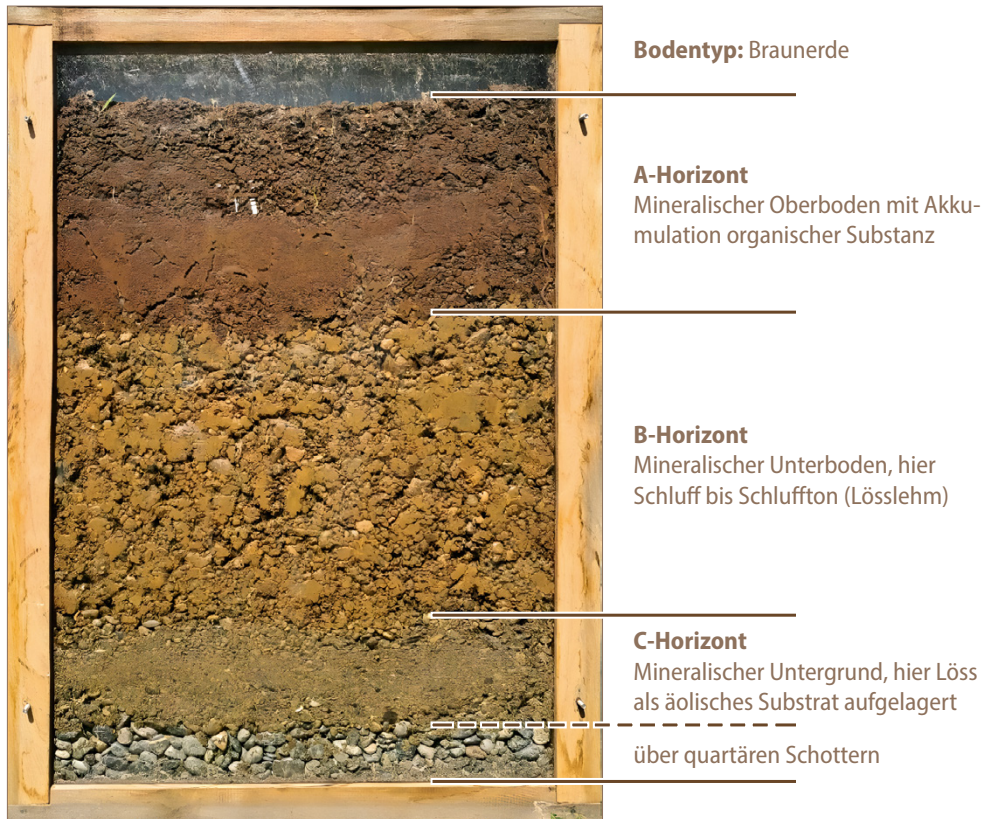


Abbildung B 8-10
Wurzelkino mit regionaltypischem Bodenprofil, hier die Nachbildung einer Braunerde aus dem Illertal bei Memmingen. Aus didaktischen Gründen werden der B- und C-Horizont verkürzt dargestellt (Foto: German Weber).

2. Nachbildung eines regionaltypischen Bodenprofiles

Mit einer Schülergruppe oder mit Unterstützung durch den Hausmeister der Schule wird das Wurzelkino am Standort aufgestellt und gegen Umfallen gesichert. Direkt am endgültigen Standort wird dann das regionaltypische Bodenprofil im Wurzelkino nachgebildet. Dabei werden, je nach Bodentyp, die Schichtdicken der einzelnen Horizonte sicherlich räumlich verkürzt dargestellt, um von der Streuschicht bis zum C-Horizont alle Horizonte zeigen und besprechen zu können. Am unten offenen Fuß des Wurzelkinos sollte der direkte Kontakt zum natürlichen Boden am Standort hergestellt werden, um biologische Vorgänge (zum Beispiel die Einwanderung von Bodenlebewesen) und physikalische Prozesse (zum Beispiel vertikaler Wassertransport) im Wurzelkino zu ermöglichen.

3. Bepflanzung und Pflege des Wurzelkinos

Die oben offene Oberseite des Wurzelkinos wird mit einer regionaltypischen, autochthonen Blütmischung für Wiesen der Region eingesät, die zum Bodentyp passt. Dabei sollten zu gleichen Teilen sowohl Gräser als auch Kräuter verwendet werden, um im Verlauf der Jahre die unterschiedlichen Wurzelsysteme verschiedener pflanzlicher Lebensformtypen zu zeigen. Auch die Pflanzung von in Töpfen vorgezogenen Kräutern, Gräsern, Stauden oder Sträuchern, die für den simulierten Lebensraum charakteristisch sind, ist denkbar. Sowohl bei der Einsaat als auch bei einer Pflanzung ist auf guten Bodenkontakt und ausreichende Wasserversorgung zu achten. Nach der ersten Etablierung der Initialpflanzen sollte zur Simulation der Streuschicht beispielsweise Laubstreu aufgebracht werden.

Die Pflege orientiert sich am simulierten Bewirtschaftungstyp. Beispielsweise bei einem mesophilen Grünland auf eine zweimalige «Mahd» oder bei einem fränkischen Sandmagerrasen auf eine einmalige «Mahd» (jeweils mit der Schere vorzunehmen). Wenn die Lehrkraft beispielsweise die Effekte einer Weide simulieren will, sollten bevorzugt die Gräser mehrfach im Jahr selektiv und zeitlich verteilt geschnitten oder abgezapft werden, ganz so wie eine Kuh das Gras fressen würde. Auch hier sind der Fantasie bis hin zum Ausbringen eines gesammelten Kuhfladens keine Grenzen gesetzt.

Zusätzliches Düngen oder Gießen ist nicht notwendig und sollte unterlassen werden, da dies die natürlichen Prozesse im Wurzelkino eher stört als fördert. Beispielsweise führt häufiges Gießen oder zu mineralstoffreiches Substrat zu unnatürlich flachen und biomasse-armen Wurzelsystemen.

4. Einsatz im Unterricht

Bei einem kurzen Unterrichtsgang in den Schulhof werden die beiden Lichtschutzabdeckungen abgenommen. Das Wurzelkino dient als Demonstrationsobjekt. Erläuterungen der Lehrkraft und Beobachtungsaufträge zum Bodenprofil oder den sichtbaren Wurzelsystemen dienen der Wissensvermittlung und dem Erkenntnisgewinn.

Aufgaben

Variante 1 – Rhizobox

1. ARBEITSAUFTRAG

Beobachte und dokumentiere das Wurzelwachstum (Skizze, Fotos, Scans) im Wochenrhythmus. Erfasse die Geschwindigkeit des Wurzelwachstums, interpretiere deine Beobachtungen und stelle die Ergebnisse grafisch dar.

LERNPRODUKT

- Serie von **maßstabsgerechten** Skizzen (Fotos, Scans) mit den erforderlichen protokollrelevanten Angaben: Datum, korrekte Maßstabsangabe auf dem Bild, Pflanzenart, Besonderheiten und so weiter
- Messung der Wuchsstrecken am Bild und Umrechnung in eine Geschwindigkeit mit passender Dimension, beispielsweise [mm/Woche]
- Darstellung in einem geeigneten Diagramm, das die Geschwindigkeit des Wurzelwachstums darstellt: Denkbar ist sowohl Strecke/Zeit als auch Geschwindigkeit/Zeit

2. ARBEITSAUFTRAG

Als Dokumentationsform sind Skizzen, Fotos oder Scans denkbar. Diskutiere die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden. Begründe deine Wahl der Dokumentationsform.

LERNPRODUKTE

- Skizze
 - › Sehr zeitaufwendig
 - › Sehr stark vom Bearbeiter abhängig
 - › Hervorhebung wichtiger Details möglich
 - › Lichteinfluss auf Wurzeln während Dokumentation: Lange andauernd

- Foto
 - › Schnelle Methode
 - › Je nach Qualität der Kamera unterschiedlich detailgenau
 - › Lichteinfluss auf Wurzeln während Dokumentation: Nur kurzzeitig
- Scan
 - › Schnelle Methode
 - › Detailgenau mit wenig Lichtreflexen im Bild
 - › Lichteinfluss auf Wurzeln während Dokumentation: Sehr kurzer, aber starker Lichteinfluss
- Individuelle Begründung der Wahl

3. ARBEITSAUFTRAG

Recherchiere mit einer internetbasierten KI über das Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse ausgewählter Pflanzen verschiedener Lebensformtypen, wie zum Beispiel Gräser, Kräuter oder Bäume, und stelle das Ergebnis tabellarisch dar.

LERNPRODUKT

Tabellarische Darstellung:

PFLANZENART	OBERIRDISCHE BIOMASSE [g]	UNTERIRDISCHE BIOMASSE [g]
Eiche	50–10.000	5.000–200.000
Gras	1–1.000	100–1.000
Mais	100–1.000	100–2.000
Weizen	50–1.000	200–2.000
Tomate	50–500	50–500
Kartoffel	50–500	500–2.000
Karotte	1–10	10–100
Rote Beete	10–100	50–500

FRAGE: Gibt es Zahlen zur oberirdischen Biomasse und der unterirdischen Wurzelmasse verschiedener Pflanzen? Kannst du mir hierzu eine Tabelle erstellen?

Antwort ChatGPT: Ja, es gibt Unterschiede in der Verteilung der oberirdischen und unterirdischen Biomasse verschiedener Pflanzenarten. Allerdings kann dies stark variieren, abhängig von den Wachstumsbedingungen und Umweltfaktoren. Es ist wichtig zu beachten, dass die Werte in der Tabelle nur allgemeine Schätzungen sind und stark von Faktoren wie Wachstumsbedingungen, Umweltfaktoren und der Sorte oder Art der Pflanze abhängen können.

FRAGE: Kannst du mir Quellen für diese Zahlen nennen?

Antwort ChatGPT: Die Werte in der Tabelle stammen aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien und Quellen. Hier sind einige der Quellen, die ich verwendet habe:

PREGITZER, K. S., DEFOREST, J. L., BURTON, A. J., ALLEN, M. F. & RUESS, R. W. (2002): Fine root architecture of nine North American trees. – Ecological Monographs, 72(2): 293–309.

JACKSON, R. B., MOONEY, H. A. & SCHULZE, E. D. (1997): A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. – *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(14): 7362–7366.

OSTONEN, I., PÜTTSEPP, Ü., BIEL, C., ALBERTON, O., BAKKER, M. R., LÖHMUS, K. et al. (2011): Specific root length as an indicator of environmental change. – *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 145(4): 845–858.

HODGE, A. (2004): The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. – *New Phytologist*, 162(1): 9–24.

Variante 2 – Wurzelkino

1. ARBEITSAUFTRAG

Beschreibe die Charakteristika des vorgestellten Bodentyps

LERNPRODUKT

- Angabe des präsentierten Bodentyps mit fachsprachlich korrekter Benennung und Beschreibung der einzelnen Bodenhorizonte und der dort ablaufenden Prozesse.

2. ARBEITSAUFTRAG

- Skizziere die Wurzelsysteme von zwei vorgestellten Pflanzen und hebe die Unterschiede hervor.

LERNPRODUKT

- Skizzen von zwei Wurzelsystemen, bei denen die Unterschiede in passender Weise hervorgehoben sind.

3. ARBEITSAUFTRAG

- Vergleiche die «Menge» an oberirdischer und unterirdischer Biomasse für eine Pflanze. Plane ein Verfahren, wie du die oberirdische und unterirdische Biomasse möglichst fehlerfrei erfassen kannst und diskutiere die Grenzen deiner Methode.

LERNPRODUKT

- Beschreibung einer Methode zur möglichst vollständigen Entnahme einer Pflanze und der darauffolgenden Massebestimmung. Insbesondere die Entnahme der Wurzelbestandteile lässt sich nur destruktiv (unter Zerstörung des Bodentyps im Wurzelkino) realisieren. Dazu müsste das (durch den Boden) sehr schwere Wurzelkino vorsichtig mit einer Sichtseite auf den Boden gelegt und eine Plexiglasscheibe entnommen werden. Das Wurzelsystem wird dann durch vorsichtiges Ausschwemmen des Wurzelballens entnommen.

Grenzen der Methode sind:

- › Das Wurzelkino ist sehr schwer und unhandlich
(Lösungsvorschlag: Übertragung des Experiments auf Labormaßstab in eine Rhizobox. Diese ist besser handhabbar und die Versuchsbedingungen sind im Labormaßstab besser steuerbar.)
- › Die sicherlich immer unvollständige Entnahme der Wurzelmasse
- › Die unterschiedlichen Wassergehalte der unterirdischen und der oberirdischen Pflanzenbestandteile

Lösungsvorschlag:

Bestimmung der Trockenmassen beider Pflanzenbestandteile

4. ARBEITSAUFTRAG

Recherchiere mit einer internetbasierten KI über das Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse ausgewählter Pflanzen verschiedener Lebensformtypen, wie zum Beispiel Gräser, Kräuter oder Bäume und stelle das Ergebnis tabellarisch dar (identische Aufgabenstellung wie bei Aufgabe 3 der Variante 1).

LERNPRODUKT

(Siehe Lernprodukt von Aufgabe 3 bei Variante 1)

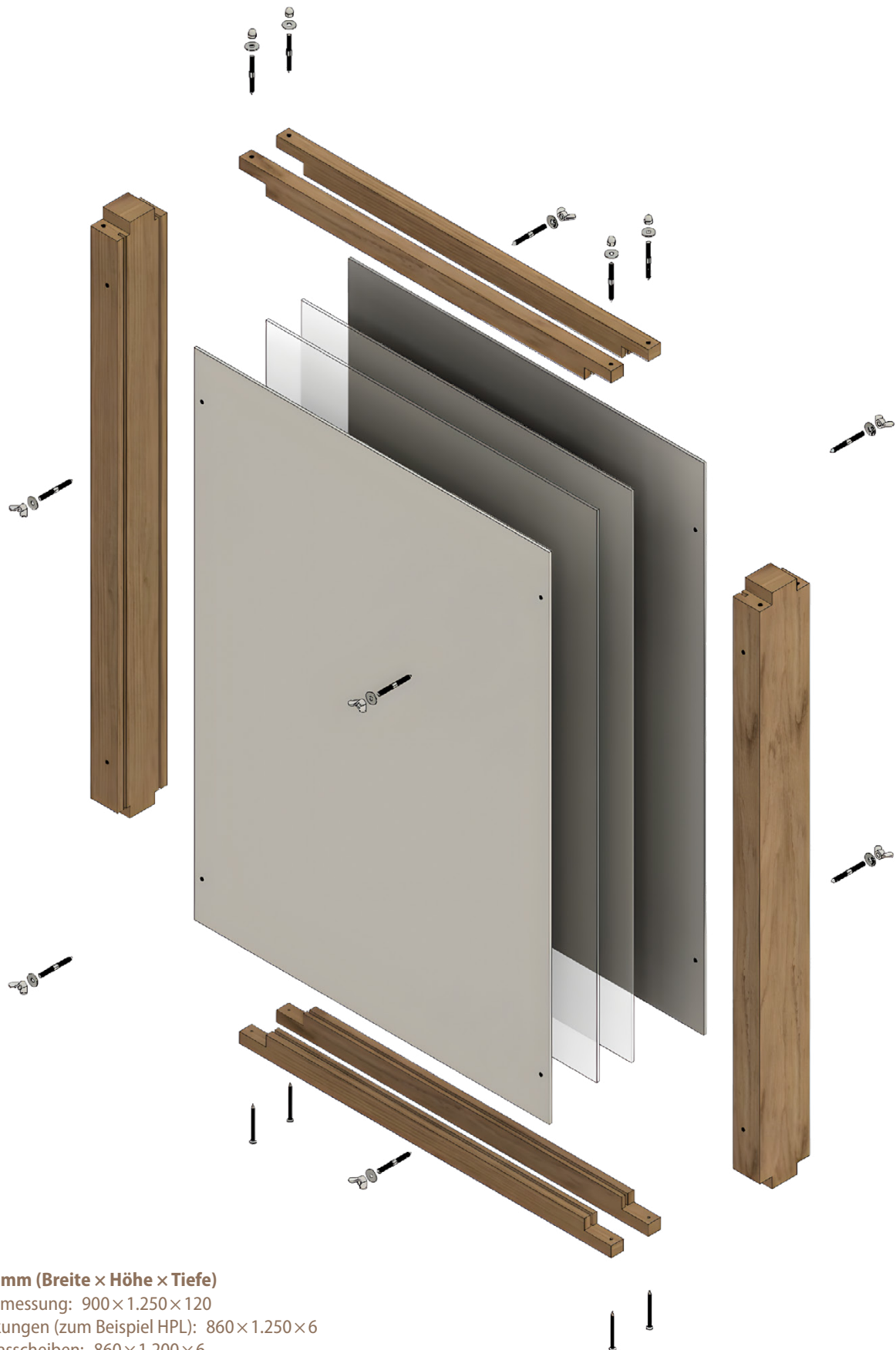
Leistungserhebung

Leistungserhebungen sind im üblichen Umfang möglich.

ANLAGE B 8.1

Planskizzen zum Wurzelkino

Explosionsansicht



Maße in mm (Breite × Höhe × Tiefe)

Außenabmessung: 900 × 1.250 × 120

2 Abdeckungen (zum Beispiel HPL): 860 × 1.250 × 6

2 Acrylglascheiben: 860 × 1.200 × 6

Wurzelkino (Gesamtansicht)

Maße in mm (Breite × Höhe × Tiefe)

Außenabmessung: $900 \times 1.250 \times 120$

2 Abdeckungen (zum Beispiel HPL): $850 \times 1.200 \times 6$

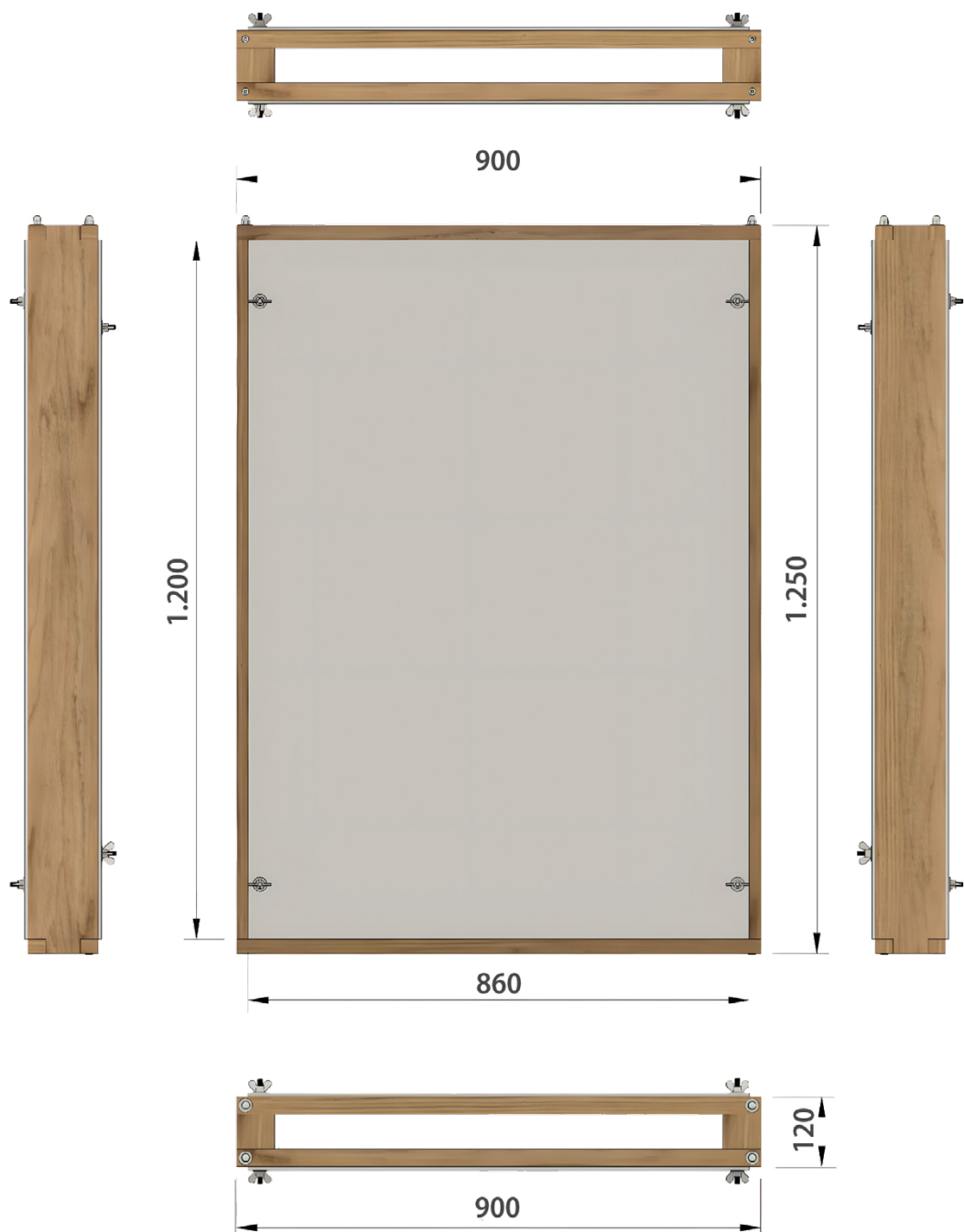
2 Acrylglasscheiben: $800 \times 1.200 \times 6$



Ansicht mit
Abdeckungen



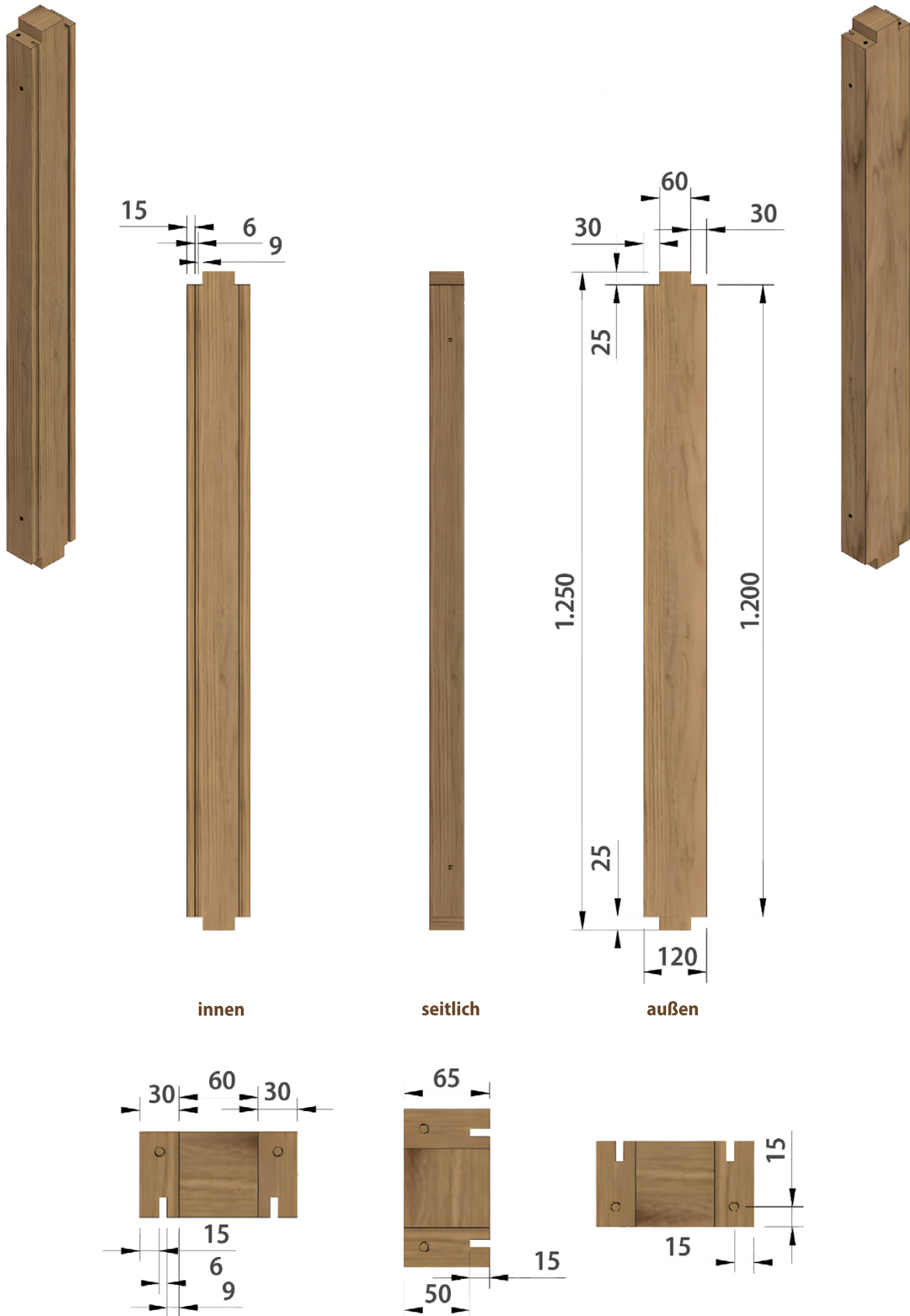
Ansicht ohne
Abdeckungen



Wurzelkino (Detailansicht: Seitliche Balken)

Maße in mm

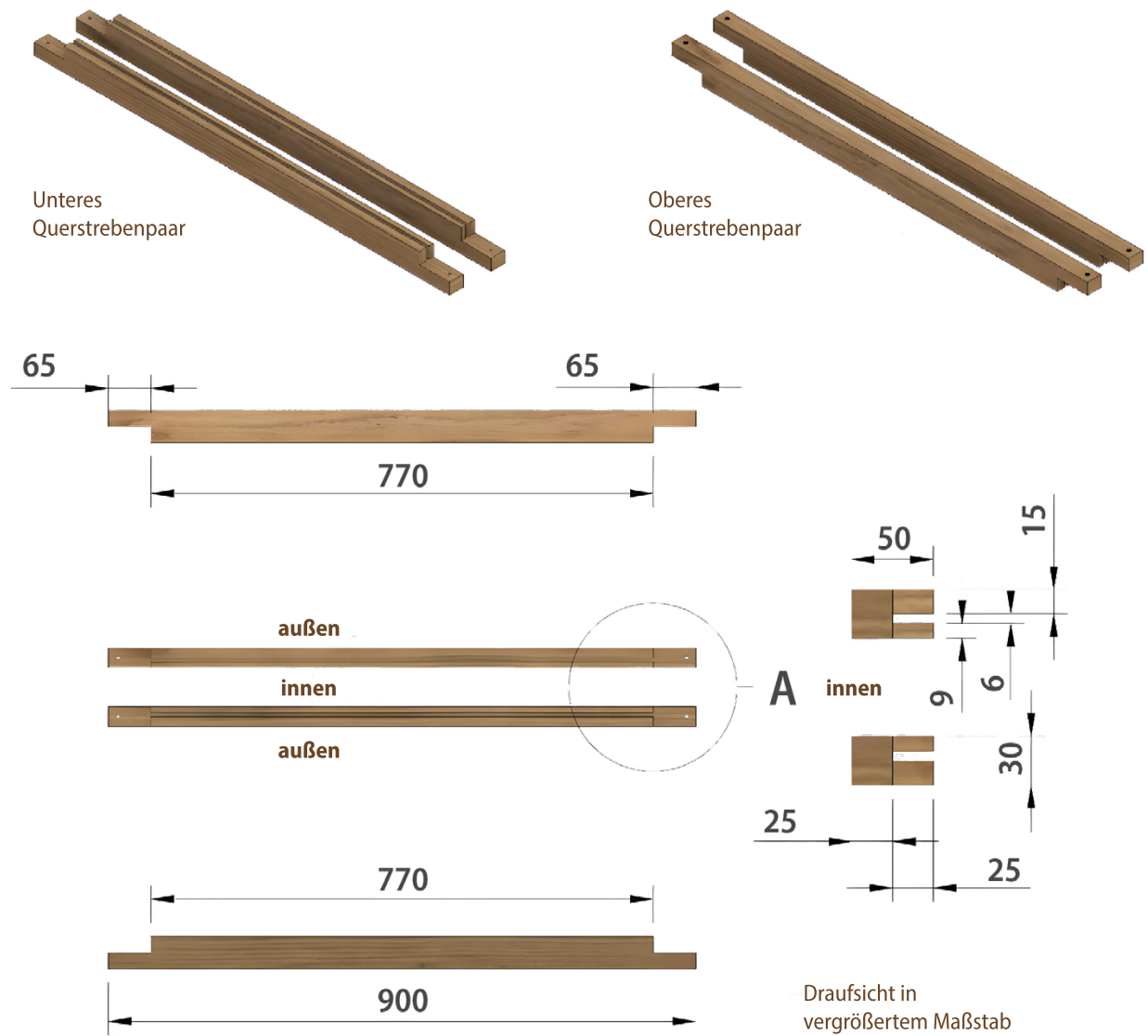
Benötigt werden zwei baugleiche Balken



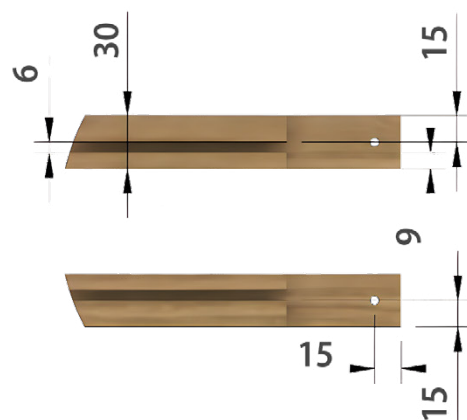
Wurzelkino (Detailansicht: Querstreben)

Maße in mm

Benötigt werden zwei Paar Querstreben, jeweils oben und unten



Ansicht A (vergrößerter Maßstab)



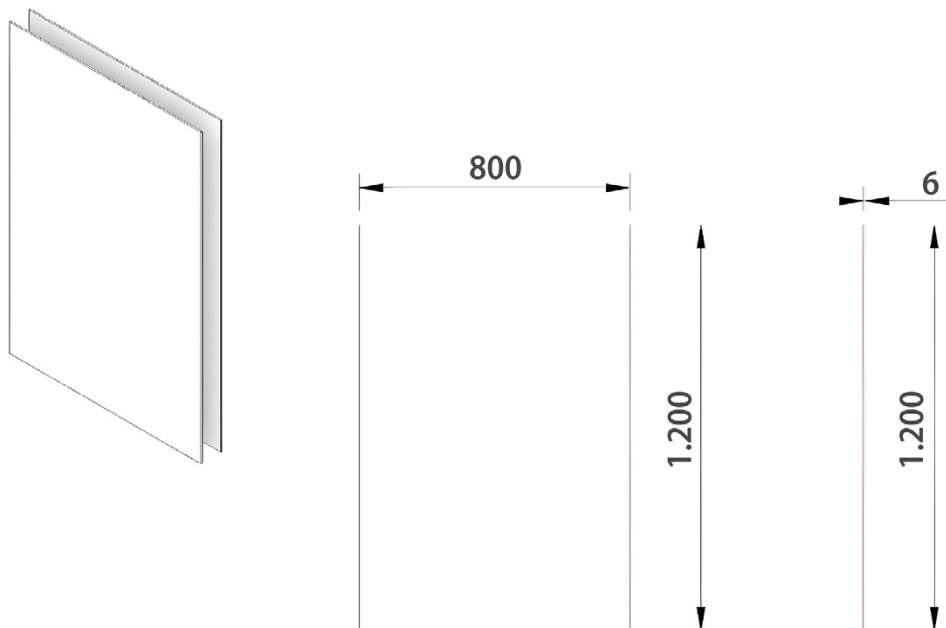
Bohrungsmaße für die Querstreben

- Bohrung oben: $\varnothing 8$ mm für Stockschrauben (M8 $\times$ 80)
 - Bohrung unten: $\varnothing 6$ mm für Holzschrauben (6 $\times$ 80)
 - Balken vor der Montage entsprechend vorbohren, für die Stockschrauben mit $\varnothing 5$ mm und für die Holzschrauben mit $\varnothing 4$ mm
- Tipp: Querstreben als Schablone verwenden

Wurzelkino (Detailansicht: Acrylglasscheiben)

Maße in mm

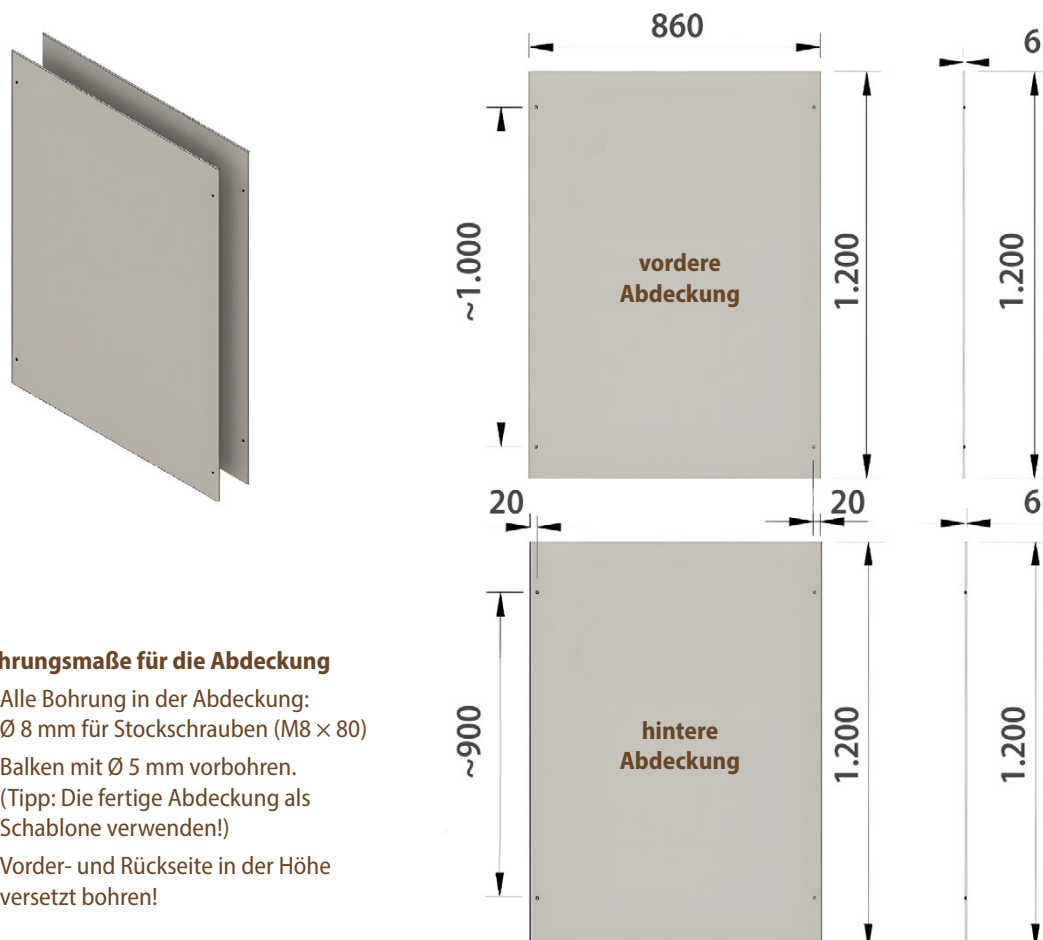
Benötigt werden zwei Scheiben



Wurzelkino (Detailansicht: Acrylglasscheiben)

Maße in mm

Benötigt werden zwei Abdeckungen, zum Beispiel HPL-Platten)



Bohrungsmaße für die Abdeckung

- Alle Bohrung in der Abdeckung: $\varnothing 8$ mm für Stocksrauben (M8 $\times$ 80)
- Balken mit $\varnothing 5$ mm vorbohren. (Tipp: Die fertige Abdeckung als Schablone verwenden!)
- Vorder- und Rückseite in der Höhe versetzt bohren!

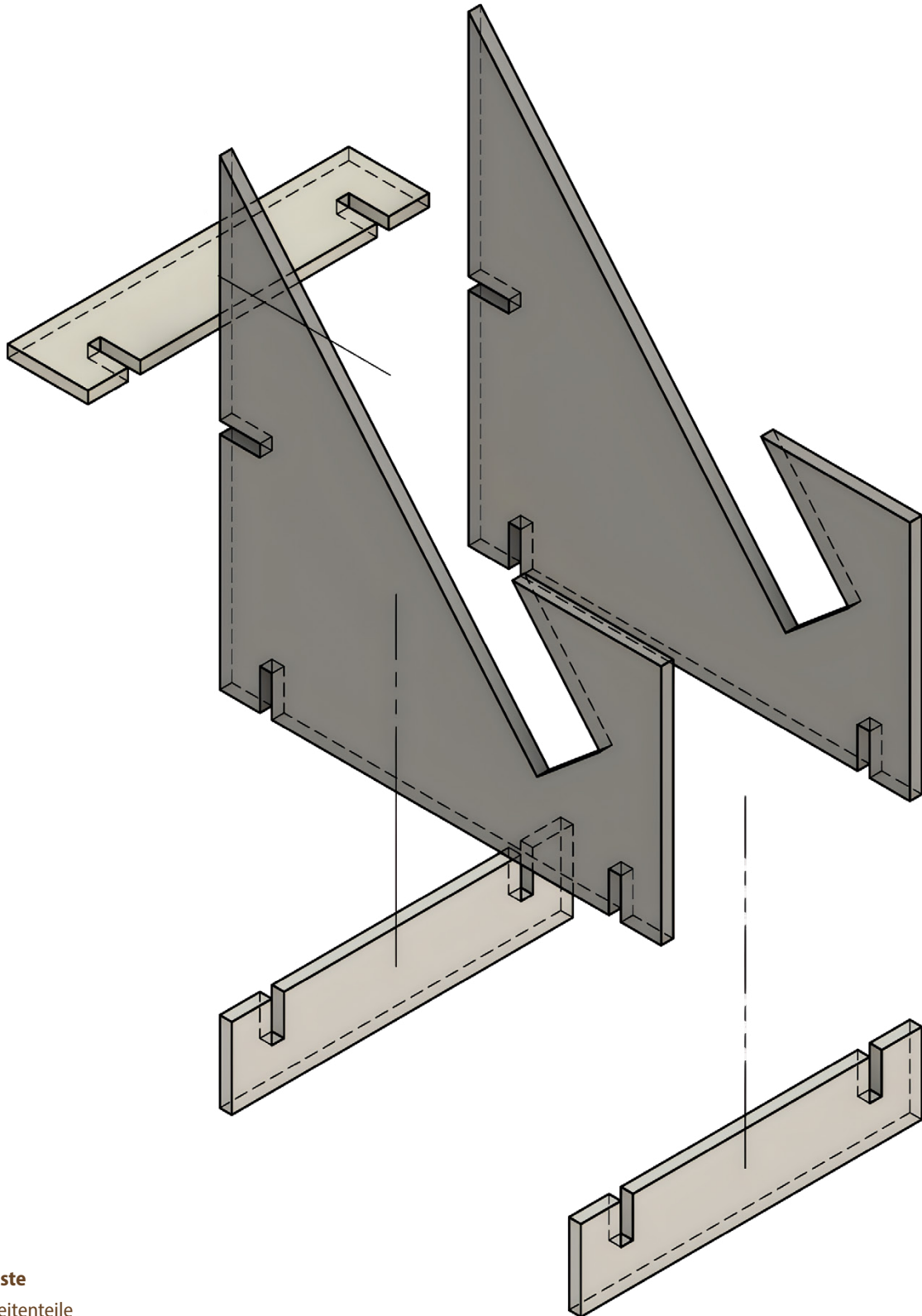
ANLAGE B 8.2

Ständer für die Rhizobox

Explosionsansicht

Material

HPL (6 mm Schichtdicke)



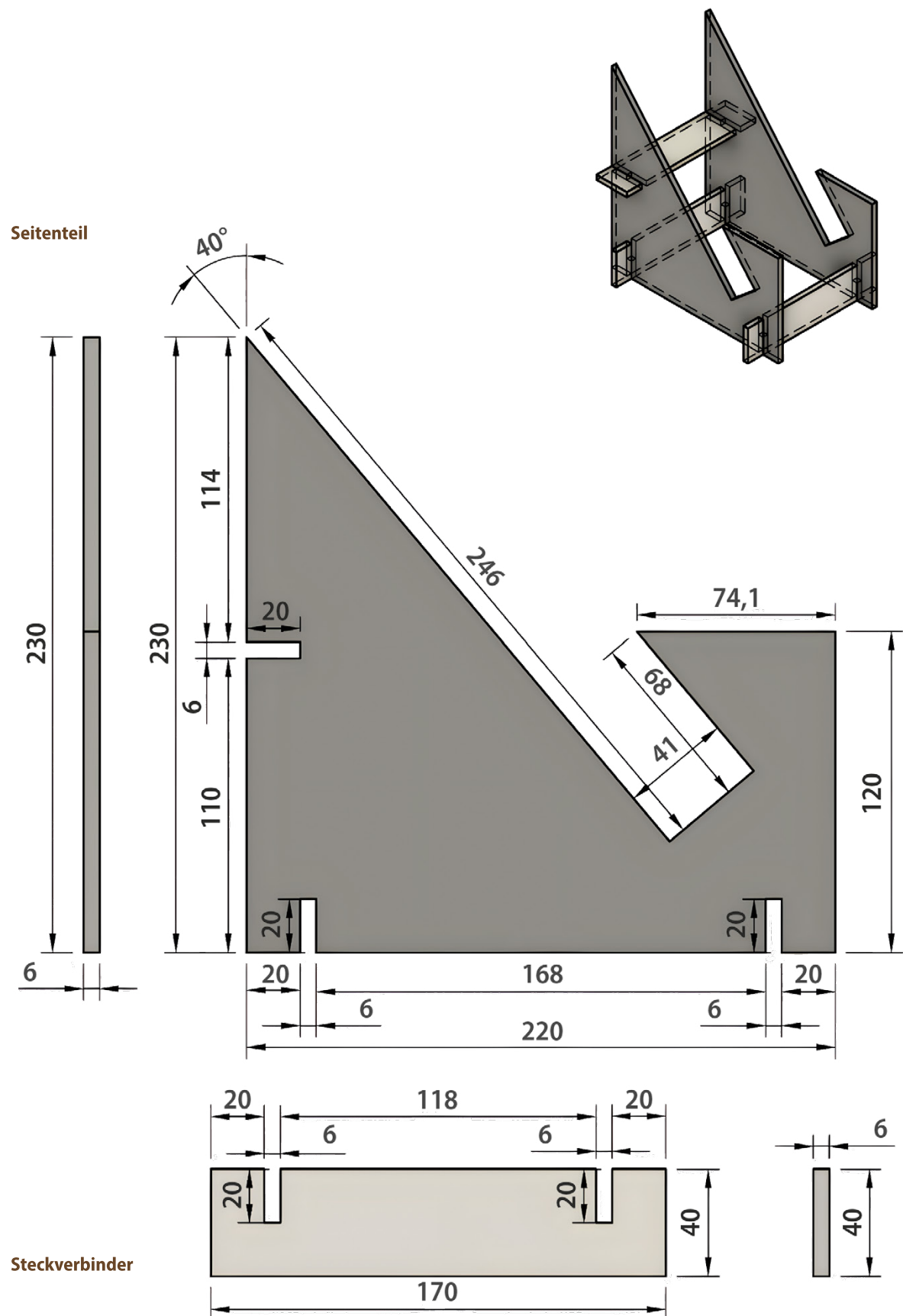
Teileliste

- 2 Seitenteile
- 3 Steckquerverbinder
- Fixierung der Einzelteil gegebenenfalls mit Heißkleber

Ständer für die Rhizobox (Detailansicht)

Material

HPL, 6 mm, 2 Seitenteile, 3 Steckverbinder



B 9 Zahl des Tages zu Boden und Bodenverlust

Grundlegende Informationen

Fruchtbarer Boden ist die Grundlage menschlicher Existenz, gleichzeitig aber auch eine begrenzte Ressource. Weltweit sind Böden in Gefahr – durch Erosion, Flächenversiegelung, Kunstdünger und Pestizide, Verdichtung und anderes mehr. Fruchtbare Böden – insbesondere im globalen Süden – wurden in den letzten Jahren von internationalen Investoren als attraktive Anlage entdeckt und sind somit für die einheimischen Bauern oft unerschwinglich geworden.

Einige dieser sehr bedeutsamen und ebenso komplexen Aspekte sollen von SuS der Klasse in Form eines 5-minütigen Kurzreferats vorgestellt werden. Aufhänger der Referate ist jeweils eine interessante Zahl, welche die Gefahren für unseren Boden symbolisiert.

Durchführung

14 Tage vor Beginn der Unterrichtseinheit Boden verteilt die Lehrkraft die Zahlen und Kurzinformationen an freiwillige SuS, die zu der Zahl die Zusammenhänge und Hintergründe in einem 5-minütigen Kurzreferat darstellen sollen. Ausgangspunkt der Recherche soll die jeweils angegebene Quelle sein, weitere Materialien dürfen selbstverständlich ergänzend hinzugezogen werden.

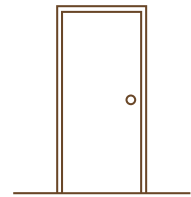
In den Unterrichtsstunden zum Thema Ökosystem Boden kann dann zu Beginn, bei Doppelstunden eventuell auch nach 45 Minuten, ein Schüler die Zahl des Tages und die recherchierten Hintergründe vorstellen. Welche Medien (zum Beispiel Powerpoint-Folien) eingesetzt werden können oder müssen, sollte vor dem 1. Referat klar vereinbart werden. Die Zeit von 5 Minuten sollte nicht überschritten werden.

Weitere interessante Zahlen können selbstverständlich genauso als Aufhänger für ein Referat genutzt werden.

Leistungserhebung

Die Referate werden von der Lehrkraft gemäß den zuvor besprochenen Kriterien bewertet.

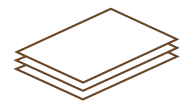
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen			
Erkenntnisgewinn			
Kommunikation			
Bewertung			

MATERIAL

Ausführliche Materialbeschreibung im Fließtext, da versuchsabhängig

- **Anlage B9.1**

ANLAGE B 9.1

Themenvorschläge zu 5-Minuten-Referaten

55 ha

täglicher Flächenverbrauch in Deutschland (entspricht rund 78 Fußballfeldern)

Quelle:

www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit/strategie-und-umsetzung/reduzierung-des-flaechenverbrauchs

**~50 %**

der landwirtschaftlichen Flächen Kambodschas wurden zwischen 2006 und 2014 von internationalen Investoren aufgekauft – ein besonders drastisches Beispiel von «Landgrabbing».

Quelle:

www.boell.de/sites/default/files/2024-01/bodenatlas_2024.pdf; Seite 26

**147,4 %**

betrug die Preiserhöhung in Deutschland beim Kauf landwirtschaftlicher Flächen zwischen 2010 und 2020.

Quelle:

www.boell.de/sites/default/files/2024-01/bodenatlas_2024.pdf; Seite 25

**1/3**

täglicher Flächenverbrauch in Deutschland (entspricht rund 78 Fußballfeldern)

Quelle:

www.welthungerhilfe.de/informieren/themen/laendliche-entwicklung-foerdern/bodendegradation

**100.000.000.000.000**

Bakterien leben in einem Kubikmeter fruchtbarem Boden.

Quelle:

www.boell.de/sites/default/files/2024-01/bodenatlas_2024.pdf; Seite 11

**60 %**

der landwirtschaftlichen Flächen in der EU werden für die Produktion von Viehfutter genutzt.

Quelle:

www.boell.de/sites/default/files/2024-01/bodenatlas_2024.pdf; Seite 42



B 10 Bodendüngung

Ein «Mystery»

Grundlegende Informationen

Die Ernährung der immer noch wachsenden Weltbevölkerung ist ein häufig genannter Grund für den stark gestiegenen Einsatz von Kunstdünger und Gülle – in Deutschland wie auch im Rest der Welt. Diese Maßnahmen steigern den Ertrag der Ernte und schaffen wirtschaftlichen Mehrwert für Agrarindustrie und Landwirte. Allerdings ist inzwischen unbestritten, dass intensive Düngung zum Verlust von Biodiversität führt und das Grundwasser massiv belastet. Mit diesem Dilemma konfrontiert das hier vorgestellte «Mystery» die SuS, wobei eine Erkenntnis sein wird, dass die Diskussion über den problematischen Einsatz von Düngemitteln in Bayern seit mindestens 45 Jahren geführt und humoristisch kommentiert wird – in dieser langen Zeit haben sich Teilaspekte gebessert, andere Probleme haben sich jedoch verschärft.

Im Spannungsfeld von Landwirtschaft und Umweltschutz ist der Einsatz von Düngemitteln ein aktuelles und kontroverses Thema, wobei die Verschärfung von Umweltauflagen und insbesondere von Düngevorschriften in den letzten Jahren immer wieder zu gesellschaftlichen Diskussionen und Protesten führten. Durch eine neutrale und ausgeglichene Darstellung der Argumente werden die SuS befähigt, verschiedene Standpunkte gegeneinander abzuwägen und die Meinungsvielfalt als zentrales Moment demokratischen Handelns wahrzunehmen. Dieses Modul mit seiner ganzen Kontroversität kann ein guter Impuls für die Durchführung einer Verfassungsviertelstunde sein.

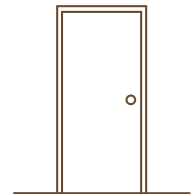
Durchführung

Generelle Hinweise zu einer Unterrichtsstunde nach der «Mystery»-Methode stehen im **Modul B3** – Was hat der Totengräber-Käfer mit meinen Tomaten zu tun? Ein «Mystery». Im Folgenden werden konkrete Umsetzungstipps zu den hier vorgestellten Materialien gegeben.

Stundeneinstieg

Das BayWa-Lied, eine Parodie der Bayern-Hymne, führt die Klasse zur Leitfrage hin. Dabei kann man durchaus auch die Bayern-«Hymne» ankündigen und dann die etwas andere Variante vorspielen – überraschte Gesichter garantiert. Tests mit einigen Klassen haben gezeigt, dass das Projizieren der Liedtexte vielen Missverständnissen bei jenen SuS in der Klasse vorbeugt, die im Bayerischen nicht so sattelfest sind. Anschließend kann ein kurzes Unterrichtsgespräch zum Inhalt des BayWa-Liedes erfolgen.

Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- **Anlage B 10.1**
Texte der **Bayernhymne** und des **BayWa-Liedes** im Vergleich.
(Das BayWa-Lied kann über gängige Musik-Streamingdienste erworben und abgespielt werden)
- **Anlage B 10.2**
Mystery-Kärtchen

QR-Code B 10-1



QR-Code B 10-2



QR-Code B 10-3



QR-Code B 10-4



QR-Code B 10-5



QR-Code B 10-6



QR-Code B 10-7



QR-Code B 10-8



QR-Code B 10-9



QR-Code B 10-10



QR-Code B 10-11



QR-Code B 10-12



Leitfrage zum Mystery:

«Ist das BayWa-Lied heute noch aktuell?»

Der Text des BayWa-Liedes hat bei seinem Erscheinen 1979 für Kontroversen gesorgt. Und jetzt? Hat das Lied auch in der Gegenwart noch einen Mehrwert für SuS? Ist das BayWa-Lied heute noch aktuell? Dieser Frage gehen die SuS durch das kooperative Erstellen des «Mystery»-Legebildes auf den Grund.

Viele Kärtchen für dieses «Mystery» enthalten eine kurze Angabe zur Quelle. Dies soll den SuS ermöglichen, die auf den Kärtchen präsentierten Informationen einzuordnen. Daraus können sich Diskussionen ergeben, welche Absichten die genannten Organisationen und Interessenvertretungen haben und ob die gegebenen Informationen objektiv oder eher subjektiver Natur sind.

Eine ausführliche Betrachtung der Quellen ist für die SuS zur Lösung des «Mysterys» nicht notwendig. Für die Lehrkräfte finden Sie hier die Angabe der verwendeten Internetseiten:

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Haber-Bosch-Verfahren>
(QR-Code B 10-1; abgerufen am 30.03.2026)
- www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasser_nitrat/nitrat_problem/index.htm
(QR-Code B 10-2; abgerufen am 30.03.2026)
- www.bund-naturschutz.de/landwirtschaft/nitrat-im-grundwasser
(QR-Code B 10-3; abgerufen am 30.03.2026)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Gülle>
(QR-Code B 10-4; abgerufen am 30.03.2026)
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhausgas>
(QR-Code B 10-5; abgerufen am 30.03.2026)
- www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/aktuell-duengen.html
(QR-Code B 10-6; abgerufen am 30.03.2026)
- www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/wasch-reinigungsmittel/umweltbewusst-waschen-reinigen/phosphatfreie-textilwaschmittel
(QR-Code B 10-7; abgerufen am 30.03.2026)
- www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/umweltbilanz-der-landwirtschaft-immer-noch-zu-viele
(QR-Code B 10-8; abgerufen am 30.03.2026)
- www.tagesspiegel.de/politik/seehofer-wusste-wohl-vorab-von-schmidts-glyphosat-votum-3901909.html
(QR-Code B 10-9; abgerufen am 30.03.2026)
- www.riffreporter.de/de/umwelt/phosphor-verbrauch-deutschland-europa
(QR-Code B 10-10; abgerufen am 30.03.2026)
- www.lfl.bayern.de/rote-gebiete/
(QR-Code B 10-11; abgerufen am 30.03.2026)
- www.lfl.bayern.de/ipz/heilpflanzen/215175/index.php
(QR-Code B 10-12; abgerufen am 30.03.2026)

Mögliche Aufgaben

Die Anweisungen an die Klasse für das «Mystery» könnten in etwa so lauten:

Arbeitsauftrag

Erstellt mit den Kärtchen ein strukturiertes und aussagekräftiges Legebild.

Ordnet die Informationen so an, dass ihr die Zusammenhänge erkennen könnt.

Behaltet dabei stets euer Ziel im Auge: Am Ende sollt ihr die Leitfrage des «Mysterys» beantworten.

Spielregeln

- Es wird reihum ein Kärtchen gezogen und laut vorgelesen.
- Ihr dürft und sollt über die Kärtchen diskutieren, aber wer das Kärtchen gezogen hat, entscheidet, wo es platziert wird.
- Ihr dürft euer Legebild jederzeit umgruppieren, wenn neue Informationen dies notwendig machen.
- Pro Kärtchen habt ihr (je nach Umfang) etwa 30 Sekunden bis eine Minute Zeit.
- Am Ende wird eine Person ausgewählt, die euer Ergebnis den jeweils anderen Gruppen vorstellt.

Auswertung

Folgende Erkenntnisse können nach Präsentation der Legebilder im Unterrichtsgespräch gesammelt und diskutiert werden:

- Die Verwendung von Kunstdünger oder Gülle führt zu einer deutlichen Ertragssteigerung und gleichzeitig zu einem Rückgang der biologischen Vielfalt und den damit verbundenen Veränderungen der Ökosystemleistungen.
- Zur Zeit der BayWa-Hymne war die Überdüngung mit Phosphat-Ionen (PO_4^{3-}) noch ein großes Problem. Phosphat gelangte durch Auswaschung in Gewässer und führte zu deren Eutrophierung. Inzwischen hat sich die Situation durch Regulierungsmaßnahmen (zum Beispiel durch das Verbot von Phosphaten in Waschmitteln) stark gebessert. Auch in der Landwirtschaft ging der Verbrauch an Phosphat stark zurück (siehe Diagramm im «Mystery»).
- Dahingegen ist die Belastung durch Nitrat-Ionen (NO_3^-) und Pestizide noch nicht in einem umweltverträglichen Maße geregelt – und führt etwa zu einem Rückgang in der Pflanzenvielfalt oder der Insektenbiomasse.

Leistungserhebung

Die Präsentation des von der eigenen Gruppe erstellten Legebildes und der daraus gewonnenen Schlussfolgerungen vor der Klasse durch einen Schüler oder eine Schülerin kann als mündlicher Leistungsnachweis gewertet werden.

ANLAGE B 10.1

Liedtexte

Bayernhymne

**Gott mit Dir, Du Land der Bayern,
deutsche Erde, Vaterland!
Über Deinen weiten Gauen
ruhe seine Segenshand!**

**|: Er behüte Deine Fluren,
schirme Deiner Städte Bau
Und erhalte Dir die Farben
seines Himmels, weiß und blau! :|**

(Melodie: Konrad Max Kunz,
Text: Michael Öchsner, 1860)

BayWa®-Lied

**Gott mit Dir, Du Land der BayWa,
deutscher Dünger aus Phosphat!
Über Deinen weiten Fluren
liegt Chemie von fruah bis spat!**

**|: Und so wachsen Deine Rüben,
so ernährest Du die Sau.
Herrgott, bleib' dahoam im Himme,
mia habn Nitrophoska Blau! :|**

(Melodie: Konrad Max Kunz,
Text: Hans Well, 1979)

ANLAGE B 10.2 Info-Kärtchen



Harnstoff, Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat sowie Ammoniumphosphate werden als Düngemittel verwendet und tragen zur **Ernährung** eines Großteils **der Weltbevölkerung** bei.

Wikipedia («Haber-Bosch-Verfahren»)

Viele Menschen sind davon überzeugt, dass ohne den durch die chemische Industrie erzeugten **Kunstdünger**, also nur mit Methoden der Landwirtschaft aus dem vorletzten Jahrhundert, die Ernährung von **8 Milliarden Menschen** auf der Erde schlichtweg nicht vorstellbar wäre.

Die **Phosphatbelastung der Gewässer** in der Bundesrepublik konnte durch die Verminderung des Phosphatgehaltes in Wasch- und Reinigungsmitteln und die verbesserte Abwasserbehandlung von 1975–2015 mehr als halbiert werden.

Umweltbundesamt

Erhöhte Nitratgehalte können der **menschlichen Gesundheit** schaden: **Nitrat** kann im Organismus unter anderem in Nitrosamine umgewandelt werden, die als krebserregend gelten.

Landesamt für Umwelt Bayern

Dünger mit Nitrat und Phosphat fördert das **Wachstum** verschiedener Pflanzenarten **nicht gleich stark**. Während viele Nutzpflanzen sehr viel stickstoffatomhaltige Salze benötigen, haben die meisten Wildpflanzen einen **engen Toleranzbereich** bezüglich dieser Stoffe und ein **Optimum** bei **sehr niedrigen Werten** für die Gabe von Salzen mit Stickstoffatomen.

«Weil zu viel gedüngt wird, ist das Grundwasser in bayerischen Ackerbaugebieten besonders hoch mit Nitrat belastet. Das führt zu ökologischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Risiken – und wäre vermeidbar.»

BUND Naturschutz in Bayern e. V.

«**Nitrat im Grundwasser** gefährdet unser **Trinkwasser**, denn in Bayern werden über 90 Prozent des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. (...) Wenn bei der Aufbereitung die Nitratwerte zu hoch sind, mischen [Wasserversorger] weniger belastetes Wasser ein oder filtern das Nitrat technisch heraus. Dadurch entstehen **höhere Kosten**, die sich auch auf die Preise auswirken können.»

BUND Naturschutz in Bayern e. V.

Nitrophoska ist ein Kunstdünger, der unter anderem für Pflanzen wichtige Mineralsalze des Stickstoffs (**Nitro-**), des Phosphors (**-phos-**) und des Kaliums (**-ka**) enthält.

¹Der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen ist, auch eingedenk der Verantwortung für die kommenden Generationen, der besonderen Fürsorge jedes Einzelnen und der staatlichen Gemeinschaft anvertraut. ²Tiere werden als Lebewesen und Mitgeschöpfe geachtet und geschützt. ³Mit Naturgütern ist schonend und sparsam umzugehen. Artikel 141 (1) Bayerische Verfassung	Hohe Gehalte an gebundenem Stickstoff, Phosphor, Kalium und anderen Nährstoffen machen Gülle zu einem wichtigen Dünger. In viehrefreichen Gebieten fällt jedoch sehr viel mehr Gülle an, als die umliegenden Böden aufnehmen können. Der Überschuss führt dazu, dass die Gülle oft Hunderte von Kilometern quer durch Europa transportiert wird. Wikipedia («Gülle»)
Die Umweltprobleme in der Landwirtschaft sind an vielen Stellen noch nicht gelöst. (...) Vor allem die Konzentration auf wenige Fruchtarten, der hohe Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln auf dem Feld und von Arzneimitteln im Stall belasten die biologische Vielfalt und verunreinigen Gewässer, Böden und Luft immer noch mehr als nötig. Umweltbundesamt	Gülle besteht aus Kot und Urin, der vor allem in der Schweine- und Rinderhaltung anfällt. Sie wird als natürlicher Dünger verwendet. Durch übermäßige Verwendung von Gülle wird oberflächennahes Grundwasser durch Nitrat massiv kontaminiert. Zudem hat Gülle in Europa einen wesentlichen Anteil an der Bildung von Feinstaub in der Atmosphäre. Wikipedia («Gülle»)
Die Düngeverordnung (DüV) verpflichtet die Landesregierungen (...), Gebiete mit einer hohen Nitratbelastung des Grundwassers (sogenannte «rote Gebiete») (...) per Landesverordnung auszuweisen und für diese Gebiete zusätzliche Auflagen bei der Landbewirtschaftung und Düngung zu erlassen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft	Die Hälfte der Landwirte düngt mit Gülle. In der Saison 2019/20 wurden insgesamt 188 Millionen Kubikmeter flüssiger Wirtschaftsdünger (davon 50 % Rindergülle und 15 % Schweinegülle) ausgebracht. Statistisches Bundesamt
Die BayWa AG ist ein Handel- und Dienstleistungskonzern mit Sitz in München. In den 1970er-Jahren verkaufte das Unternehmen neben Baustoffen und Dienstleistungen auch Produkte für die Landwirtschaft, darunter Düngemittel.	Die Zahl der Wiesenschnitte zur Produktion von Futtermitteln hat sich durch intensive Düngung von zweimal pro Jahr im 19. Jahrhundert auf sechs- bis achtmal im Jahr im 21. Jahrhundert erhöht.

Nitrophoska-Dünger



Abbildung B 10.2-1

Nitrophoska gibt es nicht nur in Blau (Foto: Martin Eiblmaier)!

Überdüngung und ihre Folgen

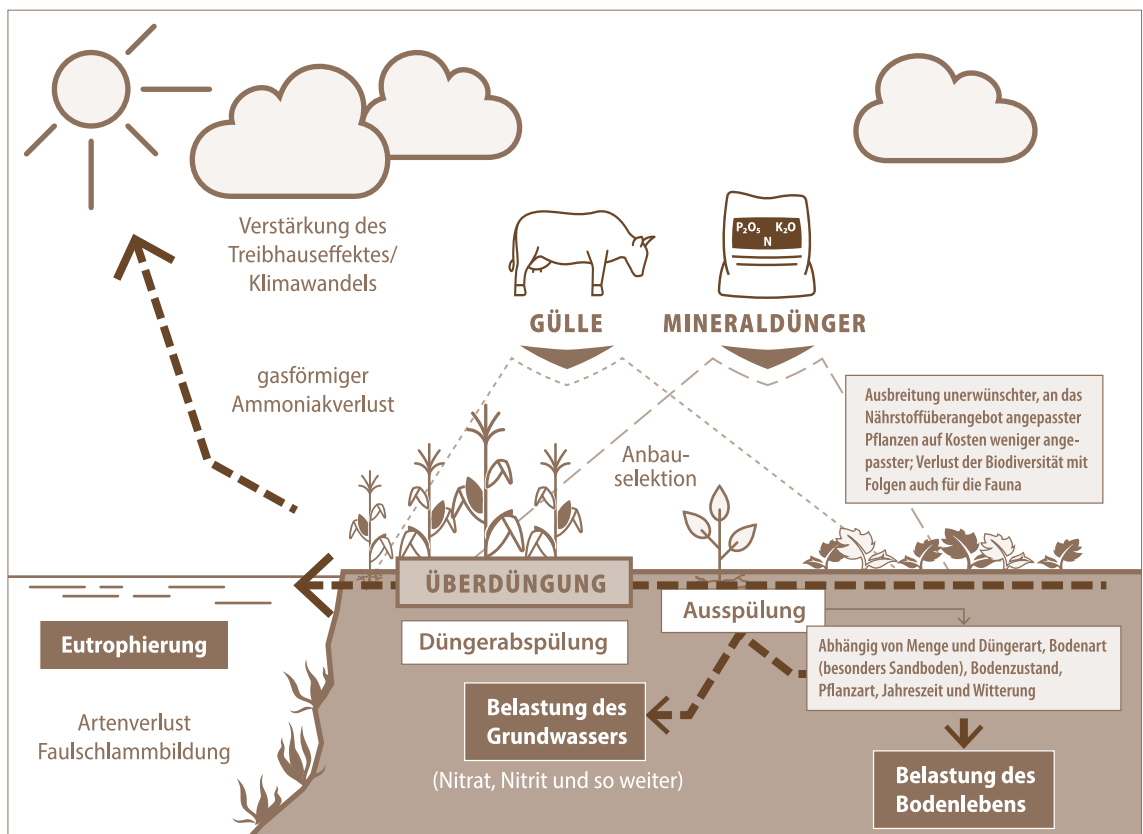


Abbildung B 10.2-2

Folgen des zu hohen Einsatzes von Düngemitteln (Grafik: aus Lernort Boden, verändert)

Ertragsoptimum

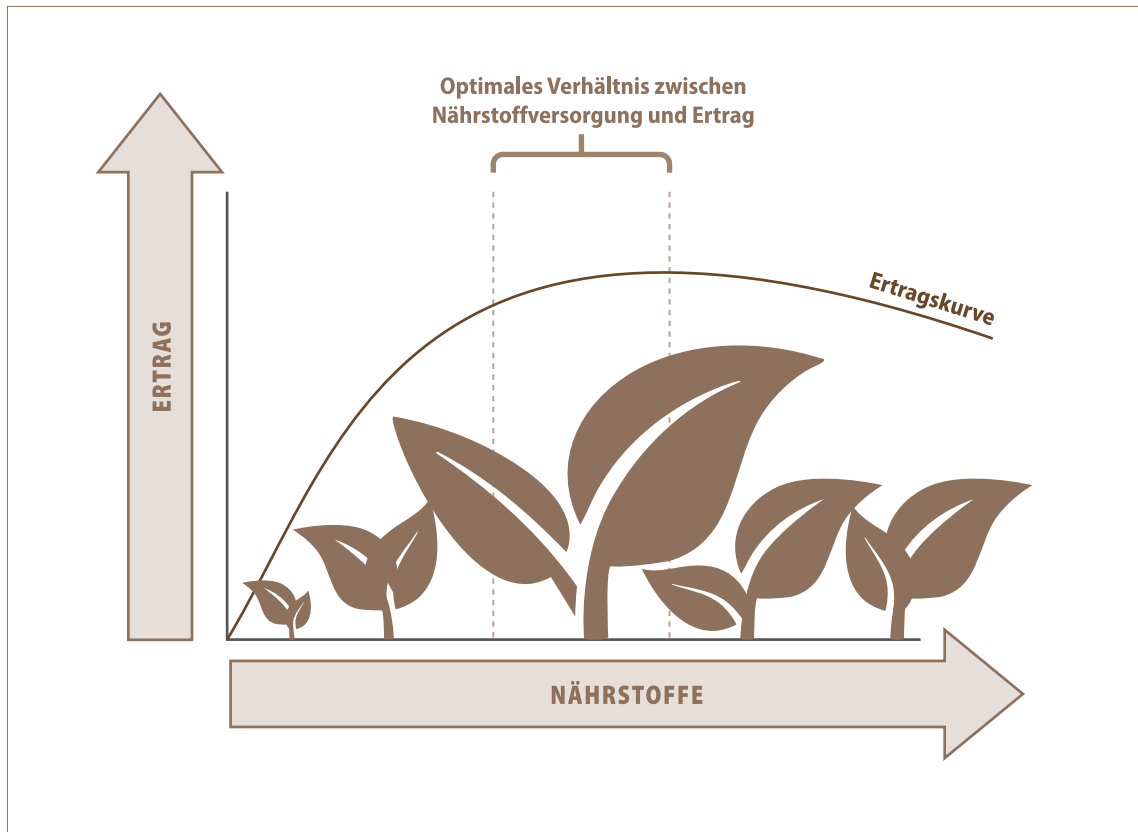


Abbildung B 10.2-3

Schematische Darstellung der Ertragskurve (Bildquelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)



Nitrat im Grundwasser

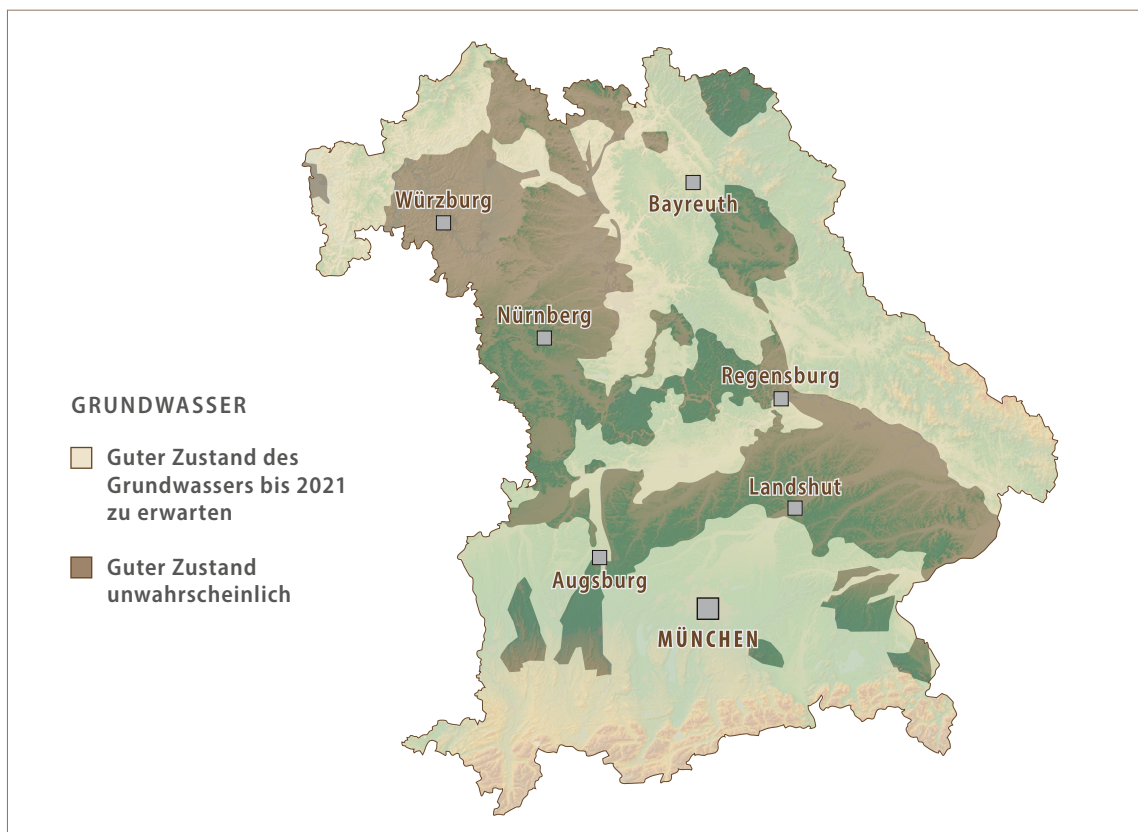


Abbildung B 10.2-4

Grundwasser ist der Rohstoff für Trinkwasser (Bildquelle: pnp/Landesamt für Umwelt)

Phosphorverbrauch

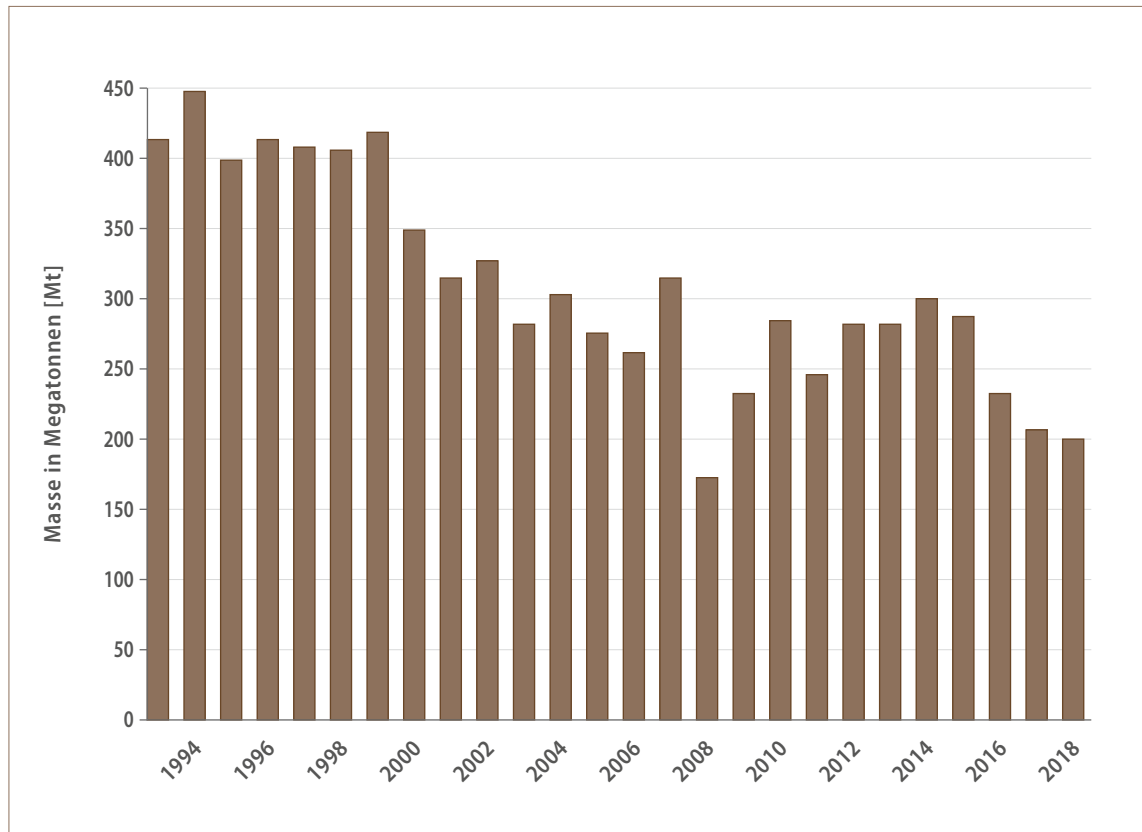


Abbildung B 10.2-5

Phosphorverbrauch in der Landwirtschaft in Deutschland 1993–2018 (Datengrundlage: Destatis)



Gülle in der Landwirtschaft



Abbildung B 10.2-6

Gülleausbringung auf einer Bergwiese (Bildquelle: Martin Eiblmaier)

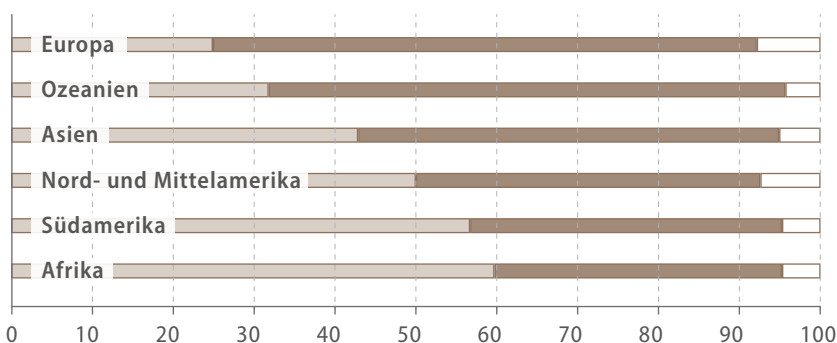
B 11 Klimarelevanz von Böden

Grundlegende Informationen

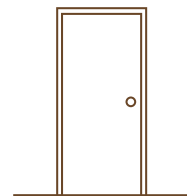
Böden spielen eine wichtige Rolle beim Klimaschutz, da sie in der Lage sind, große Mengen an Kohlenstoffatomen dauerhaft in verschiedenen Verbindungen zu speichern. Je nach Landnutzung, Vegetationstyp, Sauerstoff- und Wassersättigung unterscheiden sich die Mengen an gebundenen Kohlenstoffatomen, die Böden speichern können. Wenn Böden jedoch gestört werden (zum Beispiel Entwässerung oder Belüftung), führt dies bei einsetzender Mineralisierung organischer Stoffe zur Freisetzung von gasförmigem Kohlenstoffdioxid und trägt somit zu einem Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen bei. Dabei ist es für das Verständnis dieser Prozesse wichtig, dass neben der leicht wahrnehmbaren oberirdischen Biomasse, auch die für die SuS unsichtbare Biomasse im Boden (Wurzeln und Huminstoffe) berücksichtigt und «sichtbar» gemacht wird. Dabei sind die Mengen der im Boden gebundenen Kohlenstoff-Atome in den verschiedenen Kontinenten unterschiedlich verteilt (Abbildung B11-1).

Seit einiger Zeit beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler intensiv mit den Auswirkungen verschiedener Formen der Landnutzung auf die Kohlenstoffdioxid-Bilanz der Atmosphäre. Dabei spielen die oberirdisch sichtbare pflanzliche Biomasse, aber auch die Kohlenstoffspeicherfähigkeit der Böden sowie das vorhandene Totholz zentrale Rollen.

Hierbei unterscheiden sich die Mengen der gespeicherten Kohlenstoff-Atome in Bäumen, Böden oder totem Holz auf den einzelnen Kontinenten (Abbildung B11-1). Die lebende oberirdische Biomasse wird bei nahezu allen Nutzungstypen beerntet und vom Menschen, zum Beispiel als Nahrung oder Baumaterial, verwendet. Somit werden die gebundenen Kohlenstoffatome mehr oder weniger schnell abgebaut. Die im Boden als Wurzelbiomasse und Humus gebundenen Kohlenstoffatome hingegen stellen einen dauerhaften Kohlenstoffatomspeicher dar, wenn es nicht zur oben genannten aeroben Mineralisation des Bodens kommt. Bestes Beispiel hierfür sind die auf pflanzlicher Basis vor mehr als 300 Millionen Jahren im Karbon entstandenen fossilen Rohstoffvorkommen.



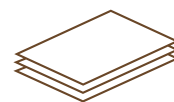
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- Anlage B 11.1

Abbildung B 11-1

Verteilung des gebundenen Kohlenstoffes in Vegetation, Boden und Bodenbedeckung sowie Totholz im Vergleich der Kontinente (aus LAL 2015).

LEGENDE

-  Kohlenstoff in den Bäumen
-  Kohlenstoff im Boden und Bodenbedeckung
-  Kohlenstoff in totem Holz

In dieser Einheit sollen die Lernenden faktenbasiert darüber entscheiden, wie sich bestimmte Formen der Landnutzung auf die Treibhausgasmenge in der Atmosphäre auswirken und auf Grundlage dieser Daten eine wertebasierte Entscheidung darüber treffen, wie sie sich selbst in bestimmten Konflikten entscheiden würden.

Durchführung

Die Durchführung dieser Lerneinheit erfolgt zunächst in Einzelarbeit. Die Ergebnisse der SuS werden im Anschluss in Gruppenarbeit zusammengetragen und danach im Klassenverband diskutiert. Zum Abschluss der Einheit stimmen die Lernenden in geheimer Abstimmung darüber ab, wie sie sich in einem Wertekonflikt entscheiden würden. Zur Motivation der Lernenden kann die Lehrkraft diese Abstimmung als Gremium in einem Gemeinderat inszenieren.

Beim der ethischen Bewertung von Sachverhalten, wie beispielsweise einer Veränderung der Landnutzung im Hinblick auf ihre Folgen, sollten die Lernenden zunächst auf Grundlage einer Faktenlage Argumente formulieren. Dieser Schritt wird in dem vorliegenden Modul in Einzelarbeit ausgeführt, damit jeder einzelne SuS seine eigene Position finden kann und formulieren muss.

In der anschließenden Sammlung der Argumente in einer Gruppenphase treffen idealerweise verschiedene Sichtweisen aufeinander und es werden verschiedene Wertvorstellungen sichtbar. Dabei sollten die Lernenden die Werte hinter den Argumenten auch benennen. Dafür wurde eine eher offene Aufgabenstellung gewählt, da gerade die Absprache über die zugrundeliegenden Werte spannende Fragen aufwirft (zum Beispiel «Was sind eigentlich Werte?»), die die Bewertungskompetenz steigern. Dabei ist es auch notwendig, einen Perspektivwechsel vollziehen zu können, weil in der Gruppe verschiedene Sichtweisen auftreten können. Um für die anschließende Diskussion gut gerüstet zu sein, sollten die Lernenden ihre Argumente gewichten. Sie nehmen eine Wertepriorisierung vor, die individuell unterschiedlich ausfallen kann und darf. Dies sollte die Lehrkraft bewusst kommunizieren, um das Phänomen der «sozialen Erwünschtheit» zu vermeiden. Auch wenn diese Unterrichtseinheit im Biologie-Unterricht stattfindet, sollte beispielsweise der Wert «Umweltschutz» nicht automatisch höher priorisiert werden, als der Wert «wirtschaftlicher Erfolg».

In der anschließenden Diskussion sollte sich die Lehrkraft möglichst zurückhalten und allenfalls moderierend eingreifen. Die Diskussionskultur ist dabei zu wahren. Dazu gehört auch, andere Positionen als die eigene respektvoll zu würdigen und persönliche Angriffe zu vermeiden.

Weitere Informationen zum ethischen Bewerten im Biologie-Unterricht sind als weiterführende Information im Lehrplan Informationssystem zum LehrplanPLUS: «Der Kompetenzbereich »bewerten« zu finden (siehe QR-Code B 11-2).

In dieser Einheit lassen sich digitale Medien an verschiedenen Stellen nutzen. Die Argumente lassen sich mit cloudbasierten Textverarbeitungs- beziehungsweise Tabellenkalkulationsprogrammen oder analog auf Pinnwänden kollaborativ zusammenstellen und für alle sichtbar machen. Auch für die geheime Abstimmung über den Wertekonflikt sollte ein digitales Tool genutzt werden.

QR-Code B 11-2

Der Kompetenzbereich
«bewerten»
(https://www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/NT5_6_Info_Bewerten.3032.pdf)



LÖSUNGSVORSCHLAG B 11.1**Mit dem Boden das Klima retten?**

Geht das?

Aufgabe 1

Obwohl Moore nur eine geringe Flächenausdehnung haben, speichern sie am meisten Kohlenstoff-Atome im Torf, deswegen ist die Überschrift gerechtfertigt.

Aufgabe 2

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Um zusätzliche Weidefläche für Rinder zu gewinnen, soll in Deutschland ein Waldstück gerodet und in extensives Grünland umgewandelt werden.	S
Um zusätzliche Weidefläche für Rinder zu gewinnen, soll am Chiemsee ein Moor trockengelegt und in Grünland umgewandelt werden.	E
Um die Anbaufläche für Weizen zu vergrößern, soll ein Waldstück in Brandenburg gerodet und in Ackerland umgewandelt werden.	E
Um zusätzliches Futter für Weidetiere zu gewinnen, soll in Tansania ein Waldstück gerodet und in Grünland umgewandelt werden.	X
Um Arbeitsplätze zu schaffen, soll auf einer Ackerfläche im Bayerischen Wald ein Gewerbegebiet errichtet werden.	E

Aufgabe 3

Individuelle Schülerlösungen

ARBEITSBLATT B 11.2

Mit dem Boden das Klima retten?

Geht das?

Forschende aus aller Welt warnen seit Jahrzehnten vor den Folgen der Klimaveränderung. Überflutungen und Dürre, verheerende Stürme und eine Zunahme von Waldbränden können bereits jetzt – auch bei uns in Deutschland – beobachtet werden. Ursache dieser sich rasant entwickelnden Veränderungen ist die Freisetzung von Treibhausgasen, deren bekanntestes und folgenreichstes das Kohlenstoffdioxid ist. Eine Quelle von Kohlenstoffdioxid ist nicht nur die Verbrennung fossiler Rohstoffe, sondern auch von Holz. Weniger bekannt ist allerdings, dass auch die Nutzung von Böden großen Einfluss auf die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre oder die dauerhafte Speicherung von Kohlenstoff-Atomen im Boden hat.

Wichtige Kohlenstoffatomspeicher im Boden sind:

- **Die Wurzelmasse der Pflanzen**

Bei fast allen Laubbäumen in Mitteleuropa entspricht die Wurzelmasse im Boden ungefähr dem oberirdisch sichtbaren Baum. Ausdauernde Gräser und Kräuter bilden meist deutlich mehr Wurzelmasse, als es der oberirdisch sichtbare Pflanzenkörper erahnen lässt.

- **Der Humus**

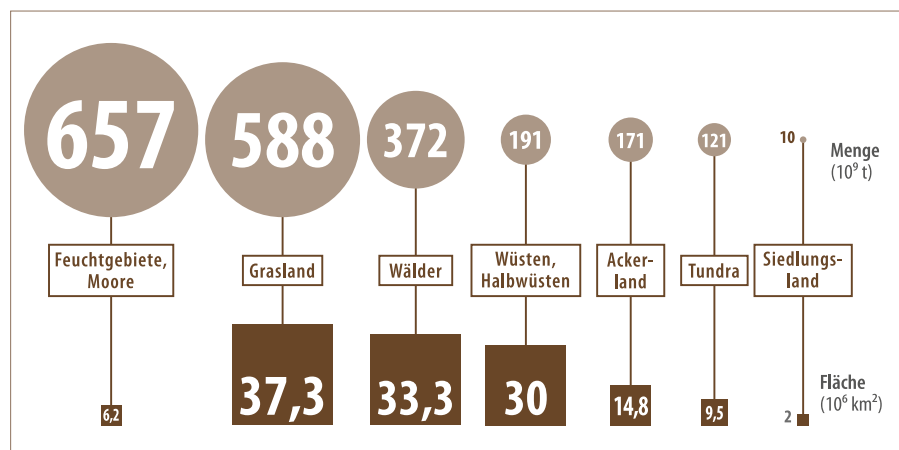
In den oberen Bodenschichten wird organisches Material durch verschiedene Bodenbildungsprozesse in stabile Kohlenstoffverbindungen umgewandelt.

- **Nicht abgebaute Pflanzenreste**

Unter anaeroben Bodenbedingungen können Pflanzenreste dauerhaft im Boden konserviert werden, zum Beispiel in Form von Torf.

Die Art der Nutzung beeinflusst dabei, wie viel Kohlenstoff-Atome in den Pflanzen und Böden oberirdisch und unterirdisch gespeichert werden (Abbildung B 11.2-1). Führen menschliche Eingriffe zu einer Umwandlung eines Ökosystems in ein anderes, kann dies dazu führen, dass Kohlenstoffdioxid entweder freigesetzt oder gebunden wird.

Abbildung B 11.2-1
Am wichtigsten
sind die Moore
Gespeicherter Kohlen-
stoff in verschiedenen
Ökosystemen in Europa
(LAL 2015)



Aufgaben

1. Erkläre die Überschrift der Abbildung B 11-3 «Am wichtigsten sind die Moore» mit den in der Grafik dargestellten Werten.

TIPP

Wandle Abbildung B 11-3 dafür so um, dass die Ökosysteme nach Speicherfähigkeit sortiert sind.

2. Kennzeichne in folgender Tabelle

- alle Veränderungen in der Landnutzung, die den Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre erhöhen mit einem «E»,
- alle, die ihn eher senken, mit einem «S» und
- solche, für die mit den vorliegenden Daten keine Entscheidung möglich ist, mit einem «X».

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Um zusätzliche Weidefläche für Rinder zu gewinnen, soll in Deutschland ein Waldstück gerodet und in extensives Grünland umgewandelt werden.	
Um zusätzliche Weidefläche für Rinder zu gewinnen, soll am Chiemsee ein Moor trockengelegt und in Grünland umgewandelt werden.	
Um die Anbaufläche für Weizen zu vergrößern, soll ein Waldstück in Brandenburg gerodet und in Ackerland umgewandelt werden.	
Um zusätzliches Futter für Weidetiere zu gewinnen, soll in Tansania ein Waldstück gerodet und in Grünland umgewandelt werden.	
Um Arbeitsplätze zu schaffen, soll auf einer Ackerfläche im Bayerischen Wald ein Gewerbegebiet errichtet werden.	

3. Die Entscheidung über die Nutzungsänderung einer Fläche sollte wertebasiert erfolgen. Dabei können verschiedene Werte in Konflikt stehen, wie euch folgendes Beispiel zeigt: Um dem Wohnungsmangel in München entgegenzuwirken, soll eine Grünlandfläche bebaut werden.

- 3.1 Formuliere zu dem in Aufgabe 3 genannten Beispiel je ein Pro- und Kontra-Argument, das für beziehungsweise gegen den Wohnungsbau spricht.

TIPP

Versetze dich dazu in die Lage eines Klimaaktivisten und eines Wohnungssuchenden.

- 3.2 Sammelt eure Argumente in einer Gruppe und ordnet ihnen jeweils eine zugehörige Wertvorstellung zu.
- 3.3 Diskutiert die Argumente in der Klasse und wägt sie gegeneinander ab, um im Anschluss zu entscheiden, ob ihr dieser Umwidmung der Fläche zustimmen würdet oder nicht.

B 12 Bodenbelastung durch Schadstoffe

Grundlegende Informationen

In diesem Modul setzen sich die SuS mit der Belastung von Böden auseinander. Dabei wurden vier anthropogene Schadstoffe gewählt:

- **Kunststoffe**, die in Form von Mikroplastik Bodenprozesse beeinflussen und erwiesenermaßen auch über den Boden in die Nahrungskette gelangen.
- **Pestizide** mit den Schwerpunkten Insektizide und Herbizide.
- **Schwermetalle**, die unter anderem auch noch nach dem Ende von bleihaltigen Pkw-Kraftstoffen in unseren Böden verbleiben.
- **Radioaktivität**, die gerade für die Böden in Bayern bedeutsam ist.

In Form eines Gruppenpuzzles mit vier Expertengruppen erarbeiten alle SuS jeweils einen der Schwerpunkte mit den Materialien im Anhang und aus dem Netz, mit dem gemeinsamen Ziel, am Ende fiktive Gesetzesvorschläge zu machen, welche die Belastung unserer Böden mit diesen Schadstoffen in Zukunft verringern.

Durchführung

Die Klasse simuliert in diesem Modul ein Parlament, das einen Gesetzesvorschlag einbringen will, der die Verringerung der Bodenbelastung mit Schadstoffen zum Ziel hat. Da ein großer Teil der Umweltgesetzgebung innerhalb der EU auf europäischer Ebene geregelt wird, bietet sich an, in der Simulation das Europaparlament zu wählen. Um sich fachlich in das Thema einzuarbeiten, bildet das Parlament nach der Methode eines Gruppenpuzzles Untergruppen. Dieser Ablauf (siehe Abbildung B 12-1) wird im Folgenden detailliert beschrieben, die Zeitangaben sind als Richtwerte anzusehen.

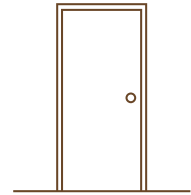
Phase 1

Im Plenum des Parlaments wird anhand einer aktuellen Zeitungsmeldung oder einer Information aus den Materialien in diesem Modul das Ziel formuliert, ein Gesetz zur Verringerung der Bodenbelastung zu verabschieden. Das Parlament wird anschließend in Beratungsgremien aus vier SuS geteilt, um vertiefte Diskussionen in kleinen Gruppen zu ermöglichen.

Phase 2

Die Lehrkraft gibt an die je vier SuS eines Beratungsgremiums die Spielanleitungen für die vier Experten aus (Anhang). Ziel eines jeden Beratungsgremiums ist es, am Ende von Phase 4 einen gemeinsamen Gesetzesvorschlag zu formulieren, der in Phase 5 im Plenum vorgestellt und verabschiedet werden soll. In jedem Beratungsgremium wird eine

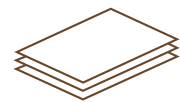
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und
Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

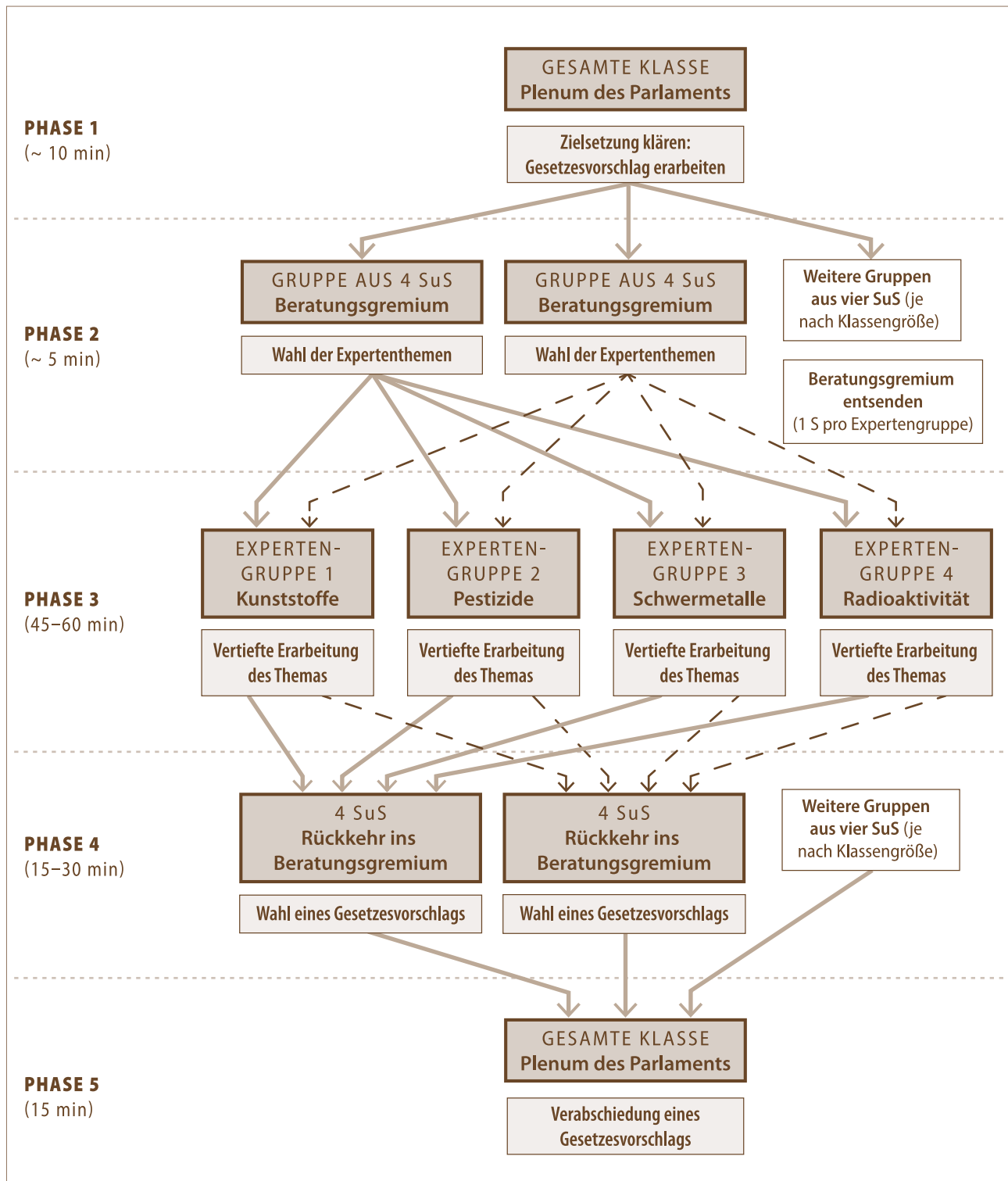
MATERIAL

- **Anlagen B 12.1**
- **Digitale Endgeräte** für zusätzliche Recherchen

Person zur Expertin oder zum Experten für ein Unterthema zum Schwerpunkt Bodenbelastung (entsprechend der vier Materialien in diesem Modul) ernannt. Dabei sollten die vier SuS in dieser Phase die Themen einvernehmlich nach Interesse untereinander aufteilen. Gleich danach verteilen sich die SuS auf die Expertengruppen.

Falls mit der Variante «Lobbyisten» gespielt wird, muss die Lehrkraft die SuS jetzt anders einteilen und instruieren (siehe unten).

Abbildung B 12-1
Schematischer Überblick der Spielanleitung



Phase 3 – Arbeit in den Expertengruppen:

Die Arbeitsweise in dieser Phase kann von der Lehrkraft frei gestaltet werden, alle Sozialformen und auch ein Wechsel zwischen diesen ist möglich. Jedem Experten steht das Material zu seinem Thema aus dem Anhang dieses Moduls zur Verfügung. Optional kann die zusätzliche Recherche im Internet ermöglicht werden. Zu Beginn sollten sich die SuS in dieser Phase in Einzelarbeit mit dem Material auseinandersetzen. Später können sich die Expertinnen und Experten der jeweiligen Themen in Gruppen sammeln, um Verständnisprobleme gemeinsam zu klären, Rechercheergebnisse zu teilen und eventuell schon diejenigen Punkte zu besprechen, die sie in der nächsten Phase in ihren Beratungsgremien teilen möchten. Am Ende dieser Phase sollten alle SuS ihr Expertenthema zusammenfassen können und eine Idee für einen Gesetzesvorschlag notieren, der die Situation der Böden in Bezug auf ihr Thema verbessert.

Phase 4 – Rückkehr ins Beratungsgremium:

Die SuS präsentieren die jeweiligen Ergebnisse zu ihrem Schadstoff den anderen Gruppenmitgliedern und stellen den konkreten Gesetzesvorschlag vor, den sie zu ihrem Thema erarbeitet haben. Anschließend muss sich jedes Beratungsgremium auf einen Gesetzesvorschlag einigen, den sie dem Plenum des Parlaments zur Verabschiedung empfehlen wollen.

ANMERKUNG

An dieser Stelle wird es manchen Gruppen schwerfallen, die «anderen guten Vorschläge» fallen zu lassen. Die Lehrkraft kann folgende Gedanken zu diesem Dilemma einbringen: Die parlamentarische Arbeit steht immer unter Zeitdruck und ein von einer breiten Mehrheit getragener Vorschlag hat mehr Aussicht auf Erfolg, als viele vereinzelte Vorschläge mit jeweils wenigen Unterstützern. Auch werden einige Ideen in der Klasse ohnehin mehrfach vorkommen. Für eine fruchtbare Plenumsdiskussion ist eine begrenzte Zahl zu diskutierender Vorschläge auf jeden Fall hilfreich.

Phase 5

Ein Schüler aus jedem Beratungsgremium stellt vor dem Parlament den aus Sicht der Gruppe dringendsten Gesetzesvorschlag zu einer gewählten Schadstoffklasse vor. Dieser Vorschlag muss begründet werden. Die Vorschläge werden an der Tafel oder digital gesammelt. Nachdem alle Beratungsgremien jeweils einen Vorschlag unterbreitet haben, kann noch eine offene Diskussion stattfinden, an der sich alle SuS unabhängig von ihrer vorherigen Gruppenzugehörigkeit beteiligen können. Am Ende stimmt die Klasse über die Gesetzesvorschläge ab, alle haben jeweils genau eine Stimme. Das Vorhaben mit den meisten Stimmen wird vom fiktiven Parlament beschlossen. Alternativ kann das Parlament auch alle Gesetze beschließen, die eine Mehrheit der Stimmen bekommen haben. Es kann anhand der abgegebenen Stimmen auch eine Prioritätenliste der Gesetzesvorschläge für die Zukunft erstellt werden.

HINWEIS

Falls einige SuS die Rolle von Lobbyisten übernommen haben, sollte abschließend die Funktion der Lobbyisten in der parlamentarischen Demokratie («dringend notwendige Berater» versus «heimliche Einflüsterer», «Influencer») im Unterrichtsgespräch thematisiert werden.

Optionale Spielvariante mit Lobbyisten

Lobbyisten verfolgen ein eigenes Ziel – sie wollen Gesetzesvorschläge, die zu einer Einschränkung der von ihnen vertretenen Interessengruppe führen, unbedingt verhindern! Die restliche Klasse wird nicht über die Anwesenheit von Lobbyisten informiert und die Lobbyisten müssen ihre Rolle so lange wie möglich geheim halten.

Änderungen im Spielverlauf

PHASE 2

Hier macht die Lehrkraft einige SuS heimlich zu Lobbyisten. Das kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- Die Lehrkraft teilt die SuS in Beratungsgremien zu je fünf SuS anstatt vier. In jedem Gremium steckt sie einer Person heimlich die Anweisungen für den Lobbyisten (Anhang) zu.
- Die Lehrkraft wählt unauffällig ein Beratungsgremium und gibt allen vier SuS die Anweisungen für den Lobbyisten. Die Lobbyisten müssen sich in Phase 4 unter einer selbst ausgedachten Ausrede einzeln auf die Beratungsgremien verteilen.
- Falls die Klasse sich nicht in Vierergruppen einteilen lässt, können überzählige SuS eine Lobbyistengruppe bilden, die sich ebenfalls in Phase 4 unter die Beratungsgremien mischen.

Es werden maximal so viele Lobbyisten gebraucht, wie «echte» Beratungsgremien mitspielen. Manche Beratungsgremien erhalten bei bestimmten Klassen-Größen keinen Lobbyisten. Beispiele:

SuS in Klasse	Beratungsgremien	Lobbyisten
24	5 × 4 SuS	4
25	5 × 4 SuS	5

PHASE 3

Lobbyisten arbeiten sich hier wie alle Parlamentarier in Einzelarbeit in ihr Expertenthema ein. Sobald es zu Austauschphasen kommt, sollten Lobbyisten die Belastung durch ihre Schadstoffklasse kleinreden, etwa nach dem Motto «Mikroplastik ist zwar blöd, aber Herbizide sind viel schlimmer beziehungsweise Herbizide verbieten bringt viel mehr».

PHASE 4

Lobbyisten sollten darauf hinarbeiten, dass das Beratungsgremium Gesetze gegen irgendeine der anderen drei Schadstoffklassen ins Parlament einbringt, aber keinesfalls eines, das ihre Interessengruppe einschränkt.

PHASE 5

Lobbyisten, die enttarnt wurden, stimmen nicht über die Gesetzesvorschläge mit ab.

Leistungserhebung

Eine Leistungserhebung ist nicht vorgesehen.

ANLAGE B 12.1

Rollenanleitungen

Experte

EXPERTE FÜR KUNSTSTOFFE

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Kunststoffen. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Klärt gemeinsam offene Fragen, diskutiert eure Ideen und formuliert Gesetzesvorschläge, die geeignet sind, die Belastung des Bodens mit Kunststoffen zu verringern. Wähle den Vorschlag, der dir am besten gefällt, für Phase 4.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück und stelle deinen Gesetzesvorschlag vor. Begründe deinen Vorschlag ausführlich. Anschließend stellen die anderen drei Experten ihre Themen vor. Dann einigt euch zu viert auf den Vorschlag, der euch am wichtigsten ist. Nur diesen einen könnt ihr in Phase 5 ins Parlament einbringen.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab.



Experte

EXPERTE FÜR PESTIZIDE

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Pestiziden. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Klärt gemeinsam offene Fragen, diskutiert eure Ideen und formuliert Gesetzesvorschläge, die geeignet sind, die Belastung des Bodens mit Pestiziden zu verringern. Wähle den Vorschlag, der dir am besten gefällt, für Phase 4.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück und stelle deinen Gesetzesvorschlag vor. Begründe deinen Vorschlag ausführlich. Anschließend stellen die anderen drei Experten ihre Themen vor. Dann einigt euch zu viert auf den Vorschlag, der euch am wichtigsten ist. Nur diesen einen könnt ihr in Phase 5 ins Parlament einbringen.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab.

Experte

EXPERTE FÜR SCHWERMETALLE

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Schwermetallen. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Klärt gemeinsam offene Fragen, diskutiert eure Ideen und formuliert Gesetzesvorschläge, die geeignet sind, die Belastung des Bodens mit Schwermetallen zu verringern. Wähle den Vorschlag, der dir am besten gefällt, für Phase 4.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück und stelle deinen Gesetzesvorschlag vor. Begründe deinen Vorschlag ausführlich. Anschließend stellen die anderen drei Experten ihre Themen vor. Dann einigt euch zu viert auf den Vorschlag, der euch am wichtigsten ist. Nur diesen einen könnt ihr in Phase 5 ins Parlament einbringen.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab.



Experte

EXPERTE FÜR RADIOAKTIVITÄT

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Radioaktivität. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Klärt gemeinsam offene Fragen, diskutiert eure Ideen und formuliert Gesetzesvorschläge, die geeignet sind, die Belastung des Bodens mit Radioaktivität zu verringern. Wähle den Vorschlag, der dir am besten gefällt, für Phase 4.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück und stelle deinen Gesetzesvorschlag vor. Begründe deinen Vorschlag ausführlich. Anschließend stellen die anderen drei Experten ihre Themen vor. Dann einigt euch zu viert auf den Vorschlag, der euch am wichtigsten ist. Nur diesen einen könnt ihr in Phase 5 ins Parlament einbringen.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab.

Lobbyist

LOBBYIST DER PLASTIKINDUSTRIE

GEHEIME ZIELE

Verteidige die Interessen der Plastikindustrie!

Lass dich dabei nicht erwischen!

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Kunststoffen. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Rede die Risiken der Bodenbelastung durch Kunststoffe wo immer möglich klein. Lenke die Aufmerksamkeit auf die anderen Schadstoffklassen.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück beziehungsweise schließe dich unter einem ausgedachten Vorwand einem dieser Gremien an. Stelle einen Gesetzesvorschlag vor, der deiner Lobby NICHT schadet. Sorge dafür (ablenken, relativieren, übertreiben, nur Nötigstes zugeben), dass dein Beratungsgremium einen Vorschlag wählt, der die Plastikindustrie möglichst wenig betrifft.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab. **Falls du enttarnt wurdest, darfst du nicht mit abstimmen!**



Lobbyist

LOBBYIST DER PESTIZIDPRODUZENTEN

GEHEIME ZIELE

Verteidige die Interessen der Pestizidproduzenten!

Lass dich dabei nicht erwischen!

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Pestiziden. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Rede die Risiken der Bodenbelastung durch Pestizide wo immer möglich klein. Lenke die Aufmerksamkeit auf die anderen Schadstoffklassen.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück beziehungsweise schließe dich unter einem ausgedachten Vorwand einem dieser Gremien an. Stelle einen Gesetzesvorschlag vor, der deiner Lobby NICHT schadet. Sorge dafür (ablenken, relativieren, übertreiben, nur Nötigstes zugeben), dass dein Beratungsgremium einen Vorschlag wählt, der die Pestizidproduzenten möglichst wenig betrifft.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab. **Falls du enttarnt wurdest, darfst du nicht mit abstimmen!**

Lobbyist

LOBBYIST DER BLEIHERSTELLER

GEHEIME ZIELE

Verteidige die Interessen der Bleihersteller!

Lass dich dabei nicht erwischen!

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Schwermetallen. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Rede die Risiken der Bodenbelastung durch Schwermetalle wo immer möglich klein. Lenke die Aufmerksamkeit auf die anderen Schadstoffklassen.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück beziehungsweise schließe dich unter einem ausgedachten Vorwand einem dieser Gremien an. Stelle einen Gesetzesvorschlag vor, der deiner Lobby NICHT schadet. Sorge dafür (ablenken, relativieren, übertreiben, nur Nötigstes zugeben), dass dein Beratungsgremium einen Vorschlag wählt, der die Bleihersteller möglichst wenig betrifft.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab. **Falls du enttarnt wurdest, darfst du nicht mit abstimmen!**



Lobbyist

LOBBYIST DER ATOMINDUSTRIE

GEHEIME ZIELE

Verteidige die Interessen der Atomindustrie!

Lass dich dabei nicht erwischen!

PHASE 3

Informiere dich in Einzelarbeit intensiv über die Belastung des Bodens mit Radioaktivität. Nutze vor allem die bereitgestellten Quellen, mit Erlaubnis der Lehrkraft auch das Internet. Triff dich dann mit anderen Experten zu deinem Thema. Rede die Risiken der Bodenbelastung durch Radioaktivität wo immer möglich klein. Lenke die Aufmerksamkeit auf die anderen Schadstoffklassen.

PHASE 4

Kehre ins Beratungsgremium zurück beziehungsweise schließe dich unter einem ausgedachten Vorwand einem dieser Gremien an. Stelle einen Gesetzesvorschlag vor, der deiner Lobby NICHT schadet. Sorge dafür (ablenken, relativieren, übertreiben, nur Nötigstes zugeben), dass dein Beratungsgremium einen Vorschlag wählt, der die Atomindustrie möglichst wenig betrifft.

PHASE 5

Jedes Beratungsgremium begründet einen Gesetzesvorschlag. Am Schluss stimmt das gesamte Parlament über die Vorschläge ab. **Falls du enttarnt wurdest, darfst du nicht mit abstimmen!**

THEMA 1

Kunststoffe

Du bist im Beratungsgremium für das Thema Bodenbelastung durch Kunststoffe zuständig. Deine Mitarbeiter haben dir eine Reihe von Materialien herausgesucht, mit denen du dich in dein Fachgebiet einarbeiten kannst.

1. Beschreibe die dargestellten Gefahren für Mensch und Umwelt durch Kunststoffe im Boden.
2. Identifiziere die wichtigsten Quellen für die Belastung der Böden mit Mikroplastik.
3. Erarbeite Vorschläge, die die Belastung der Böden mit Kunststoffpartikeln in Zukunft reduzieren.

M1 Herkunft von Kunststoffen in Böden

Kunststoffe (Plastik) werden bewusst und unbewusst in jeweils großen Mengen in den Boden ausgebracht. Zu den unbewussten Quellen zählen Reste von Pflanzentöpfen und Schutzfolien, die in vielen Bereichen der Landwirtschaft zum Einsatz kommen. Allerdings werden Saatgut und Kunstdünger auch bewusst mit einer Schutzschicht aus Kunststoff überzogen und mit diesem auf die Felder gebracht. Die Kunststoffhülle sorgt bei Langzeitdünger für eine kontinuierliche und langfristige Abgabe in den Boden.

Eine Studie aus dem Jahr 2021 kommt zu dem Ergebnis, dass in Deutschland allein durch Dünger mehrere Tausend Tonnen Plastik in unsere landwirtschaftlich genutzten Böden gelangen:

ART DER DÜNGUNG	PLASTIKEINTRAG [t/a]
Kompost und Gärreste	1.235
Klärschlamm	8.385
Umhüllte Düngemittel	2.520
Summe	12.140

Aber auch das Saatgut enthält große Mengen an Kunststoffen, insgesamt 87 Tonnen gelangen in Deutschland pro Jahr in die Böden. In der EU verwendetes Saatgut wird zum großen Teil gebeizt, das bedeutet, dass es vor der Aussaat mit einer Beschichtung aus (je nach Pflanze) Pflanzenschutzmitteln, Enzymen, Nährstoffen oder Kunststoffen überzogen wird. Die Tabelle listet die vier größten Kunststoffquellen auf:

NUTZPFLANZE	PLASTIKEINTRAG [t/a]	KUNSTSTOFF [g/ha*a]
Mais	26,3	10,2
Raps	24,1	18,6
Hülsenfrüchte	15,1	41,4
Zuckerrübe	14,7	36,8

Das Umweltbundesamt nennt zwei weitere Quellen, die immense Mengen von Mikroplastik freisetzen: Über Reifenabrieb aus dem Straßenverkehr gelangen schätzungsweise 130.000 bis 160.000 Tonnen/Jahr in die Umwelt. Und Kunstrasenplätze sorgen mit ihren kunststoffhaltigen Granulaten für weitere 1.500 bis 11.000 Tonnen Mikroplastikpartikel, die jährlich ungewollt in den Boden gelangen.

M2 Studien zur Aufnahme von Mikroplastik

In den letzten Jahren konnten mehrere Forschungsgruppen nachweisen, dass Pflanzen winzige Plastikpartikel über ihre Wurzeln aufnehmen. Ein Team aus Berlin und Potsdam zeigte, dass die Hänge-Birke (*Betula pendula*) 5 bis 50 Mikrometer große Mikroplastikteilchen aus dem Boden in ihren Seitenwurzeln einlagert (AUSTEN et al. 2022). Chinesische Arbeitsgruppen haben zwischen 0,2 und 1 Mikrometer große Mikroplastikteilchen in Salat nachgewiesen. Auch hier erfolgt die Aufnahme über die Wurzeln. Wenn die Partikel den Zentralzylinder erreichten, wurden sie über den Stängel bis in die Blätter transportiert (LI et al. 2019). Auch Weizenpflanzen nahmen in anderen Experimenten Mikroplastik auf. Es ist also inzwischen gut dokumentiert, dass Mikroplastik aus dem Boden über die Nahrungskette in nur einem Schritt den Menschen erreicht. Die Folgen der Mikroplastikaufnahme für den menschlichen Körper sind noch kaum erforscht, es wird jedoch vermutet, dass vermehrt Entzündungen des Magen-Darm-Trakts auftreten. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Niederlanden fanden 2022 Plastikpartikel > 700 Nanometer in über der Hälfte der untersuchten menschlichen Blutproben. Partikel der häufigsten Kunststoffe (unter anderem PE, PET, PS) wurden entdeckt und können vom Darm ins Blut gelangen.

M3 Daten zur Plastikgesetzgebung

(unter anderem aus BERTLING et al. 2021)

- Die EU-Düngeprodukteverordnung besagt, dass ab 2026 die Kunststoffe in umhüllten Düngemitteln spätestens 48 Monate nach Ende der Wirkungskdauer zu neunzig Prozent abgebaut sein müssen.
- In der EU-Pflanzenschutzmittelverordnung stehen keine Vorgaben zu Kunststoffen, eine Regulierung des Einsatzes von Mikroplastik wird von der EU-Kommission geplant.
- Das Saatgutverkehrsgesetz und die Saatgutverordnung enthalten keine Vorgaben zu Kunststoffen im Saatgut.
- Die Klärschlammverordnung sieht erst ab 2029 eine schrittweise Reduzierung des Ausbringens von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen vor. Ein Verbot ist nicht geplant.
- 2023 erließ die EU-Kommission ein Verbot von zugesetztem Mikroplastik für viele Verwendungen. Hersteller bekommen Zeit, ihre Produkte anzupassen. Das Verbot gilt für manche Kosmetika sofort, für andere nach vier bis zwölf Jahren und für Granulat auf Kunstrasenplätzen ab 2031.

THEMA 2

Biozide

Du bist im Beratungsgremium für das Thema Bodenbelastung durch Herbizide und Insektizide zuständig. Deine Mitarbeiter haben dir eine Reihe von Materialien herausgesucht, mit denen du dich in dein Fachgebiet einarbeiten kannst.

1. Beschreibe die in den Quellen dargestellten Gefahren für Mensch und Umwelt durch Herbizide und Insektizide (Oberbegriff Biozide).
2. Identifiziere die wichtigsten Ursachen für die Belastung der Böden mit diesen Schadstoffen.
3. Erarbeite Vorschläge, die die Belastung der Böden mit diesen Schadstoffgruppen in Zukunft reduzieren.

M1 Verwendung von Pestiziden in der Landwirtschaft

Herbizide werden eingesetzt, um auf dem Acker unerwünschte Pflanzen abzutöten, sodass die Feldfrucht keine Konkurrenten um Licht, Wasser und Mineralsalze hat. Am häufigsten eingesetzt werden Breitbandherbizide, die den Aufwuchs aller Pflanzen verhindern, bevor man aussät. Viele Herbizide stören den Eiweiß-Stoffwechsel der Pflanzen oder behindern die Fotosynthese.

Insektizide wirken meist auf das Nervensystem der Tiere und behindern die Übertragung von Informationen im synaptischen Spalt. Ziel ist es, Monokulturen bereits vor dem Massenaufreten vor Fressfeinden zu schützen, die auf diese spezialisiert sind (zum Beispiel Maiszünsler, Kartoffelkäfer). Sie schädigen vielfach auch andere Insekten und, wenn auch deutlich schwächer, Säugetiere und damit den Menschen. Fungizide werden gegen Pflanzenpilze eingesetzt, um Befall mit zum Beispiel Mehltau oder Rostpilzen zu bekämpfen, zum Beispiel bei Getreide oder Wein. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Pestiziden begründet der Schweizer Bauernverband wie folgt: «Wenn wir auf sämtliche Pflanzenschutzmittel verzichten würden, dann ginge die Schweizer Produktion um 20 bis 40 % zurück. In regnerischen Jahren könnten die Ernteausfälle noch viel höher ausfallen. Bei Spezialkulturen wie Reben, Gemüse, Obst, Kartoffeln, Zuckerrüben oder Raps müsste auch mal mit Totalausfällen gerechnet werden. Ohne Pflanzenschutzmittel verringert sich auch die Haltbarkeit von Lebensmitteln und Lagerverluste steigen.»

Die in Deutschland eingesetzten Mengen an Pflanzenschutzmitteln zeigt Abbildung B 12.1-1:

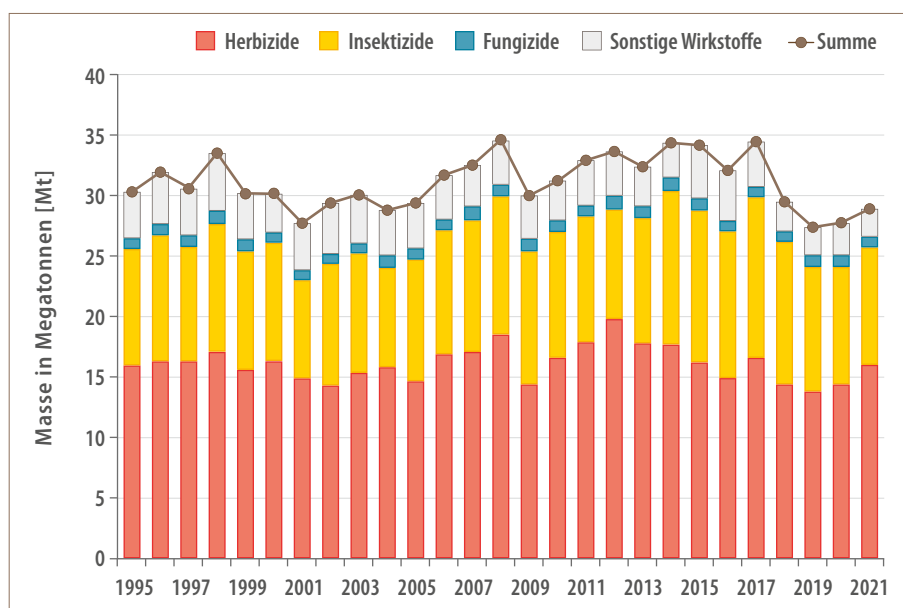


Abbildung B 12.1-1
Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt, verändert)

M2 Pestizide in Naturschutzgebieten

«Viele Naturschutzgebiete in Deutschland sind klein und oft umgeben von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Was dort passiert, hat auch Auswirkungen auf die Biotope, etwa weil Regen Düngemittel einwäscht oder der Wind Pestizide verdriftet. In welchem Umfang dies geschieht, zeigt eine Studie in Scientific Reports der freien Biologen Thomas Hörren und Martin Sorg vom Entomologischen Verein Krefeld mit einem Team um Gotthard Meinelt vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden. Der Krefelder Verein hatte 2017 mit einer Studie zum großen Insektenschwund in Deutschland bereits das Licht auf das Insektensterben gerichtet.

Die Biologinnen und Biologen hatten mit (...) Malaise-Fallen Insekten in 21 Schutzgebieten in verschiedenen Teilen Deutschlands gefangen und die Proben anschließend auf Pflanzenschutzmittel untersucht. Die Analyse erfolgte dabei auf 92 unterschiedliche Wirkstoffe, darunter gängige Fungi- und Insektizide in der Landwirtschaft. Zu den untersuchten Biotopen gehörten auch nach europäischen Richtlinien streng geschützte Ökosysteme wie Kalk- oder Silikatmagerrasen. In den Malaise-Fallen fanden sich zudem unterschiedlichste Insekten von Schwebfliegen über Schmetterlinge bis hin zu Käfern – eine große Bandbreite an Arten und ökologischen Gilden.

Im Schnitt wies die Arbeitsgruppe in den Insektenproben in jedem Schutzgebiet 16 unterschiedliche Pestizide nach, im Maximum fanden sich sogar 27 Pflanzenschutzmittel. Dazu zählten verschiedene Insektizide, die über breite Anwendung eine Vielzahl an Insekten töten sollen und die selbst noch bei kleinen Konzentrationen die biologische Leistungsfähigkeit der Tiere beeinträchtigen können, etwa indem sie die Orientierung oder die Fortpflanzungsfähigkeit der Kerbtiere beeinträchtigen. Ebenfalls festgestellt wurden Herbizide und Fungizide: Pflanzengifte können Nahrungspflanzen der Insekten dezimieren (...). Selbst das von der Europäischen Union mittlerweile gebannte Neonicotinoid Thiacloprid trat noch in 16 der Habitate auf, wahrscheinlich weil noch Restbestände aufgebraucht wurden.»

Quelle: www.spektrum.de/news/pestizide-insekten-sind-auch-in-naturschutzgebieten-belastet/1961491

vom 16.12.2021 (abgerufen am 30.03.2026)

M3 Geschichte des Totalherbizids «Glyphosat»

JAHR	EREIGNIS
1950	Glyphosat wird erstmals in der Schweiz synthetisiert.
1974	Nach Erwerb der Rechte an Glyphosat durch die US-amerikanische Firma Monsanto kommt der Wirkstoff als Herbizid unter dem Namen «Roundup®» auf den Markt.
1990er	Durch die Entwicklung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen, die resistent gegen Glyphosat sind, kann «Roundup®» nun auch in der Wachstumsphase eingesetzt werden. Zuvor mussten Unkräuter vor der Aussaat der Nutzpflanze bekämpft werden. In Nord- und Südamerika sowie Australien dominiert der Anbau glyphosatresistenter Nutzpflanzen, Glyphosat ersetzt so gut wie alle anderen Herbizide.
2010er	Glyphosat wird zunehmend kontrovers diskutiert. Während Befürworter die hohe Effizienz von Glyphosat und die Verhinderung von Bodenerosion (Umpflügen nicht notwendig) anführen, fürchten Kritiker hohe Verluste an Biodiversität durch dieses Herbizid und die möglicherweise krebserregende Wirkung von Glyphosat.
2016	Das deutsche Chemieunternehmen Bayer kauft Monsanto und wird damit zum weltweit größten Anbieter von Agrarchemie.
2017	Bundeslandwirtschaftsminister Christian Schmidt (CSU) stimmte in Brüssel für die Verlängerung der Zulassung des Unkrautvernichtungsmittels Glyphosat in der EU um fünf Jahre – und das ohne Zustimmung des SPD-geführten Umweltministeriums und gegen die Geschäftsordnung der Bundesregierung.
BIS 2020	Inzwischen haben weltweit etwa 50 Arten von Unkräutern eine Resistenz gegen Glyphosat entwickelt.
11.2023	Die EU-Kommission verlängert die Zulassung von Glyphosat in der EU um zehn Jahre. Gleichzeitig verurteilt ein Gericht im US-Bundesstaat Missouri die Firma Monsanto zu über 1,5 Milliarden Dollar Schadensersatz an Kläger, die ihre Krebserkrankung mit der jahrelangen Verwendung von Glyphosat begründen. Die Bayer AG will in Berufung gehen.
HEUTE	Heute ist Glyphosat sowohl mengen- als auch flächenmäßig das weltweit am meisten eingesetzte Herbizid. Die weltweite Produktion liegt bei zirka 850.000 t/a, Hauptproduzent ist China.

Daten aus: www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/192697/index.php
(abgerufen am 30.03.2026)



Abbildung B 12.1-2
Entscheidung in Brüssel zieht sich
(Zeichnung:
Luis Murschetz,
auf sueddeutsche.de
am 13.10.2023)

THEMA 3

Schwermetalle

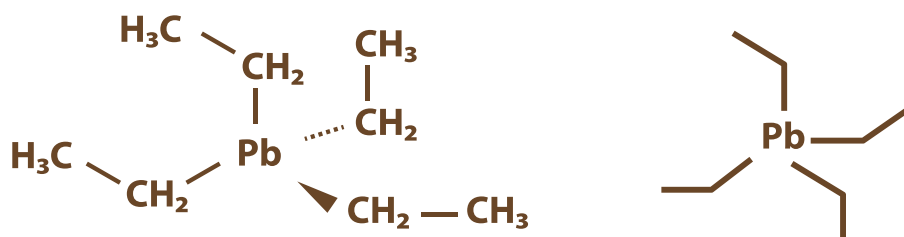
Du bist im Beratungsgremium für das Thema Bodenbelastung durch Schwermetalle zuständig. Deine Mitarbeiter haben dir eine Reihe von Materialien herausgesucht, mit denen du dich in dein Fachgebiet einarbeiten kannst.

1. Beschreibe die in den Quellen dargestellten Gefahren für Mensch und Umwelt durch Schwermetalle im Boden.
2. Identifiziere die wichtigsten Ursachen für die Belastung der Böden mit diesen Schadstoffen.
3. Erarbeite Vorschläge, die die Belastung der Böden mit Schwermetallen in Zukunft reduzieren.

M1 Tetraethylblei als Zusatzstoff in Benzin

Die metallorganische Verbindung Tetraethylblei wurde lange Jahre dem Benzin für Automobile zugesetzt. Dies sollte die Lebensdauer des Verbrennungsmotors erhöhen, indem eine vorzeitige Zündung des Gasgemischs im Kolben, das sogenannte Klopfen, durch Tetraethylblei verhindert wird. Die Abbildung zeigt Tetraethylblei als Halbstruktur- und als Skelettformel. Das Bleiatom ist dabei direkt an vier Ethylreste gebunden.

Abbildung B 12.1-3
Strukturformel von
Tetraethylblei



Noch zu Beginn der 1970er-Jahre wurden in der BRD etwa 7.000 Tonnen Tetraethylblei pro Jahr verbraucht. Aufgrund der hohen Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt wurde verbleites Benzin nach und nach in allen Ländern der Erde verboten (siehe Tabelle). Ein weiterer Grund war, dass Bleiverbindungen den Dreiwegekatalysator zerstören – Autos mit Katalysator können somit nur bleifreies Benzin tanken. Als umweltverträgliche Ersatzstoffe verwendet man heute zum Beispiel bestimmte Ether. Allerdings wird Tetraethylblei auch heute noch im Treibstoff für Kleinflugzeuge verwendet, auch in Deutschland (AvGas 100LL, Bleigehalt: 0,56 Gramm pro Liter).

LAND	VERBOT TETRAETHYLBLEI
USA	1996
DEUTSCHLAND	1996
EU	2000
CHINA	2001
ALGERIEN	2021

M2 Blei in Lebensmitteln

Auch nach dem Verbot von Tetraethylblei im Kfz-Benzin emittiert der Straßenverkehr große Mengen Blei durch den Abrieb von Bremsen und Reifen. Dazu kommen Emissionen aus der metallverarbeitenden Industrie und der Verbrennung fossiler Energieträger, die von Natur aus Spuren von Blei enthalten.

Wie Studien in Berlin zeigten, sind Obst und Gemüse, welche in der Nähe viel befahrener Straßen angebaut worden waren, mit den Schwermetallen Blei und Kadmium belastet. Bei weniger als zehn Meter Abstand zur Straße lagen zwei Drittel aller Gemüseproben über dem EU-Grenzwert für Blei, bei über zehn Meter überschreitet noch ein Drittel diesen Grenzwert. Im Boden oder bodennah wachsendes Gemüse war stärker belastet als Obst an Bäumen.

M3 Schwermetalleinträge in Bayern

«Schwermetalle werden aus vielfältigen Quellen freigesetzt, vor allem in der Industrie, aber auch im Verkehr und in der Landwirtschaft. Sie sind meist an Aerosole gebunden und werden so über die Luft weiträumig verteilt. Durch die Ablagerung von Staubpartikeln und Niederschläge (Regen, Schnee, Nebel) gelangen sie auf Böden und Pflanzen. Technische Entwicklungen spielen dabei eine große Rolle. Beispielsweise wurde in den 1990er-Jahren der krebserregende Stoff Asbest in Bremsbelägen durch eine Verbindung ersetzt, die das Schwermetall Antimon enthielt. Dadurch wurde beim Bremsen Antimon freigesetzt und zum Teil weit verfrachtet. Im Schwermetallmonitoring wurde daraufhin ein erheblicher Anstieg von Antimon beobachtet. Die anschließende Diskussion um den Schadstoff führte dazu, dass Antimon durch andere Verbindungen ersetzt wurde und diese Einträge mittlerweile erheblich zurückgegangen sind. Dafür haben Metalle wie Bismut, Molybdän und Zinn die Funktion des Elements Antimon in Bremsbelägen übernommen.

Der Eintrag von Antimon und anderen giftigen Schwermetallen belastet die Umwelt auf lange Sicht: Sie sind nicht abbaubar und werden nur sehr langsam aus den natürlichen Stoffkreisläufen entfernt. Sie können Ökosysteme, aber auch den menschlichen Organismus schädigen, etwa wenn sie über die Atemluft oder die Nahrung in den Körper gelangen. Akute Schäden in Ökosystemen sind bei der Größenordnung derzeitiger Hintergrundeinträge zwar nicht bekannt, doch erhöht sich das Risiko dafür, je mehr Schwermetalle sich mit der Zeit anreichern.

In Bayern nahm der Indikator für Schwermetalleinträge aus der Luft noch bis 2010 ab. Dieser Trend hat sich nicht mehr fortgesetzt, da die Staubeinträge seit Anfang der 2010er-Jahre wieder deutlich zugenommen haben. Gründe dafür könnten längere niederschlagsfreie Zeiträume sein sowie die Staubaufwirbelung von versiegelten Flächen, die stetig zunehmen. Allerdings gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Schwermetallen: Während zum Beispiel die Einträge von Blei und Zink, Bismut und Zinn im aktuellen Bewertungszeitraum (2012 bis 2021) keinen eindeutigen Trend aufweisen, steigen in der Erdkruste enthaltene Metalle, die zum Beispiel über massive Saharastaubereignisse eingetragen werden, deutlich an.

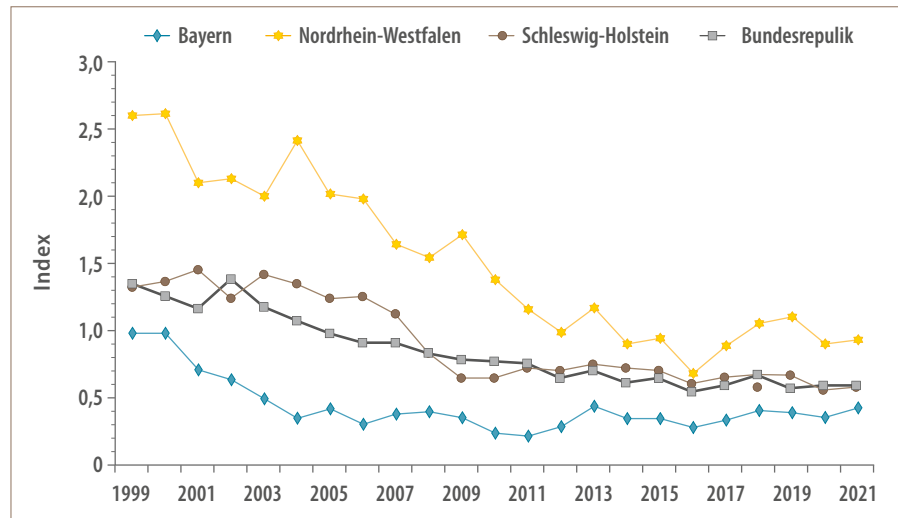
Um die Umweltbelastung durch Schwermetalle zu verringern, muss sich vor allem auch das Verhalten von Verbraucherinnen und Verbrauchern verändern. Wer Produkte wie Smartphones, die Schwermetalle und seltene Erden enthalten, länger nutzt und das Auto öfter stehen lässt, setzt weniger Schwermetalle frei.»

Quelle: www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/umwelt_gesundheit/schwermetalleintrag/index.htm

(abgerufen am 30.03.2026)

M4 Schwermetalleinträge in Deutschland

Abbildung B 12.1-4
Schwermetalleintrag
aus der Atmosphäre in
naturnahe, waldfreie
Ökosysteme (Quelle:
Länderinitiative Kern-
indikatoren 2024)
[www.liki.nrw.de/
umwelt-und-gesundheit/
c6-schwermetalleintrag](http://www.liki.nrw.de/umwelt-und-gesundheit/c6-schwermetalleintrag)



Der Index ist ein Indikator für den Eintrag von 14 Elementen (As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn) über die Luft in naturnahe, waldfreie Ökosysteme und gibt Hinweise auf die Gesamtemissionen inklusive Verkehr und Industrie.

M5 Auswirkungen von Schwermetallen auf Lebewesen

Das Umweltbundesamt schreibt auf seiner Webseite:

«Blei und seine Verbindungen werden über die menschliche Lunge gut resorbiert. Dennoch nimmt die Allgemeinbevölkerung Blei hauptsächlich über die Nahrung auf. Besonders bei Kindern schädigen schon geringe Mengen das Nervensystem, sodass sie hinsichtlich ihrer mentalen Entwicklung gefährdet sind. Bei Erwachsenen zeigen sich bei chronischer Vergiftung Wirkungen auf das blutbildende System, Bluthochdruck und weitere unspezifische Symptome. Blei und seine anorganischen Verbindungen sind bei der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) als möglicherweise/wahrscheinlich krebserregend eingestuft.»

Tetraethylblei ist eine lipophile Verbindung und kann deswegen leicht die Blut-Hirn-Schranke überwinden und eine akute Vergiftung auslösen. Auch viele Verbindungen anderer Schwermetalle (zum Beispiel Antimon, Arsen und Chrom) sind für den Menschen giftig.

Quelle:

[https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/
metalle-im-feinstaub/blei-im-feinstaub#gesundheitsrisiken](https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/metalle-im-feinstaub/blei-im-feinstaub#gesundheitsrisiken)

(abgerufen am 30.03.2026)

THEMA 4

Radioaktivität

Du bist im Beratungsgremium für das Thema Bodenbelastung durch Radioaktivität zuständig. Deine Mitarbeiter haben dir eine Reihe von Materialien herausgesucht, mit denen du dich in dein Fachgebiet einarbeiten kannst.

1. Beschreibe die in den Quellen dargestellten Gefahren für Mensch und Umwelt durch Radioaktivität im Boden.
2. Identifiziere die wichtigsten Ursachen für die Belastung der Böden mit Radioaktivität.
3. Erarbeite Vorschläge, die die Belastung der Böden mit Radioaktivität in Zukunft reduzieren.

M1 Informationen zum Isotop Caesium-137 (Cs-137)

Caesium-137 (Cs-137) ist ein radioaktives Isotop des Metalls Cäsium. In der Natur kommt Cs-137 nicht vor, es entsteht nur durch menschliche Nutzung von Nukleartechnik. Es zerfällt mit einer Halbwertszeit von etwa 30 Jahren, das bedeutet, alle 30 Jahre halbiert sich die Menge an Cs-137 und damit auch die Menge an freigesetzter Strahlung. Cs-137 setzt sowohl Beta- als auch Gammastrahlung frei.

M2 Belastung von bayerischen Wildschweinen mit Cs-137

Im Jahr 2023, also 37 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, der viel Cs-137 freigesetzt hatte, sind Wildschweine in Bayern immer noch vergleichbar stark mit diesem Isotop belastet wie in der Zeit kurz nach dem Unglück. Inzwischen ist allerdings über die Hälfte des 1986 freigesetzten Cs-137 zerfallen, weswegen die Belastung in anderen Tieren wie etwa Rehen auch stark zurückging. Dies trifft allerdings weiterhin nicht auf Wildschweine zu, von denen im Jahr 2023 immer noch 88 % so stark mit Cs-137 belastet sind, dass ihr Fleisch nicht verzehrt werden darf. Wissenschaftler der Technischen Universität Wien und der Leibniz Universität Hannover lösten nun dieses «Wildschweinparadoxon». Sie fanden heraus, dass Cs-137 im Waldboden nur sehr langsam in tiefere Schichten vordringt, wo es dann unter anderem von den Hirschtrüffeln aufgenommen wird, einem Pilz, den Wildschweine im Winter bevorzugt fressen. Sie konnten mittels Isotopenanalyse zudem zeigen, dass das Cs-137 in den Hirschtrüffeln noch aus Atomwaffentests der 1960er-Jahre stammt. Die hohe Belastung von Bayerns Wildschweinen mit Cs-137 hat also zwei Quellen und man muss davon ausgehen, dass ein Großteil des in Tschernobyl freigesetzten Cs-137 immer noch die Bodenschichten durchwandert und erst in der Zukunft die Hirschtrüffel und damit die Wildschweine erreichen wird.

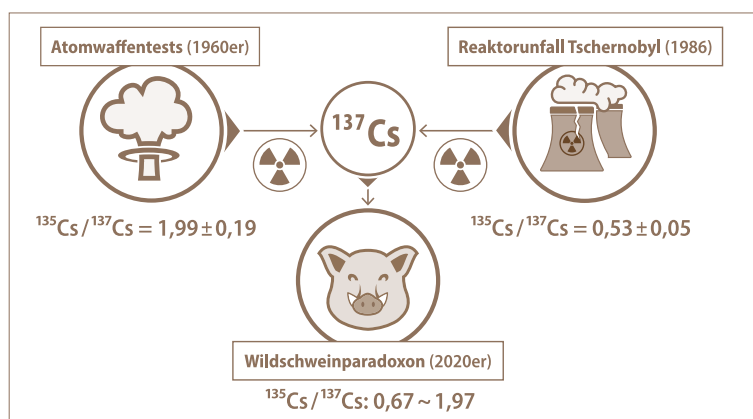


Abbildung B 12.1-5
Der hohe Anteil von Cs-135 in bayerischen Wildschweinen verrät den Ursprung der Radioaktivität (Ausgangsbild aus STÄGER et al. 2023, CC-by 4.0)!

M3 Nutzung von Nukleartechnologie in einigen Ländern Europas

(Stand 2023)

LAND	ZIVILE NUTZUNG VON NUKLEARTECHNIK	MILITÄRISCHE NUTZUNG
DEUTSCHLAND	Ende der Nutzung von Kernenergie 2011 beschlossen, 2023 umgesetzt	Nein, aber Kernwaffen von Verbündeten im Land
FRANKREICH	18 Kernkraftwerke am Netz	Ja
VEREINIGTES KÖNIGREICH	Fünf aktive Kernkraftwerke, aktuell werden zwei weitere gebaut und zwei weitere geplant	Ja
ÖSTERREICH	Ein Kernkraftwerk wurde gebaut, aber nie in Betrieb genommen.	Nein
FINNLAND	Zwei aktive Kernkraftwerke, der Bau eines dritten wurde nach dem russischen Angriff auf die Ukraine gestoppt	Nein
RUSSLAND	Elf Kernkraftwerke am Netz, drei im Bau	Ja
TSCHECHIEN	Zwei aktive Kernkraftwerke, seit 2019 gibt es Planungen zum Ausbau der Kernenergie	Nein

M4 Auswirkungen von radioaktiver Strahlung auf Lebewesen

Radioaktivität setzt unterschiedliche Arten ionisierender Strahlung frei. Das Bundesamt für Strahlenschutz schreibt auf seiner Internetseite:

«Zur ionisierenden Strahlung gehören elektromagnetische Strahlung (Röntgen- und Gammastrahlung) und Teilchenstrahlung (zum Beispiel Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung). Die wichtigste Eigenschaft der ionisierenden Strahlung ist, dass sie genügend Energie hat, um Atome und Moleküle zu ionisieren. (...) Wenn ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper trifft, können Schäden in einzelnen Zellen oder Geweben entstehen. Das liegt daran, dass die Strahlungsenergie chemische Verbindungen (Moleküle) auseinanderbrechen kann. Auch einzelne Elektronen, also elektrisch geladene Teilchen, können aus Verbindungen herausgeschlagen werden. So kann Strahlung direkt Biomoleküle der Zelle, wie zum Beispiel Proteine oder DNS (Moleküle, die die Erbinformation tragen) schädigen. Andererseits kann Strahlung auch mit dem Wasser interagieren, das in Zellen reichlich vorhanden ist, und Radikale bilden. Diese sehr reaktionsfreudigen Stoffe können wiederum auf Biomoleküle treffen und weitere schädliche Prozesse anstoßen. Für Spätfolgen einer Strahlenexposition sind Veränderungen der DNA von besonderer Bedeutung. (...) Ob und in welchem Ausmaß eine Strahlenexposition zu einem gesundheitlichen Schaden führt, hängt von der absorbierten Strahlenmenge, der Strahlenart und davon ab, welches Organ oder Gewebe des Körpers hauptsächlich betroffen ist. Strahlenschäden können auch durch ionisierende Strahlung aus natürlichen Quellen (zum Beispiel Radon) entstehen.»

Quelle: www.bfs.de/DE/themen/ion/ion_node.html

(abgerufen am 30.03.2026)

B 13 Wir tun was für den Boden!

Grundlegende Informationen

Im Gegensatz zum Naturschutz, zum Beispiel in Wäldern oder wertvollen Feuchtgebieten, rückt der Bodenschutz und damit auch die darin siedelnden Bodenlebewesen erst in jüngerer Zeit in den Fokus der Öffentlichkeit und der Politik. Die Bedeutung als Kohlenstoffdioxidspeicher und die Folgen der Bodenzerstörung durch Übernutzung und Erosion werden immer deutlicher.

Damit die Problematik für die SuS begreifbar und erlebbar wird, sollen konkrete Aktionen auf dem Schulgelände den Bodenschutz verbessern. Diese Erfahrungen können die Lernenden auch mit nach Hause nehmen und dort idealerweise in die Praxis umsetzen. Einige Aktionen lassen sich mit wenig Aufwand umsetzen. Bei einem langfristigen Projekt wie einem «Schwammstadt-Projekt» (siehe Abbildung B 13-1) sollte die ganze Schulgemeinschaft involviert werden und mit dem Schulforum, der Schulleitung, der SMV und den Elternvertreter einen Aktionsplan erstellen.

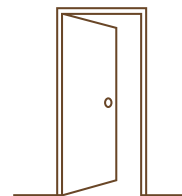
Durchführung

Das Outdoormodul kann vom Frühjahr bis zum Herbst durchgeführt werden. Die Entsiegelung kann auch im Winter erfolgen.

Leistungserhebung

Leistungserhebungen sind nicht vorgesehen.

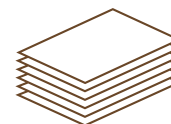
Ort



Dauer

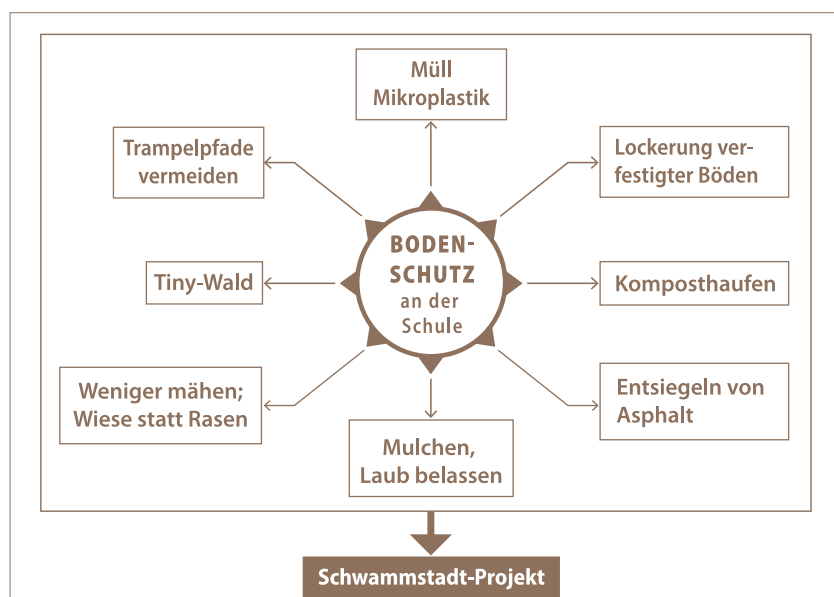


Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	



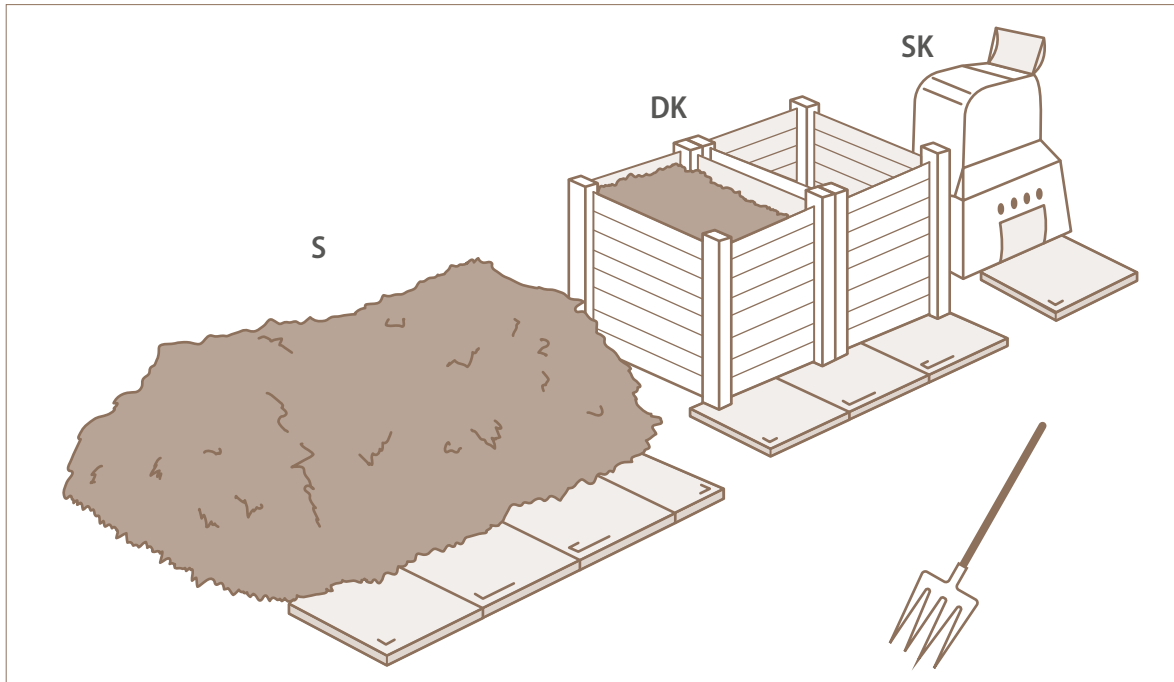
MATERIAL

- An Gartenarbeit **angepasste Kleidung**
- **Wasserwaage, Gartengeräte** wie Schubkarre, Gabeln, Handschuhe, Gartenschere
- **Erste-Hilfe-Kasten**

Abbildung B 13-1
Möglichkeiten für Bodenschutz an Schulen

ANLAGE B 13.1**Wir legen einen Komposthaufen an!**

In einem Komposthaufen kann man nicht nur den Abbauprozess der Biomasse durch Bodenlebewesen kennenlernen, sondern der Kompost ist auch ein Überwinterungsort für Wirbeltiere wie Blindschleichen und Igel.

**Abbildung B 13.1-1**

S = Kompostsammelplatz, DK = Doppelkammer-Kompostbehälter, SK = Schnellkomposter

QR-Code B 13.1-2

YouTube-Video:
<https://youtu.be/NIM3A12sViQ?si=uXSOQtancbkV1Nod>



Am besten legt man einen Komposthaufen im Frühling oder Herbst an. Die SuS können bereits bei der Festlegung des Kompostplatzes aktiv werden, indem sie eine Skizze anfertigen und den Platz ausmessen. Der Standort sollte ebenerdig auf normalem Gartenboden an einem schattigen Platz im Schulgarten sein. Damit die Bodenlebewesen wie Regenwürmer in den Kompost einwandern können, darf der Untergrund nicht mit Steinen ausgelegt oder betoniert sein. Am besten verwendet man ein Kompostgestell aus dem Baumarkt, welches ein FSC-Label aufweist. Wenn man mehr Zeit zur Verfügung hat, kann man auch aus Europaletten und einigen Winkeln selbst mit wenig Aufwand einen Kompostrahmen anfertigen (QR-Code B 13-2 zeigt eine beispielhafte YouTube-Anleitung, wie man einen Komposthaufen selbst bauen kann).

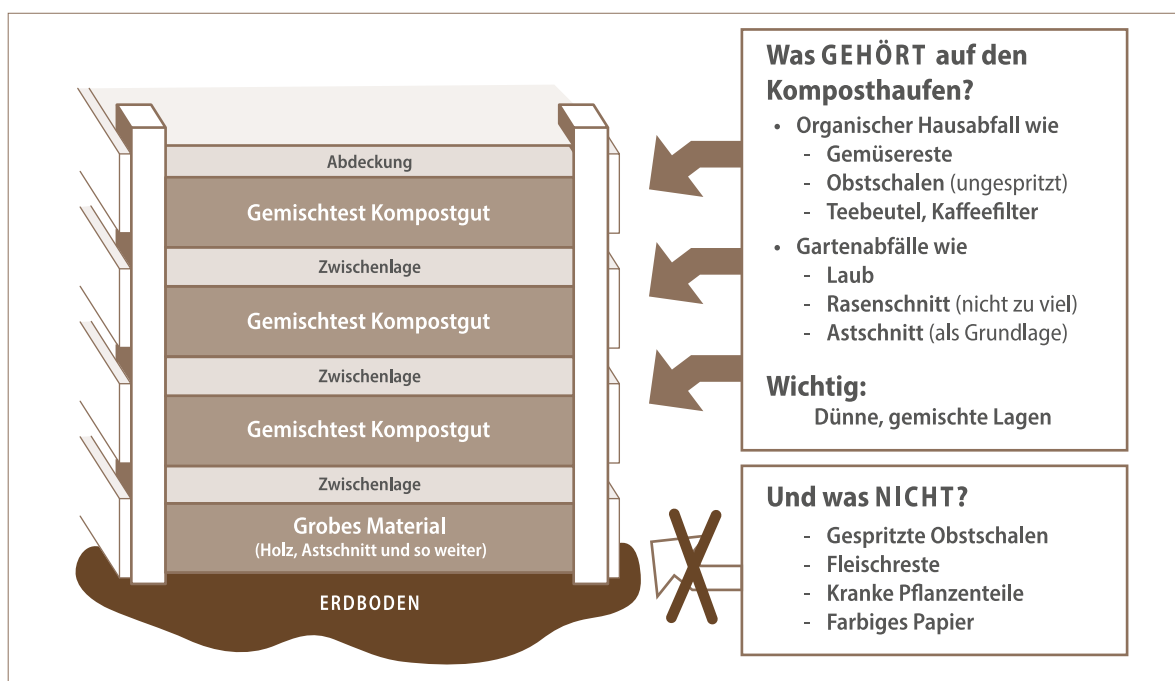
Neben dem Komposthaufen kann man frisches Material auf einem Sammelplatz (S) lagern und später aufschichten. Für ein größeres Schulgelände ist auch ein Doppelkammer-Kompostbehälter (DK) zu empfehlen. So kann man immer einen neuen und einen reifen Komposthaufen im Wechsel betreiben. Vorne sollte der Rahmen abnehmbare Latten besitzen, damit man ihn bequem nach und nach befüllen und dann auch den fertigen Kompost entnehmen kann. Weniger geeignet sind Schnellkomposter (SK), da man darin die Vorgänge weniger gut beobachten kann.

Der Kompostrahmen wird an den Ecken auf je zwei Ziegelsteinen gelagert und mit der Wasserwaage horizontal ausgerichtet. Die erste Schicht über dem Gartenboden dient der Luftzufuhr und sollte deshalb wasserdurchlässig sein, damit keine Stauflüssigkeit eintritt. Deshalb streut man eine etwa 20 cm hohe Schicht mit grobem Material wie Reisig, Strauch- und Baumschnitt oder Holzhäcksel ein. Danach werden die einzelnen Schichten des kompostierbaren Materials locker aufgebracht. Vor dem Aufsetzen werden die Ausgangsstoffe mit einer Grab- oder Mistgabel gemischt: gröberes mit feinerem, trockenes mit feuchtem Material. Küchenabfälle und Wildunkräuter sollten nur in die Mitte des Haufens eingebaut werden, weil dort die höchsten Temperaturen herrschen. Nach je 30 cm kann eine Zwischenlage dünn mit halbfertigem Kompost oder lehmiger Gartenerde bestreut werden. Ist eine Höhe von maximal 1,30 Metern erreicht, so kann man auf den offenen Komposthaufen noch eine etwa 5 Zentimeter dicke Schutzschicht aus Staudenschnitt, Stroh, Ziergras-Schnitt oder langem Grasschnitt geben, damit der Haufen im Sommer nicht zu stark austrocknet beziehungsweise damit Regen auch abfließen kann. Währenddessen kann neues Material in einem zweiten Kompost gesammelt werden. Nach etwa 6 bis 9 Monaten ist der Kompost meist fertig. Noch nicht vollständig zersetztes Material kann auch noch einmal umgesetzt beziehungsweise wieder in einen neuen Komposthaufen eingebracht werden.

Wozu kann der Kompost verwendet werden?

- Aussaaterde für Setzlinge im Schulgarten:
Je 1 Liter Reifekompost + Sand + Gartenerde
- Für Zimmerpflanzen:
5 Liter Reifekompost, 2 Liter Gartenerde, 3 Liter Sand
- Direkter Einsatz im Schulgarten:
Zum Mulchen von Beeten und Sträuchern

Abbildung B 13.1-3
Aufbau der Kompostschichten



ANLAGE B 13.2

Tiny-Wald

Ein kleiner Wald für jede Schule

Die Idee dieser Miniwälder stammt ursprünglich aus Japan und Indien. Dort wurden in den 70er-Jahren auf degradierten Böden oder versiegelten Böden tennisplatzgroße Wälder nach der Miyawaki-Methode angelegt. Von dort schwappte die Bewegung nach Belgien und in die Niederlande als erste europäische Länder. In Deutschland wurden die ersten Tiny-Wälder 2019 gepflanzt (Bönningstedt Hamburg). Die Idee ist also noch recht jung und damit fehlen noch langjährige Erfahrungen. Die Mindestgröße für einen Miniwald ist 100 bis 200 m², allerdings gibt es auch welche mit bis zu 2.000 m². Dabei werden zunächst 2 bis 7 Baumsetzlinge pro Quadratmeter gepflanzt, von denen sich in 20 Jahren 0,5 bis 2 Bäume durchsetzen können. In den ersten Jahren sollte unter den Setzlingen regelmäßig gemulcht werden, um die Bodenbildung zu unterstützen und den Krautaufruchst und die Austrocknung einzudämmen. In so einem Miniwald kann die Bodenbildung eines Laubwaldes sehr gut beobachtet werden. Im Gegensatz zu echten Waldökosystemen stellt sich hier ein naturähnlicher Zustand bereits in 25 bis 30 Jahren ein, da hier keine Grasstadien und Buschstadien die Sukzession verzögern. Wenn der Miniwald zu hoch wächst und die Stämme Oberarmstärke erreichen, kann man die Vegetation alle 10 bis 20 Jahre auf Bodenhöhe abschneiden. So entsteht mit der Zeit eine niederwaldartige Vegetation.

Empfehlungen für heimische Baumarten

Weiden (*Salix spec.*), Ahorne, (*Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. campestre*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Birke (*Betula pendula*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Eichen (*Quercus robur*, *Q. petraea*)

Empfehlungen für heimische Sträucher

Holunder (*Sambucus spec.*), Hartriegel (*Cornus mas*, *C. sanguinea*), Europäische Hasel (*Corylus avellana*), Schlehe (*Prunus spinosa*), Weißdorn (*Crataegus spec.*), Wildrosen (*Rosa spec.*)



Abbildung B 13.2-1
Mitte 2023 gepflanzter
Tiny-Wald in Darmstadt
(Foto: MIYA-Forest)

Module W 1–W 13

WIRBELLOSE ENTDECKEN

W 1 Bestimmungsmethoden Wirbellose

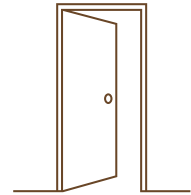
Grundlegende Informationen

Tiere finden

Die wesentliche Voraussetzung, um Tiere bestimmen zu können, ist eine entsprechend große Anzahl an Tieren zu haben. Die am wenigsten motivierende Variante ist es, die Lebewesen lediglich medial vermittelt zu präsentieren (zum Beispiel mit Bildern). Beeindruckender ist die Arbeit mit Präparaten, doch am spannendsten ist es für die Lernenden, die Tiere selber zu sammeln. Dafür eignen sich vor allem folgende Fangmethoden:

QR-CODE	FANGMETHODE	LINK
	Ausgraben und Freilegen sowie Berlese-Apparatur	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/berlesefalle.mp4
	Exhaustor	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/exhaustor.mp4
	Barberfalle	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/barberfalle.mp4
	Klopfschirm	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/klopfschirm.mp4
	Kescher	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/kescher.mp4
	Lichtfalle	www.biologie.uni-muenchen.de/studium/lehrerbildung_lmu/videos-download/fangmethoden/lichtfalle.mp4

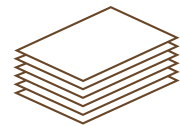
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen			
Erkenntnisgewinn			
Kommunikation			
Bewertung			

MATERIAL

- **S_AG 1.1 Arbeitsblatt:** Wiesen am Ende des Winters
- Eventuell **Endgeräte** zur Internetrecherche
- Eventuell **Bestimmungsbücher** für die Exkursion

Das Fangen wirbelloser Tiere gehört für die meisten Lernenden zu den motivierendsten Lerngegenständen des Biologie-Unterrichts überhaupt. Viele Kinder packt ein regelrechtes «Jagdfieber». Nicht nur aus diesem Grund

wurden entsprechende Kompetenzen und Inhalte in den Lehrplan als verbindliche Lerninhalte aufgenommen. Bei einem Unterrichtsgang in ein Ökosystem bietet es sich an, die Lernenden verschiedene Fangmethoden in einem Stationenlernen erproben zu lassen. Das freie Entdecken der unglaublichen Vielfalt an Lebewesen steht in dieser unterrichtlichen Phase im Vordergrund (**Anlage W1.1**).

Dabei ist eine Einweisung durch die Lehrkraft über den Umgang mit den Lebewesen von besonderer Bedeutung, damit die Tiere keinen Schaden nehmen. Die gefangenen Tiere sollten an einem (schattigen) Ort für alle Lernenden sichtbar ausgestellt werden. Nicht flugfähige Insekten können in durchsichtigen Plastikdöschen oder Becherlupen aufbewahrt werden. Für fliegende Insekten eignen sich Druckverschlussbeutel besonders gut, da die Tiere dadurch immobilisiert werden und kaum Schaden an den Flügeln nehmen. Zu einem sorgsamem Umgang gehört auch, die Lebewesen wieder an derselben Stelle freizulassen, an der sie gesammelt wurden. Rechtliche Aspekte zum Fangen und Umgang mit Tieren werden bei den entsprechenden Modulen in dieser Handreichung und im **Kapitel 4** aufgeführt und werden deshalb an dieser Stelle nicht im Detail beschrieben.

Natürlich können diese Unterrichtsphase auch Forschungsfragen begleiten, die die Lernenden in Gruppen bearbeiten und ihre Ergebnisse in einem naturwissenschaftlichen Protokoll dokumentieren. Besonders gut geeignet sind Vergleichsuntersuchungen, wobei natürlich nur eine Bedingung variiert werden darf. Folgende Liste zeigt nur eine kleine Auswahl an einfach zu bearbeitenden Forschungsfragen:

1. Fängt man in einer Barberfalle mehr Tiere auf einem Acker oder in einem Wald?
2. Kann man in einem extensiv oder einem intensiv bewirtschafteten Grünland mehr Tiere aus den Pflanzen keschern?
3. Lassen sich aus Waldboden, Kompost oder einem Ackerboden mehr wirbellose Tiere freilegen?
4. Von welchem Gehölz lassen sich die meisten wirbellosen Tiere abklopfen?

Diese Fragen sind natürlich nur als Anregungen zu verstehen und könnten beliebig variiert werden. Wichtig ist dabei, dass die Lernenden die jeweilige Untersuchungsmethode selbst planen und dabei die entsprechenden Variablen kontrollieren, um die Ergebnisse vergleichen zu können.

Beispiel

Mit dem Fanggerät sollte exakt zehnmal im entsprechenden Lebensraum gekeschert und danach alle gefangenen Tiere gezählt werden.

Erkennen und Bestimmen von Arten

Die Fähigkeit, Arten zu erkennen und zu bestimmen, hat nicht nur eine schulische, sondern auch eine gesellschaftliche und persönliche Relevanz für die Lernenden. Um den Verlust an biologischer Vielfalt bewusst wahrnehmen zu können, braucht es Wissen darüber, welche Vielfalt es überhaupt gibt. Nur wer beispielsweise einen Schwalbenschwanz erkennt, wird die Art vermissen, wenn sie ausgestorben ist. Das Wissen um die Arten ist somit eine Grundvoraussetzung für die Bereitschaft, biologische Vielfalt zu schützen und natürlich auch notwendig, um Schutzprogramme zu entwickeln. Aber taxonomische Bildung ist auch von persönlicher

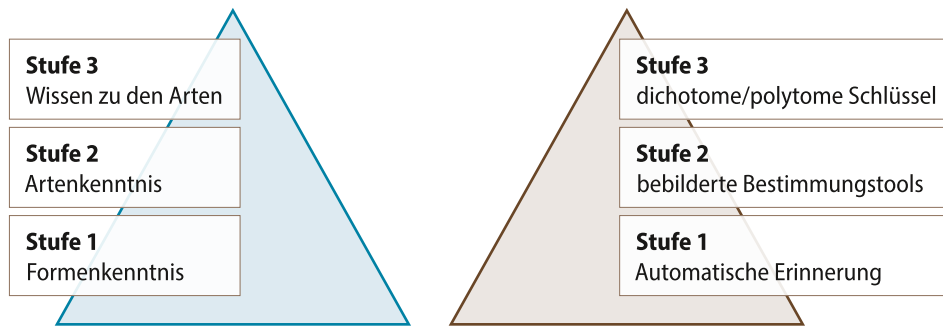


Abbildung W1-1
Kompetenzstrukturmodell
der taxonomischen Bildung
nach GERL (2022)

Relevanz für jeden Einzelnen. Die Fähigkeit, unbekannte Arten mit geeigneten Werkzeugen zu identifizieren, bietet nicht nur Kindern und Jugendlichen einen Zugang zur Erschließung der Welt. Pathetisch ausgedrückt sind Bestimmungstools eine gute und aufregende Möglichkeit, mit anderen Lebewesen in Kontakt zu treten und sie beim Namen zu nennen.

Taxonomische Bildung umfasst sowohl Sachkompetenz als auch die Kompetenz, Erkenntnisse zu gewinnen (GERL & AUFLEGER 2022). Beide Teilbereiche lassen sich in drei Stufen untergliedern (Abbildung W1-1)

Sachkompetenz (Fachwissen)

Im Bereich der wirbellosen Tiere überschreitet das Anspruchsniveau in der schulischen Bildung selten die Stufe 1. Für die Lernenden reicht es in der Regel aus, ein Tier einer übergeordneten taxonomischen Gruppe zuzuordnen, ohne die Art zu erkennen. Im konkreten Fall der Insekten sollten SuS adulte Tiere einigen Ordnungen (zum Beispiel Käfer, Heuschrecken, Libellen) zuordnen können.

Bei einigen sehr attraktiven und leicht zu beobachtenden Tagfaltern (zum Beispiel Zitronenfalter, Tagpfauenauge) könnte eine ambitionierte Lehrkraft mit den SuS auch die Stufe 2 erreichen. Bei vielen vermeintlich bekannten Käfer-Arten ist bei der Artbestimmung Vorsicht geboten, da es oft mehrere ähnliche Spezies gibt. Ein entsprechendes Beispiel wären der Siebenpunkt-Marienkäfer (*Coccinella septempunctata*) und der Asiatische Marienkäfer (*Harmonia axyridis*), die ähnlich aussehen, aber nicht einmal zur gleichen Gattung gehören (Abbildung 2). Ein wichtiges Lernziel ist dabei die genaue Betrachtung der einzelnen Individuen, um auch feine Unterschiede wahrzunehmen und so auf die Vielfalt der Wirbellosen aufmerksam zu machen (GERL 2023).



Abbildung W1-2

Siebenpunkt-Marienkäfer
(links, Foto: Jürgen/Pixabay)
und Asiatischer Marienkäfer
(rechts, Foto: JHenning/
Pixabay)

Eine Übung zur Unterscheidung dieser beiden Marienkäfer-Arten findet sich auf der Homepage des BISA-Projekts:
www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/k%C3%A4fer/352-kannst-du-diese-marienk%C3%A4fer-arten-unterscheiden



Doch unabhängig davon, auf welcher systematischen Ebene die Tiere erkannt werden sollen, ist von der Lehrkraft ausreichend Übungszeit einzuplanen. Diese Trainingsphase kann durch interaktive Elemente, die sich selbst korrigieren, spielerisch gestaltet werden. Im Folgenden sind einige solcher Übungen verlinkt:

QR-CODE	TIERGRUPPE	LINK
	Tagfalter zuordnen (Einsteiger)	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/schmetterlinge/70-tagfalter-erkennen-f%C3%BCr-fortgeschrittene
	Tagfalter zuordnen (Profis)	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/schmetterlinge/71-tagfalter-zuordnungs%C3%BCbung-f%C3%BCr-profis
	Tagfalter erkennen	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/schmetterlinge/75-tagfalter-quiz-wie-viele-arten-erkennst-du
	Käfer zuordnen	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/k%C3%A4fer/265-k%C3%A4fer-1
	Käfer Memory	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/k%C3%A4fer/269-k%C3%A4fer-memory-1
	Weitere Übungen zu Käfern	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/k%C3%A4fer
	Zweiflügler zuordnen	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/zweifl%C3%BCgler/272-zweifl%C3%BCgler-1
	Stechende Insekten zuordnen	www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/zweifl%C3%BCgler/273-was-sticht-denn-da

Zusammenfassend betrachtet sollte das Hauptaugenmerk in dieser Jahrgangsstufe bei der Sachkompetenz (= Fachwissen) auf dem Erkennen von übergeordneten Taxa und nicht auf dem Erkennen einzelner Arten liegen.



Abbildung W1-3
Prinzipielle Möglichkeiten
der Bestimmung

Erkenntnisgewinnung

Durch die Verfügbarkeit digitaler Medien haben sich die Möglichkeiten, Lebewesen zu bestimmen, in den letzten Jahren stark verbessert. Neben (teuren) Büchern, die eher auf die Verwendung durch fortgeschrittene Nutzerinnen und Nutzer ausgelegt sind, stehen andere Bestimmungstools zur Verfügung, für deren Einsatz weniger Vorkenntnisse nötig sind. Abbildung W1-3 gibt einen Überblick über die vier möglichen Varianten zur Identifikation von Arten (GERL et al. 2020).

Im Folgenden sollen diese unterschiedlichen Varianten anhand konkreter Beispiele für den unterrichtlichen Einsatz beschrieben werden. Die Entscheidung, welche Methode von den Lernenden angewendet werden soll, hängt mit den Lernzielen der Unterrichtseinheit zusammen und sollte vorab von der Lehrkraft didaktisch abgewogen werden.

BEBILDERTE LITERATUR

Die klassischen Bilderbücher waren über viele Jahre hinweg das am häufigsten im Unterricht eingesetzte Werkzeug zur Bestimmung von Arten. Durch den Vergleich der Merkmale des Originals mit jenen der abgebildeten Spezies sollte die Art identifiziert werden. Dieses Verfahren besticht durch seine vermeintlich einfache Umsetzung, liefert aber leider sehr häufig falsche Ergebnisse.

Ein großes Problem ist die Auswahl der Abbildungen in den «Bilderbüchern», die nur einen kleinen Teil der möglichen Arten umfassen kann. Dieser Mangel wird durch digitale Bild-Datenbanken behoben, in denen Bilder von einer Vielzahl an Arten frei zur Verfügung stehen. Im Folgenden ist eine kleine Auswahl an solchen digitalen Bilder-Sammlungen zusammengestellt:

- www.NABU-naturgucker.de
- www.insektenbox.de
- www.naturspaziergang.de
- www.digital-nature.de/tierwelt/tierstartseite.htm

Doch Vorsicht: Durch die bloße Erhöhung der Anzahl verfügbarer Bilder wird das Bestimmungsergebnis oft nicht besser, sondern eher schlechter. Durch die Fülle an Abbildungen fällt die Auswahl der passenden Spezies sehr schwer, da gerade Anfängerinnen und Anfänger die Unterschiede zwischen den Arten kaum wahrnehmen. Grund dafür ist die falsche Gewichtung von Merkmalen für die Bestimmung. Leicht zu sehende Merkmale (zum Beispiel Färbung), die für die Bestimmung aber wenig relevant sein können, erhalten bei der Unterscheidung der Arten mehr Gewicht als schwieriger zu erkennende Charakteristika (zum Beispiel Form der Fühler), die häufig ignoriert werden.

Aus diesem Grund ist die Bestimmung von Arten anhand von Bildern NICHT mehr zu empfehlen, weil es inzwischen bessere Möglichkeiten gibt.

DICHOTOME SCHLÜSSEL

Profis nutzen dichotome Schlüssel, die den Weg der Bestimmung vorgeben, indem die Ausprägung bestimmter Merkmale so lange miteinander verglichen wird, bis nur noch ein Taxon in Frage kommt. Dabei können die Informationen entweder in Textform beschrieben oder in Kombination mit Bildern präsentiert werden. Bei korrekter Anwendung führt dieser Weg sicher zum gesuchten Taxon. Da die Nutzung dieser Schlüssel zum Teil aber langwierig und dadurch fehleranfällig ist, ist diese Art der Bestimmung eher mühsam und die entsprechenden Bücher entsprechend unbeliebt.

Durch die Möglichkeit, passende Merkmale in digitalen Medien direkt anklicken zu können und zur nächsten Entscheidung automatisch weitergeleitet zu werden, hat sich das Handling im Umgang mit diesen Schlüsseln jedoch deutlich verbessert. Deshalb erleben vor allem bebilderte dichotome Schlüssel derzeit eine Renaissance. Für Gruppen mit nicht allzu vielen Taxa und gut sichtbaren äußeren Merkmalen eignet sich diese Methode auch in der unterrichtlichen Praxis. Ein gutes Beispiel ist die Bestimmung von Insektenordnungen.

QR-Code W1-4

Interaktive Bestimmungsübungen für Insekten auf der Webseite des BISA-Projektes (<https://www.bisa100.de/lernen/insekten/biotopia-insektenkurs>)





[BISA START](#) [BISA LERNEN](#) [BISA SPIELEN](#) [BISA ENTDECKEN](#)

WORKSHOP ZUR ARTENVIELFALT DER INSEKTEN AM BIOTOPIA LAB





Viel Spaß beim Entdecken der faszinierenden Vielfalt der Insekten!

Auf der Homepage des BISA-Projektes findet sich eine Übung zur Bestimmung von Insektenordnungen mit Hilfe eines dichotomen Schlüssels mit interaktiven Aufgaben, die sich automatisch korrigieren.

Natürlich eignen sich einfache dichotome Schlüssel auch für den direkten Einsatz im Freiland. Entsprechende Bestimmungsblätter werden in diesem Band in den **Modulen W1a bis g** zur Verfügung gestellt und können in laminierter Form auf Exkursionen mitgeführt werden.

AUTOMATISCHE ERKENNUNG

Während Apps zur automatischen Bestimmung von Lebewesen durch Mustererkennung bei Pflanzen (zum Beispiel Flora Incognita) schon sehr treffsicher sind, sind entsprechende Programme für Wirbellose im Moment noch nicht so ziel-sicher. Der Fortschritt geht aber schnell und jedes weitere Bild macht die Software ein bisschen besser.

Neben der großen Zahl an eher kleinen Arten, die sich morphologisch sehr ähneln, ist das größte Hindernis bei der automatischen Erkennung von Wirbellosen meist die Bildqualität. Für gute Ergebnisse sollten die Tiere im Makromodus des Smartphones möglichst formatfüllend und von unterschiedlichen Seiten aufgenommen werden. Aktuell bereits recht sicher sind diese Programme bei der Bestimmung von (größeren) Insekten mit auffälligen Merkmalskombinationen (zum Beispiel Tagfalter, Heuschrecken, Libellen).

Tatsächlich ist die Entwicklung solcher Algorithmen im Moment ein dynamisches Feld, der zusätzliche Erkenntnisgewinn ist hoch. Deshalb lohnt es sich, die einschlägigen Foren oder App-Stores regelmäßig nach neuen Versionen oder Programmen zu durchsuchen. Eine Möglichkeit ist die App ObsIdentify.

Da ObsIdentify für die Identifikation der Arten auch Standortdaten nutzt, werden die Funde in eine Datenbank eingetragen, die allen interessierten Personen offensteht. Somit ist die Nutzung der App auch ein Teil eines Citizen Science-Ansatzes, bei dem wir alle Forschende bei der Sammlung von Daten unterstützen können. Zudem kontrollieren aktuell noch menschliche Experten im Hintergrund den Algorithmus und helfen so den Nutzerinnen und Nutzern bei der Art-Bestimmung.

EXPERTENWISSEN IN BESTIMMUNGSFOREN

Gerade Anfänger sind sich häufig unsicher, ob das Bestimmungsergebnis auch tatsächlich richtig ist. In solchen Fällen wäre die Bestätigung durch eine Expertenmeinung sehr wünschenswert. Doch im Unterricht stehen diese Expertinnen und Experten in der Regel nicht persönlich zur Verfügung. Doch auch hier hilft die Nutzung digitaler Medien weiter. In Internetforen beantworten Profis Bestimmungsanfragen. Dies gilt im Übrigen auch für entsprechende Gruppen in sozialen Netzwerken, die aber aus Datenschutzgründen in der Schule nicht genutzt werden dürfen.

Die Nutzung der auf der Folgeseite genannten Foren kann auch als Beitrag zur Medienerziehung angesehen werden. In vielen Fällen ist eine Anmeldung erforderlich. Die Lernenden, die Klasse oder die Schule muss sich also Gedanken über entsprechende Accounts machen. Darüber hinaus fördert der Umgang mit externen Expertinnen und Experten die Einübung einer entsprechend

freundlichen Kommunikation im Netz. Schließlich verbessert die notwendige Anfertigung von detailliertem Bildmaterial auch die Fähigkeiten der Lernenden im Umgang mit den verschiedenen Einstellmöglichkeiten ihrer Kamera.

Folgende Liste zeigt für einige Gruppen von Wirbellosen besonders empfehlenswerte Foren:

QR-CODE	TIERGRUPPE	LINK
	Alle Tiergruppen	www.NABU-naturgucker.de
	Alle Tiergruppen	https://insektenfotos.de/forum/index.php
	Alle Tiergruppen	www.insektenforum.com
	Schmetterlinge	https://lepiforum.org
	Käfer	www.kerbtier.de
	Heuschrecken	www.orthoptera.ch
	Spinnen	https://forum.arages.de/index.php

Unterrichtliche Umsetzung

In den **Modulen W1a** bis **f** werden einige im schulpraktischen Einsatz erprobte Bestimmungsmaterialien für ausgewählte Gruppen der Wirbellosen (insbesondere Insekten) beschrieben. Der grundlegende Arbeitsauftrag ähnelt sich dabei in allen Fällen, denn im Wesentlichen geht es darum, im Freiland beobachtete, als Präparate im Klassenzimmer vorhandene oder auf Bildern gezeigte Tiere einer systematischen Kategorie zuzuordnen.

Beispiel

Ermittle mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Bestimmungsliteratur, um welche Tierarten es sich handelt beziehungsweise zu welcher Tiergruppe die Tiere gehören.

Möchte die Lehrkraft in ihrem Unterricht einen Schwerpunkt auf die Bestimmung von Lebewesen legen oder im Sinne der Binnendifferenzierung unterschiedliche Anforderungsniveaus innerhalb der Klasse anbieten, lässt sich dieser grundlegende Arbeitsauftrag durch folgende Varianten erweitern.

1. Mehr Tiere

Eine sehr einfache Form der Binnendifferenzierung ist die Ausgabe von weiteren zu bestimmenden Tieren an Lernende, die schneller fertig sind. Da viele Kinder diesen Auftrag eher als die Lösung eines Rätsels empfinden und dementsprechend oft intrinsisch motiviert sind, kann diese zusätzliche Aufgabe als Belohnung empfunden werden.

2. Unbestimmbare Tiere

Ein wesentlicher Aspekt bei der Erkenntnisgewinnung ist, die Grenzen der Methode wahrzunehmen. SuS glauben oft, dass alle gestellten Aufgaben mit den gegebenen Hilfsmitteln lösbar sein müssen, weil sie genau dieses Szenario im Unterrichtsalltag oft erleben. Aus wissenschaftlicher Sicht sind aber keineswegs alle Probleme lösbar und viele Fragen bleiben offen. Deshalb lohnt es sich aus wissenschaftspropädeutischer Sicht, die Lernenden an solche Unsicherheiten zu gewöhnen.

Die Bestimmung von Lebewesen eignet sich für diesen Umgang mit Unsicherheit als vertiefendes Lernziel besonders gut, da den meisten Kindern auch ohne einen direkten Hinweis durch die Lehrkraft klar ist, dass bei der Vielzahl an Wirbellosen nicht alle mit einem einzigen Bestimmungsmaterial zu identifizieren sind. Die Aufgabe der Lehrkraft besteht nun darin, die Arten so auszuwählen, dass ein Großteil mit dem gegebenen Material zu bestimmen ist, aber einige wenige auch nicht. Für den Lernerfolg besonders wichtig ist es, NICHT im Vorfeld anzukündigen, dass unter den Arten einige mit dem vorhandenen Material nicht bestimmbare Taxa sind, sondern die Lernenden selbst die Grenzen der Bestimmungsliteratur entdecken zu lassen.

3. Vergleich verschiedener Bestimmungsmethoden

Eine besonders elegante Möglichkeit zur Binnendifferenzierung ist, es den Lernenden verschiedene Bestimmungstools anzubieten, mit denen sie dieselben Exemplare identifizieren sollen. Durch Vergleich der einzelnen Methoden in arbeitsteiliger Gruppenarbeit oder im klassischen Unterrichtsgespräch ergibt sich eine Meta-Ebene, in der die Lernenden eigene Güte-Kriterien für den Einsatz bestimmter Bestimmungswerkzeuge aufstellen. Von SuS oft genannte Kriterien sind:

- Schnelligkeit
- Einfache Bedienung
- Spaßfaktor
- Korrektheit der Bestimmung

Das Ziel einer solchen Unterrichtseinheit ist es dabei, die von den Lernenden genannten Gütekriterien zu gewichten, denn die Korrektheit der Bestimmung sollte natürlich wichtiger sein als die Schnelligkeit. Sehr lohnend kann es auch sein, die Kinder Vorschläge erarbeiten zu lassen, wie die weniger «beliebten» Methoden attraktiver gemacht werden könnten.

Die folgenden Module sollten zu folgenden Jahreszeiten durchgeführt werden:

MODUL	TIERGRUPPE	JAHRESZEITEN
W 1 a	Regenwürmer	März bis Mai, Oktober–November
W 1 b	Schnecken	April bis Oktober
W 1 c	Heuschrecken	Juni bis Oktober
W 1 d	Tagfalter	Mai bis September
W 1 e	Ameisen	Mai bis September
W 1 f	Insektenordnungen	Mai bis September

ANLAGE W 1.1**Wirbellose Tiere fangen**

QR-Code W1.1-1
BISA – Insekten fangen

Stellt euch vor, ihr werdet als Forschungsteam auf eine abgelegene Insel geschickt, um dort noch unerforschte, wirbellose Tiere zu entdecken. Um zu überprüfen, ob eure Ausrüstung einwandfrei funktioniert, macht ihr einen Test, bei dem ihr in Gruppen versucht, mit einer von euch gewählten Methode so viele Tiere wie möglich zu fangen.



Vorsicht: Bitte achtet auf einen sorgsamen Umgang mit den von euch gefangenen Tieren!

1. Schaut euch die Videos zur jeweiligen Fangmethode an, wählt dann eine der in der Tabelle beschriebenen Methoden aus und fangt dann innerhalb der vorgegebenen Zeit so viele Tiere wie möglich!
2. Überführt je ein Tier aus eurem Fangbehälter vorsichtig in die Aufbewahrungsgefäße. Bestimmt, zu welcher Tiergruppe das Exemplar gehört, und tragt die Funde in die folgende Tabelle ein. Macht von jedem gefangenen Tier ein Foto!

		FANGMETHODE			
		Keschern	Barberfalle	Klopfschirm	Auflesen
TIERGRUPPE	Wurmartige				
	Schnecken mit Haus				
	Schnecken ohne Haus				
	Ameisen				
	Weberknechte				
	Spinnen				
	Käfer				
	Fliegen				
	Bienen oder Wespen				
	Heuschrecken				
	Schmetterlinge				
	Wanzen				
	Schwebfliegen				
	Hundertfüßer				
	Tausendfüßer				
	Sonstige				

3. Erstellt ein Diagramm, das die Anzahl der gefangenen Tiere aus den verschiedenen Gruppen für jede Fangmethode zeigt! Damit das Diagramm nicht zu unübersichtlich wird, nehmt nur die Organismengruppen auf, von denen ihr mindestens drei gefangen habt.
4. Tauscht euch zwischen den Gruppen über die jeweiligen Fangmethoden aus und beschreibt, für welche Gruppe von wirbellosen Tieren sie sich besonders gut eignet.



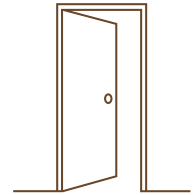
W 1a Bestimmung von Regenwürmern

Grundlegende Informationen

Der nachfolgende Bestimmungsschlüssel ermöglicht eine Bestimmung der bayerischen Regenwurm-Arten bis auf Gattungsniveau. Für die Bestimmung bis auf Artniveau ist Spezialliteratur (CHRISTIAN & ZICSÍ 1999) erforderlich.

Hinweise zum Finden, Fangen und Umgang mit Regenwürmern finden sich in **Modul B 5**.

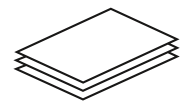
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen			
Erkenntnisgewinn			
Kommunikation			
Bewertung			

ANLAGE W 1a.1

Bestimmung von Regenwürmern

Bei dieser Art von Bestimmungsschlüssel werden dir immer zwei Alternativen, zum Beispiel 1 und 1* vorgeschlagen, die du vergleichen musst. Vergleiche dazu die Informationen in der mittleren Spalte. Du fängst mit den Ziffern 1 und 1* an und liest die beiden ersten Zeilen. Jetzt musst du dich zwischen den Alternativen in den beiden Zeilen entscheiden und dann zu der neuen Ziffer, die in der rechten Spalte steht, gehen. Dort vergleichst du wieder beide Alternativen.

Wenn in der dritten Spalte der Namen steht, hast du das Ende des Bestimmungsschlüssels erreicht. Als Entscheidungshilfe kannst du auch die Bilder unter dem Bestimmungsschlüssel verwenden.

Grundlegende Informationen zum Körperbau von Regenwürmern:

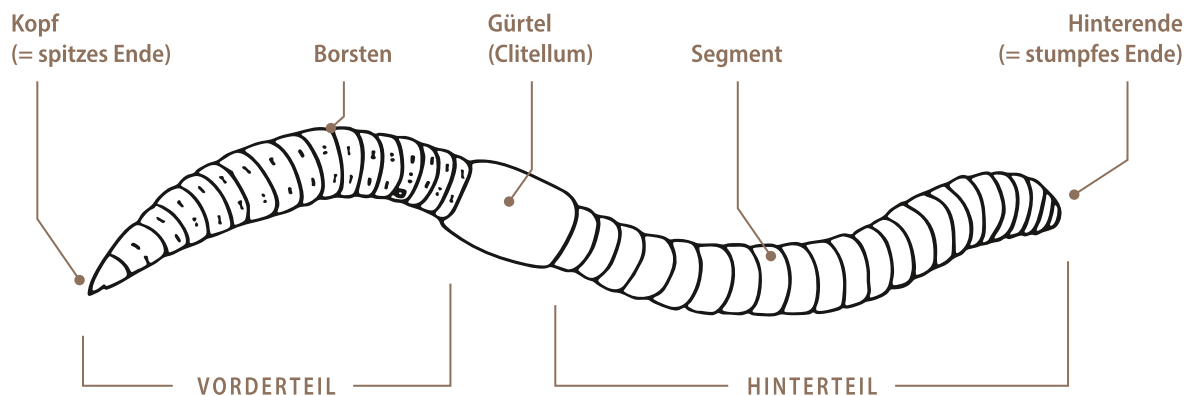
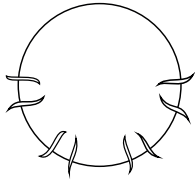
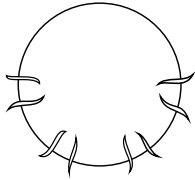


Abbildung W1 a.1-1
Schematischer Körperbau eines Regenwurms

Bestimmungsschlüssel

NUMMER	BESTIMMUNGSMERKMALE	ERGEBNIS
1	Körperoberfläche, besonders am Rücken, stets rot pigmentiert TIPP: Am Rücken haben Regenwürmer keine Borsten. Falls du dir unsicher bist, lege den Regenwurm auf den Boden, dann dreht er den Rücken nach oben.	Weiter zu 2
1*	Körperoberfläche, besonders am Rücken, nie rot pigmentiert (Der Rücken ist entweder andersfarbig, schwarz, grau, bläulich oder grünlich punktiert oder nicht pigmentiert.)	Weiter zu 4
2	Hinterende mehr oder weniger spatelförmig abgeplattet Lebensraum: Im Boden lebende, Röhren grabende Regenwürmer (7 Arten) 	Lumbricus
2*	Hinterende nicht spatelförmig abgeplattet Lebensraum: Über dem Erdboden lebend , in verrottendem, organischem Material, im Kompost, in der Streuschicht oder in verrottenden Baumstümpfen lebende Arten.	Weiter zu 3
3	Furchen zwischen den Segmenten gelb und intensive Absonderung von gelblichem Schleim Lebensraum: In Kompost lebend (4 Arten) 	Eisenia
3*	Furchen zwischen den Segmenten nicht gelb ; ohne gelblichen Schleim Lebensraum: In verrottender Waldstreu auf Waldböden und in morschen Baumstümpfen lebend (9 Arten)	Dendrobaena
4	Hinterleib (hinter dem Gürtel) im Querschnitt deutlich viereckig geformt (siehe Gattungsname: tetraedra!) Lebensraum: In dauerhaft wassergesättigten Böden lebend ; in Gewässernähe dauerhaft unter Wasser lebend (Mit 2–4 mm Durchmesser relativ schlanke und mit 3–5 cm Länge relativ kleine Regenwürmer; 1 Art: <i>Eiseniella tetraedra</i>)	Eiseniella

NUMMER	BESTIMMUNGSMERKMALE	ERGEBNIS
4*	Hinterleib (hinter dem Gürtel) im Querschnitt NICHT viereckig geformt Lebensraum: NICHT in dauerhaft wassergesättigten Böden lebend	Weiter zu 5
5	Borsten hinter dem Gürtel eng gepaart (Lupe oder Binokular! Vergleiche Abbildung W1 a-4) (14 Arten)  Abbildung W1 a-4 Stellung der Borsten auf einem Regenwurmsegment (im Querschnitt) eng gepaart (nach: CHRISTIAN & ZICSI 1999)	Allolobophora
5*	Borsten hinter dem Gürtel weit gepaart oder ungepaart/getrennt (Lupe oder Binokular! Vergleiche Abbildung W1 a-5) (3 Arten)  Abbildung W1 a-5 Stellung der Borsten auf einem Regenwurmsegment (im Querschnitt) eng gepaart (nach: CHRISTIAN & ZICSI 1999)  Abbildung W1 a-6 Großer Ackerwurm (<i>Octolasion lacteum</i>; Quelle: Tiere live)	Octolasion

W 1b Bestimmung von Schnecken

Schleimig aber sexy

Grundlegende Informationen

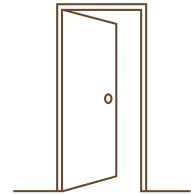
Schnecken (Gastropoda) gehören zu den Weichtieren und damit zur wichtigsten Wirbellosengruppe nach den Insekten. Doch verbinden die SuS mit den Vertretern dieser Tiergruppe eher lästige Räuber im Garten, welche sich gnadenlos über Nacht an Radieschen und Salat vergreifen. Zudem erregt der Schleim der Tiere am Anfang eher Abneigung und Ekel. Doch schon nach kurzer Zeit sind viele SuS bei der direkten Begegnung mit den Tieren fasziniert, spätestens, wenn sie erfahren, dass Schnecken einen Nabel, eine Lippe oder Haare haben können und es sogar Halbnacktschnecken gibt. Ihre teilweise sehr lautmalerischen Namen, wie «Bauchige Zwerghornschncke» fördern bei den SuS die Fantasie und die deutsche Sprache. Neben ihrer Ästhetik sind sie genetisch sehr variabel (siehe **Modul W9**) und damit ein Paradebeispiel für die Evolution.

Bedeutung für das Ökosystem Boden und den Naturhaushalt

Schnecken haben eine bedeutende Rolle bei der Zerkleinerung und Umwandlung von abgestorbenen Pflanzenteilen. Auch der Schleim und ihre zurückgelassenen Kalkschalen fördern die Bodenbildung. Durch ihre Bewegungen in der Streu- und Humusschicht sowie zum Teil auch im A- und B-Horizont sorgen sie für eine Durchmischung des Bodens. Da Schnecken eine große Biomasse haben, sind sie selbst wichtige Nahrung für Laufkäfer, Amphibien, Igel, Maulwürfe und viele Singvögel. Besonders die Singdrossel (*Turdus philomelos*) öffnet die Gehäuse geschickt mit Hilfe von Steinchen in sogenannten Drosselschmieden. Die Zweifarbige Schneckenhausbiene (*Osmia bicolor*, Abbildung W1 b-3) benutzt leere Schneckenhäuser zur Eiablage.



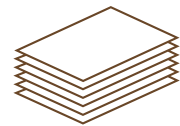
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☒
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- Schnappdeckelgläschen oder Ähnliches
- Kleines Terrarium aus Plexiglas
- Sortierkästchen aus dem Baumarkt
- Arbeitsblatt W1 b.1
- Farbtafeln in Anlage W1 b.1
- Eventuell Literatur

Abbildung W1 b-1
Bänderschnecke
(Foto: Imelda Ademi)



Abbildung W1 b-2 (links)
Variationen von Gehäusen
der Garten-Bänderschnecke
(Foto: Christian Anton)



Abbildung W1 b-3 (rechts)
Eine Schneckenhaus-Mauer-
biene legt ihre Eier in ein
Schneckenhaus

Körperbau und Lebensweise der Landschnecken (Pulmonata)

Der weiche Körper einer Schnecke besteht aus einem Kopffuß mit Kriechsohle und einem auf der Rückseite ausgestülpten Eingeweidesack, welcher meist von einem Kalkgehäuse geschützt wird. Die Fortbewegung erfolgt durch wellenförmige Kontraktionen des muskulären Kriechfußes, wodurch dieser auf dem eigenen Schleimteppich entlanggleiten kann. Das U-förmige Verdauungssystem beginnt am Mund mit der Raspelzunge (Radula). Nach dem Magen schlängelt sich der Darm mit der Mitteldarmdrüse bis zur Mantelhöhle. Dort befindet sich auch die Lunge, von der sauerstoffreiches Blut zum Herzen bis in den Eingeweidesack gepumpt wird. Die Mantelhöhle steht mit dem verschließbaren Atemloch mit der Außenwelt in Verbindung. Das Nervensystem liegt bauchseits und konzentriert sich im Kopfbereich. Die Schnecken gehören zu den am höchsten entwickelten Wirbellosen mit enormen Sinnes- und Gehirnleistungen. Die Linsenaugen sitzen bei den Pulmonata in den rückziehbaren Augenfühlern. Tastsinneszellen sind am ganzen Kriechfuß verteilt, besonders auch an den Fühlern. Diese können bei Gefahr den Spindelmuskel aktivieren und die Schnecke verkriecht sich blitzschnell im Schneckenhaus. Geruchs- und Geschmackssinneszellen sind im Mundbereich und den Fühlern konzentriert. Hören können Schnecken, nach dem was bisher bekannt ist, nicht.

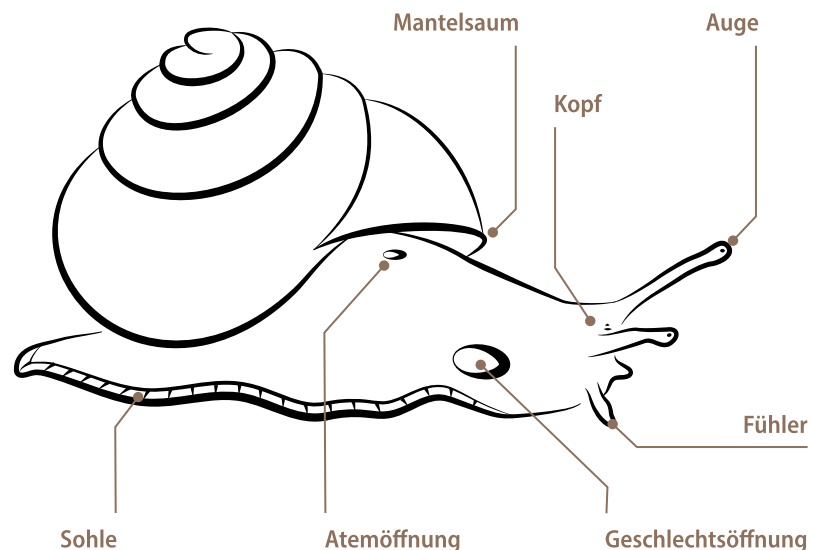


Abbildung W1 b-4
Körperbau der Landlung-
schnecken

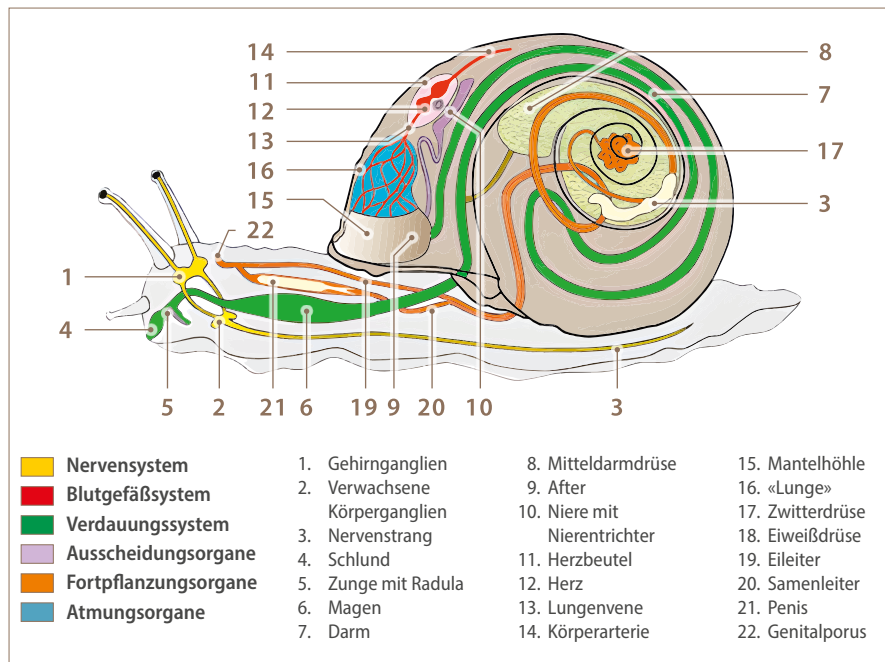


Abbildung W1 b-5
Körperbau der Weinberg-
schnecke (Zeichnung: Tiere live)

Im Gegensatz zu den meisten meereslebenden Schnecken sind die Landlungensnecken ausschließlich Zwitter (Hermaphroditen): Geschlechts- und Hilfsorgane befinden sich in einem gemeinsamen Genitalapparat (siehe Abbildung W1 b-4). Die Embryonalentwicklung erfolgt im Ei und es schlüpfen beschaltete Jungschnecken beziehungsweise junge Nacktschnecken.

GEHÄUSESCHNECKEN

Ihre Größe reicht von der 1 mm winzigen Punktschnecke (*Punctum pygmaeum*) bis zur 50 mm großen Weinbergschnecke (*Helix pomatia*). Das Gehäuse bietet Schutz vor Feinden und in Frost- und Trockenperioden kann die Öffnung mit einem Deckel aus Schleim oder Kalk (Epiphragma) verschlossen werden. Im Gegensatz zu Nacktschnecken richten die Gehäuseschnecken relativ wenig Schaden in landwirtschaftlichen Kulturen und Gärten an.

NACKTSCHNECKEN

Sie haben ihr Schneckenhaus meist vollständig reduziert. Auch bei den Halbnacktschnecken und Glasschnecken reicht die Schale nicht mehr zum Einziehen des ganzen Körpers und ist nur noch als Rudiment vorhanden. So haben Nacktschnecken «Ballast» abgeworfen, sind aber außer durch ihren zähflüssigen Schleim mit üblem Geschmack kaum vor Feinden geschützt. Bei Gefahr kugeln sie sich ein und erhöhen den Körperinnendruck. Einige Arten wie die Gemeine Wegschnecke (*Arion vulgaris*) sind invasive Neozoen. Sie können große Schäden in der Landwirtschaft und in Gärten anrichten, während der Tigerschnecke (*Limax maximus*) als räuberisch lebende Art sogar andere Nacktschnecken frisst und deren Populationen merklich reduzieren kann.

Durchführung

Schnecken finden sich auf jedem Schulgelände, besonders in feuchten, nicht stark besonnten Bereichen. Im Gegensatz zu anderen Wirbellosen findet man die meisten Schnecken an milden und feuchten Tagen, gerade nach nächtlichen Regenfällen. Da Schnecken meist nachtaktiv sind, ist die Beobachtung morgens

besonders günstig. Feuchte Kartons oder Bretter können einige Tage vorher auslegt werden. Darunter sammeln sich dann Nackt- und Gehäuseschnecken. Wenn ein Schulteich vorhanden ist, kann auch mit Sumpf- und Wasserschnecken gerechnet werden. Die «Schneckenjagd» erfolgt in Dreier- oder Vierergruppen. Dabei ist darauf zu achten, dass die SuS nicht zu viele Exemplare derselben Art einsammeln. Das Sortieren nach Arten beziehungsweise Artengruppen lässt sich in Schnappdeckelgläsern oder Ähnlichem vornehmen. Besonders empfehlenswert für kleinere Schnecken ist eine Sortierung in einem Werkzeugsetzkasten. So kann auch eine Sammlung an leeren Gehäusen der Arten des Schulgeländes angelegt werden. Nach der Bestimmung müssen alle Tiere wieder in ihre Lebensräume zurückgebracht werden, dafür ist es hilfreich, davor den Fundort notiert zu haben.

Leistungserhebung

Die Präsentation und die Poster der einzelnen Gruppen eignen sich auch zum Feststellen von mündlichen Beitragsnoten.



Abbildung W1 b-6
Die Hain-Bänderschnecken (*Cepaea nemoralis*) überraschen durch ihre Ästhetik und Bänderungsvielfalt (Foto: AlGreer/UFZ).

ARBEITSBLATT W 1b.1

«Schneckenjagd»

1. Sammelt jede Art in einem Gläschen. Nehmt nicht mehr als zwei Exemplare von einer Art mit. Bestimmt die Arten mit Hilfe der Farbtafeln. Beschreibt die charakteristischen Merkmale der jeweiligen Art. Notiert den Fundort der Schnecken, damit ihr sie wieder zurückbringen könnt.
2. Füllt das Arbeitsblatt sorgfältig aus. Holt ein neues Blatt, wenn ihr mehr als fünf Arten erfasst habt.
 - Bestimmt die Art möglichst genau mit dem Bestimmungsschlüssel, achtet auf Merkmale wie Behaarung, Nabel und Windung.
 - Recherchiert den wissenschaftlichen Namen im Internet.
 - Skizziert das Gehäuse beziehungsweise die Nacktschnecke formatfüllend auf dem Arbeitsblatt.
 - Informiert Euch über die Ernährungsweise und den Lebensraum der bestimmten Arten.
3. Erstellt ein Schneckenposter oder einen Schaukasten. Verwendet dazu leere Schneckengehäuse für einen ausgewählten Lebensraum (zum Beispiel Schnecken am Schulgelände, im Wald, am Schulteich). Ergänzt den Weichkörper der Schneckenhäuser mit Farbstiften und klebt Naturobjekte wie Steinchen oder Bodenstreu auf das Poster. Natürlich könnt ihr auch einen Rahmen dazu basteln beziehungsweise einen Schaukasten anfertigen.
4. Bei der Abschlussbesprechung wird die Gruppe mit den meisten korrekt bestimmten Arten und die mit der größten beziehungsweise mit der kleinsten Schnecke prämiert.
5. Ihr könnt auch ein kleines Terrarium mit den gefundenen Arten bestücken und im Biologieraum an einem schattigen Ort aufstellen. Wichtig ist es aber, dass die Tiere nach einigen Tagen wieder an der ursprünglichen Stelle freigelassen werden.

ARBEITSBLATT W1 b.2

«Schneckenjagd»

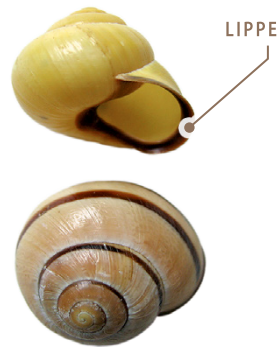
ZEICHNUNG	ART (deutsch/lateinisch)	MERKMALE	LEBENSRAUM	ERNÄHRUNGS- WEISE

ANLAGE W1 b.3 Gehäuseschnecken



Weinbergschnecke

3–5 cm



Hain-Bänderschnecke

18–25 mm
(selten bis 30 mm)

Garten-Bänderschnecke

14–20 mm
(selten bis 22 mm)

OFT RÖTLICH



Inkarnatschnecke

13–16 mm



STARK KEGELIG



Baumschnecke

14–28 mm



NICHT KEGELIG



Östl. Heideschnecke

14–20 mm



FLACH



Riemenschnecke

11–15 mm

KÖRPER OFT
BLÄULICHWeitmündige
Glanzschnecke

8–11 mm



FARBE VARIIERT

Gemeine
Bernsteinschnecke

6–8 mm



GEHÄUSE REDUZIERT

Ohrförmige
Glasschnecke

6–7 mm



HAARE, ENGER NABEL

Gemeine
Haarschnecke

5–12 mm



GEHÄUSE QUERGERIPPT

Gefleckte
Knopfschnecke

5–7 mm



GLATTES GEHÄUSE

Glatte
Schließmundschnecke

15×4 mm



GEHÄUSE QUERGERIPPT

Gemeine
Schließmundschnecke

18×4 mm



HELLE LIPPE

Gemeine
Glattschnecke

6×3 mm



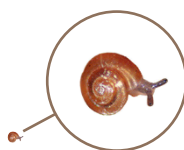
4 ½ WINDUNGEN

Bauchige
Zwerghornschncke

2×1 mm



KLEIN, WEITER NABEL

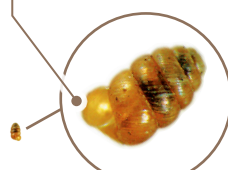


Punktschnecke

1–1,5 mm



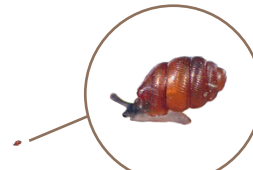
MÜNDUNG ZAHNLOS

Zahnlose
Windelschnecke

3×1,5 mm



LINKSGEWUNDEN

Schmale
Windelschnecke

2×1 mm



MÜNDUNG MIT 5 ZÄHNEN

Gemeine
Windelschnecke

2×1 mm



Kleine Schnecken zur besseren
Erkennbarkeit vergrößert dargestellt

kleinste – größte beobachtete Tiere
(Breite der Häuser)

Feuchtgebiete
 Hochstaudenfluren

Wälder und Gebüsche
 Offenland, Kulturland

ANLAGE W1 b.4

Nacktschnecken



Rote Wegschnecke

12–15 cm (gelegentlich größer)



Schwarzer Schnegel

10–20 cm (selten bis zu 30 cm)



Tigerschnegel

10–15 cm (gelegentlich größer)



Gemeine Wegschnecke

8–14 cm



Braune Wegschnecke

5–7 cm



Genetzte Ackerschnecke

3,5–5,5 cm



Pilzschnegel

3–5 cm



Gemeine
Gartenwegschnecke

3–5 cm



Wasserschnegel

1,5–2,5 cm



Abbildung W1 b.4-1
Übersicht der bekanntesten
Nacktschnecken
(Quelle: Tiere live)

- Feuchtgebiete
- Hochstaudenfluren
- Wälder und Gebüsche
- Offenland, Kulturland

Maßstab 1:2;
große Tiere verkleinert dargestellt

kürzeste – längste
beobachtete Tiere



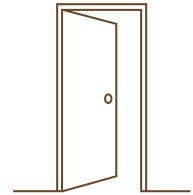
W 1c Bestimmung von Heuschrecken

Grundlegende Informationen

In Deutschland kommen 85, in Bayern 76 verschiedene Heuschrecken-Arten vor. Damit ist diese Insektenordnung im Vergleich zu anderen Gruppen, wie beispielsweise den Käfern, ziemlich artenarm. Dennoch sind die Heuschrecken-Arten nicht immer ganz einfach zu bestimmen.

Im Wesentlichen unterscheidet man zwei große Gruppen, die sich anhand der Fühlerlänge gut erkennen lassen. Abbildung W1 c-1 zeigt dazu einen Bestimmungsschlüssel.

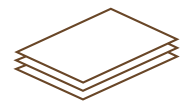
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand

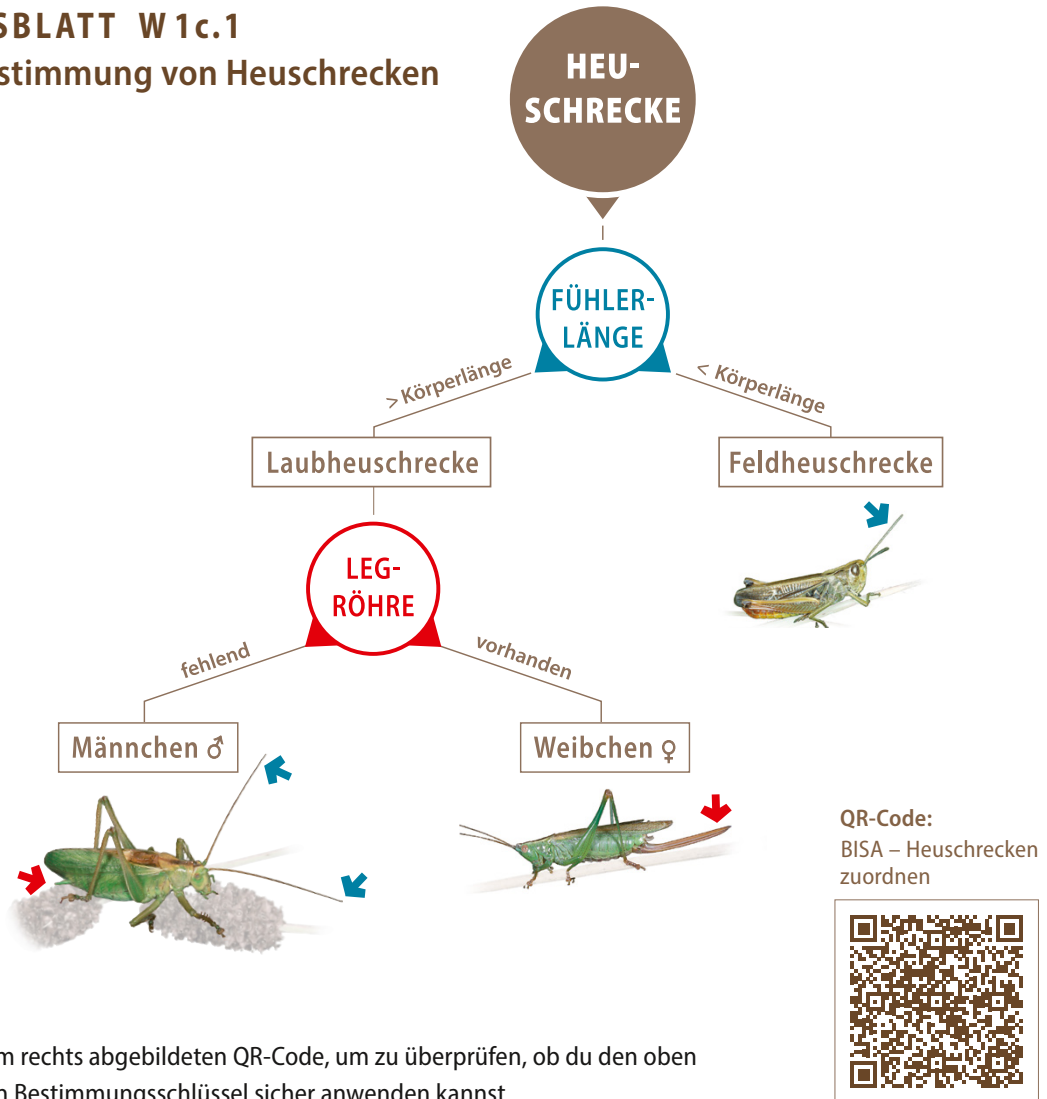


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen			
Erkenntnisgewinn			
Kommunikation			
Bewertung			

ARBEITSBLATT W1 c.1

Bestimmung von Heuschrecken



- Folge dem rechts abgebildeten QR-Code, um zu überprüfen, ob du den oben gezeigten Bestimmungsschlüssel sicher anwenden kannst.
- In einem Bestimmungsbuch finden sich folgende Beschreibungen von Heuschrecken:
 - Heuschrecke 1
«Ein typisches Merkmal dieser Laubheuschrecke ist ein breiter, heller Rand um ihren Halsschild. Auf ihren Sprungbeinen finden sich zahlreiche feine Querstreifen, die an Fischgräten erinnern.»
 - Heuschrecke 2
«Diese farblich sehr variable Feldheuschrecke hat keulig verdickte Fühlerenden, deren Spitzen hell sind. Beim Männchen ist der Hinterleib oft rotbraun gefärbt.»

Ermittle mithilfe der Bestimmungstabellen, um welche Heuschrecken es sich handeln könnte.

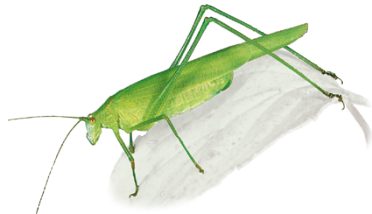
- Versucht, im Freiland mit einem Kescher unterschiedliche Heuschrecken zu fangen und mithilfe der Bestimmungstabellen zu identifizieren. Notiert euch zu den Artnamen auch euer Funddatum und den genauen Fundort, um später die verschiedenen Fundstellen miteinander vergleichen zu können.

Solltet ihr es genauer wissen wollen, lohnt sich ein Blick in ein Bestimmungsbuch:
FISCHER, STEINLECHNER, ZEHEM, PONIATOWSKI, FARTMANN, BECKMANN & STETTNER (2016):
Die Heuschrecken Deutschlands und Nordtirols. – Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim.

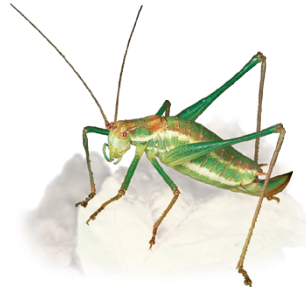
Ob ihr eure entdeckten Heuschrecken richtig bestimmt habt, könnt ihr auch in Internetforen, wie zum Beispiel Orthoptera (Schweiz; www.orthoptera.ch) oder in der Facebook-Gruppe «Heuschrecken-Freunde» überprüfen lassen. Dazu braucht ihr natürlich ein Foto des Tieres (am besten von der Seite).

ANLAGE W 1c.2

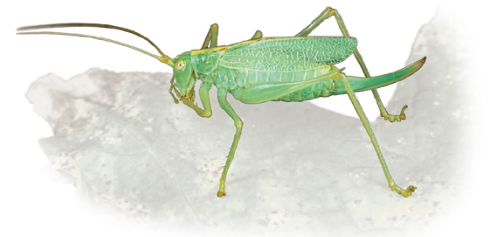
Laubheuschrecken und Grillen I



Gemeine Sichelschrecke ♀
12–17–18 mm



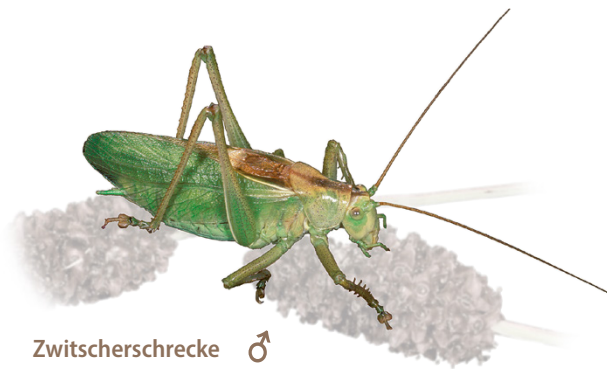
Gestreifte Zartschrecke ♀
10–13–16 mm



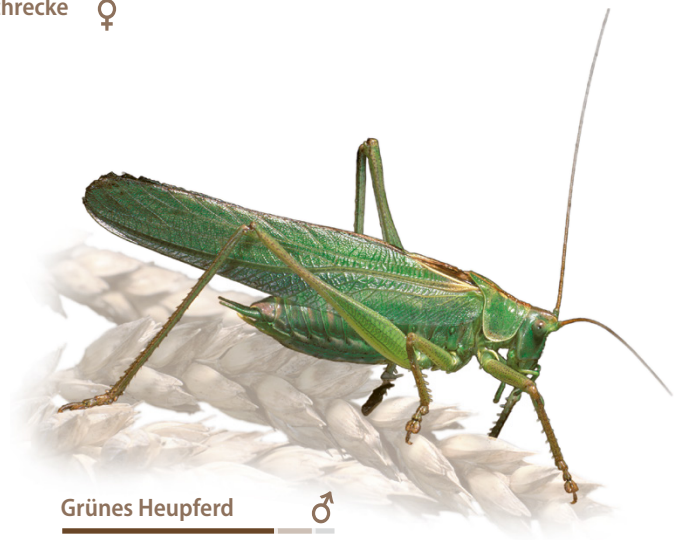
Gemeine Eichenschrecke ♀
11–14–15 mm



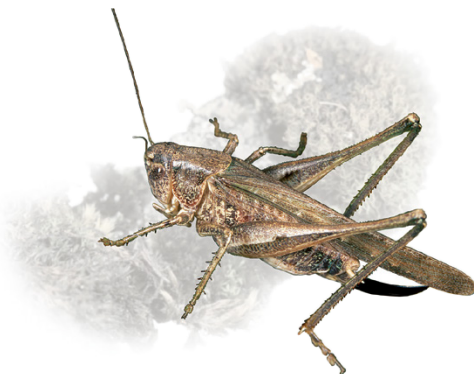
Langflügelige Schwertschrecke ♀
12–16–18 mm



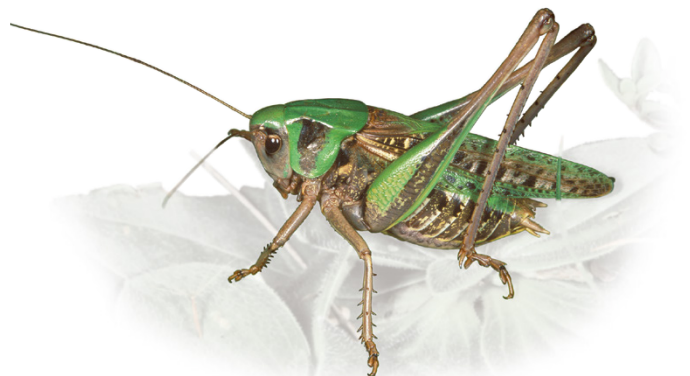
Zwitscherschrecke ♂
20–25–31 mm



Grünes Heupferd ♂
28–33–36 mm



Westliche Beißschrecke ♀
18–22–24 mm



Warzenbeißer ♂
24–30–38 mm

Originalgröße:

kleinste – durchschnittliche – größte
beobachtete Tiere
(gemessen wird vom Kopf bis zum Ende des Hinterleibs –
ohne Fühler, Flügel und Legestachel)

Abbildung W1 c.2-1

Übersicht zu den Laubheuschrecken und Grillen
(Quelle: Tiere live)

ANLAGE W1 c.2

Laubheuschrecken und Grillen II



Gewöhnliche Strauchschrecke

15–18–20 mm

♀



Roesels Beißschrecke

14–17–20 mm

♀



Feldgrille

18–22–26 mm

♂



Maulwurfgrille

35–40–50 mm

♂



Waldgrille

7–8–10 mm

♂

Originalgröße:

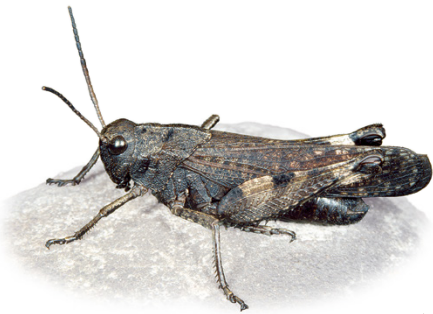
kleinste – durchschnittliche – größte
beobachtete Tiere

(gemessen wird vom Kopf bis zum Ende des Hinterleibs –
ohne Fühler, Flügel und Legestachel)

Abbildung W1 c.2-2

Übersicht zu den Laubheuschrecken und Grillen
(Quelle: Tiere live)

ANLAGE W1 c.3 Feldheuschrecken I



Rotflügelige Schnarrschrecke ♂
19–23–25 mm



Sumpfschrecke ♂
12–20–25 mm



Große Goldschrecke ♂
16–17–19 mm



Rote Keulenschrecke ♂
14–15–16 mm



Säbeldornschrecke ♂
7–11–12 mm



Blaüflügelige Ödlandschrecke ♂
15–18–23 mm



Sumpfschrecke ♀
26–30–39 mm



Große Goldschrecke ♀
22–25–30 mm



Kleine Goldschrecke ♀
18–21–26 mm



Kleine Goldschrecke ♂
13–15–17 mm

Originalgröße:

kleinste – durchschnittliche – größte
beobachtete Tiere
(gemessen wird vom Kopf bis zum Ende des Hinterleibs –
ohne Fühler, Flügel und Legestachel)

Abbildung W1 c.3-1
Übersicht zu den Feldheuschrecken
(Quelle: Tiere live)

ANLAGE W1 c.3 Feldheuschrecken II



Heidegrashüpfer ♂
14–17–19 mm



Heidegrashüpfer ♀
20–24–27 mm



Bunter Grashüpfer ♂
13–15–17 mm



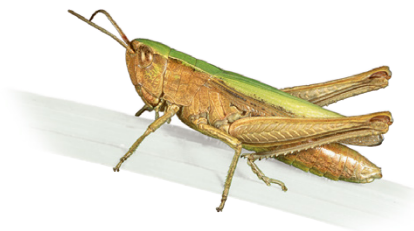
Bunter Grashüpfer ♀
17–22–24 mm



Buntbäuchiger Grashüpfer ♂
11–14–17 mm



Buntbäuchiger Grashüpfer ♀
11–19–21 mm



Wiesengrashüpfer ♀
18–21–25 mm



Nachtigallgrashüpfer ♀
16–20–23 mm



Wiesengrashüpfer ♂
14–16–18 mm



Nachtigallgrashüpfer ♂
13–14–16 mm



Gemeiner Grashüpfer ♀
17–20–23 mm



Gemeiner Grashüpfer ♂
13–14–16 mm

Originalgröße:

kleinste – durchschnittliche – größte
beobachtete Tiere
(gemessen wird vom Kopf bis zum Ende des Hinterleibs –
ohne Fühler, Flügel und Legestachel)

Abbildung W1 c-4
Übersicht zu den Feldheuschrecken
(Quelle: Tiere live)

W 1d Bestimmung von Tagfaltern

Grundlegende Informationen

Mit der folgenden Bestimmungstafel kann man einen unbekannten Schmetterling schnell einer Familie oder Artengruppe zuordnen. Zur genauen Artermittlung wird ein Bestimmungsbuch empfohlen. Besonders gut eignen sich «Schmetterlinge: Die Tagfalter Deutschlands» (SETTELE et al. 2015) und «Die Tagfalter Bayerns und Österreichs» (STETTNER et al. 2022).



Exzellente Bestimmungstabellen bietet die Homepage des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ) Halle, das das «Tagfalter-Monitoring Deutschland» (siehe auch **Modul W3**) administriert: www.ufz.de/tagfalter-monitoring/index.php?de=41776



Eine Möglichkeit, das Erkennen der Tagfalter interaktiv zu üben, findet sich auf der Homepage des BISA-Projekts (www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/schmetterlinge).



Zur Absicherung der Bestimmung einer selbst fotografierten Art kann ein Bild der Art den Experten im Lepiforum vorgelegt werden (www.lepiforum.de).

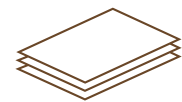
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

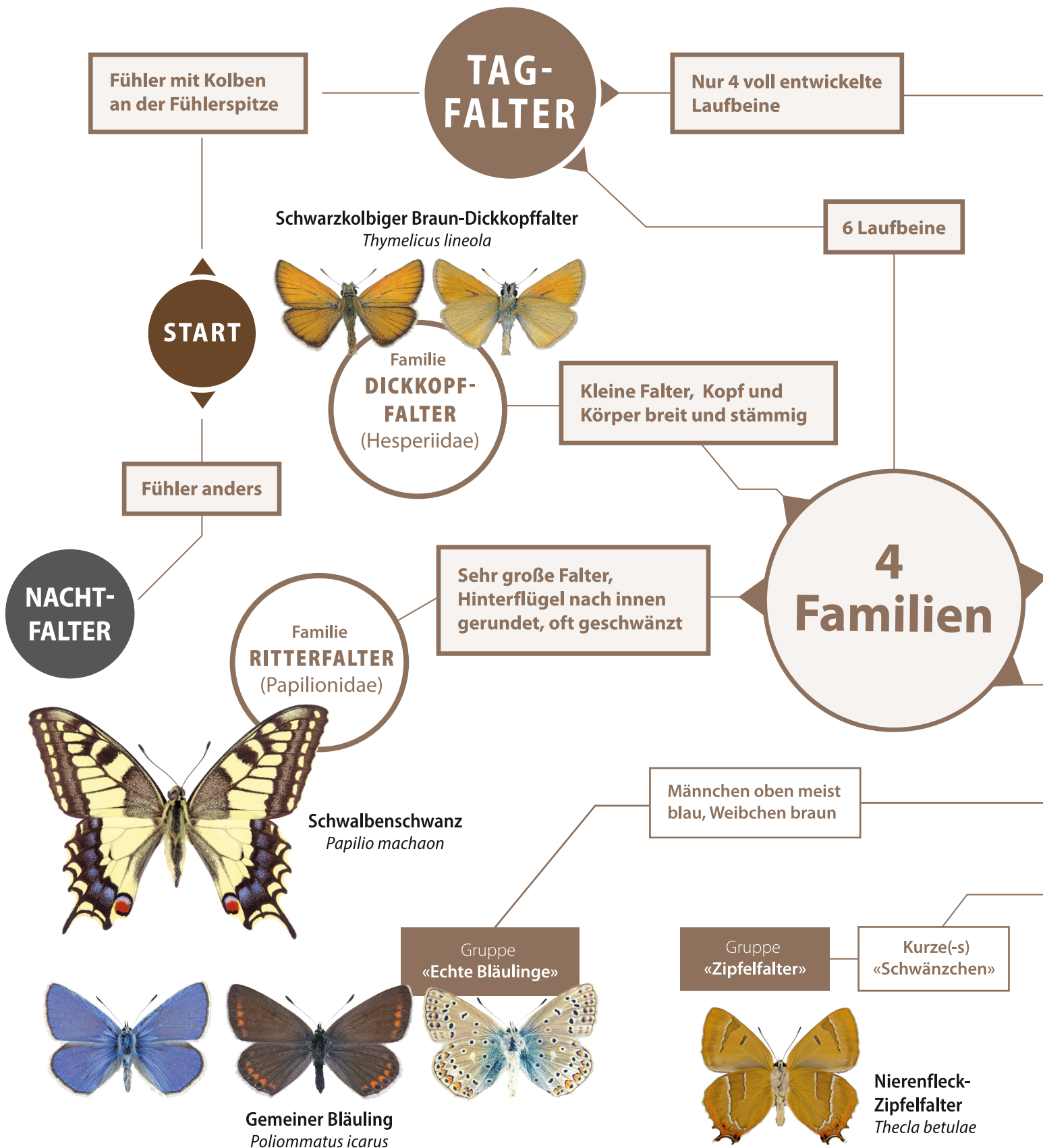
Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

ANLAGE W 1d.1

Bestimmung von Tagfaltern



Tagpfauenauge
Aglais io



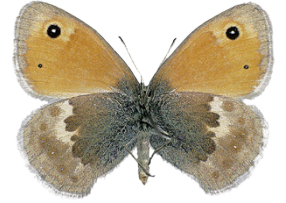
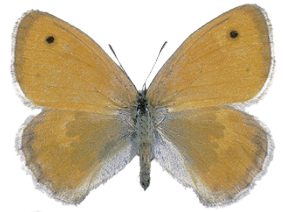


Kleiner Fuchs
Aglais urticae

Viele weitere Arten

Familie
EDELFAKTER
(Nymphalidae)

Gruppe
«Augenfalter»



Kleines Wiesenvögelchen
Coenonympha pamphilus

Schwarze, hell gekernte
«Augen» auf den Flügeln

Oberseite gescheckt,
Orange auf Braun

Gruppe
«Scheckenfalter»

Wachtelweizen-Scheckenfalter
Melitaea athalia



Flügeloberseite orange
mit schwarzen Punkten,
silbrige Flecken
auf Unterseite

Gruppe
«Perlmutterfalter»



Kleiner Perlmutterfalter
Issoria latonia

Farbe Weiß oder Gelb

Kleine Falter, andere
Gruppen passen nicht

Familie
WEIßLINGE
(Pieridae)



Grünader Weißling
Pieris napi

Familie
BLÄULINGE
(Lycaenidae)

Oberseite
in Orange

Gruppe
«Feuerfalter»



Kleiner Feuerfalter
Lycaena phlaeas



Zitronenfalter
Gonepteryx rhamni

W 1 e Bestimmung von Ameisen

Grundlegende Informationen

Ameisen gehören zu den am weitesten verbreiteten Tierfamilien der Welt. Sie sind allgegenwärtig und in Siedlungen, Gärten und auf jedem Schulhof zu finden. Mit etwas Übung lassen sich verschiedene Gattungen unterscheiden.

Vorkommen von Ameisen

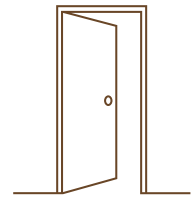
In jedem Garten, auf Grünflächen, an Bäumen und Sträuchern, an Wegrändern oder unter flachen Steinplatten sind Ameisen zu finden. Am häufigsten sind die schwarzen Wegameisen (zirka 4 mm; *Lasius niger*-Gruppe), die deutlich schneller laufenden Schwarzgrauen Sklavenameisen (zirka 5–6 mm; *Formica cinerea*-Gruppe) oder auch die eher langsamen Roten Knotenameisen (4–5 mm; *Myrmica* ssp.) zu finden.

Ameisen bauen ihre Nester in morschem Holz, unter flachen Steinen oder in der Erde. Kleine Erdhügel oder Löcher mit Erdauswurf an Plattenrändern verraten ihre Nester. Ab Mai sieht man an den meisten Gehölzen Ameisen die Stämme hochlaufen, um Läuse zu «melken». In Nadelwäldern (bevorzugt auch am Waldrand) sind die großen Nadelnester der Waldameisen (*Formica rufa*-Gruppe) zu finden (Abbildung W1 e-1). In Siedlungen lassen sich häufig die Erdnester der Wegameisen (*Lasius* ssp.) entdecken (Abbildung W1 e-2).

Die günstigste Beobachtungszeit beginnt etwa Anfang Mai. Die Aktivität nimmt mit dem Anwachsen der Staaten bis Juli deutlich zu und ist temperaturabhängig. Optimal sind trockene Tage mit Temperaturen von etwa 20° C.

Weitergehende Informationen sowie ein Schülerarbeitsblatt zu Lebensweise, Entwicklungszyklus und Körperbau von Ameisen findet sich auch im Aktionshandbuch «**Tiere live**». Die Bestimmung auf Artniveau ist sehr an-

Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- (Becher-)Lupe
- Eventuell Bestimmungsbücher



Abbildung W1 e-1 (links)
Nadelnest der Roten Waldameise (*Formica rufa*-Gruppe;
Foto: Peter Sturm)

Abbildung W1 e-2 (rechts)
Erdnest der Schwarzgrauen Wegameise (*Lasius niger*;
Foto: Peter Sturm)

QR-Code W1 e

Tiere live – Ameisen
 (www.anl.bayern.de/
 projekte/tierelive/doc/
 tiere_live_ameisen.pdf)



spruchsvoll und nur mit guter technischer Ausstattung (Binokular mit mindestens 40-facher Vergrößerung) möglich. Als Literatur kann dabei das Bestimmungsbuch von SEIFERT (2018) dienen.

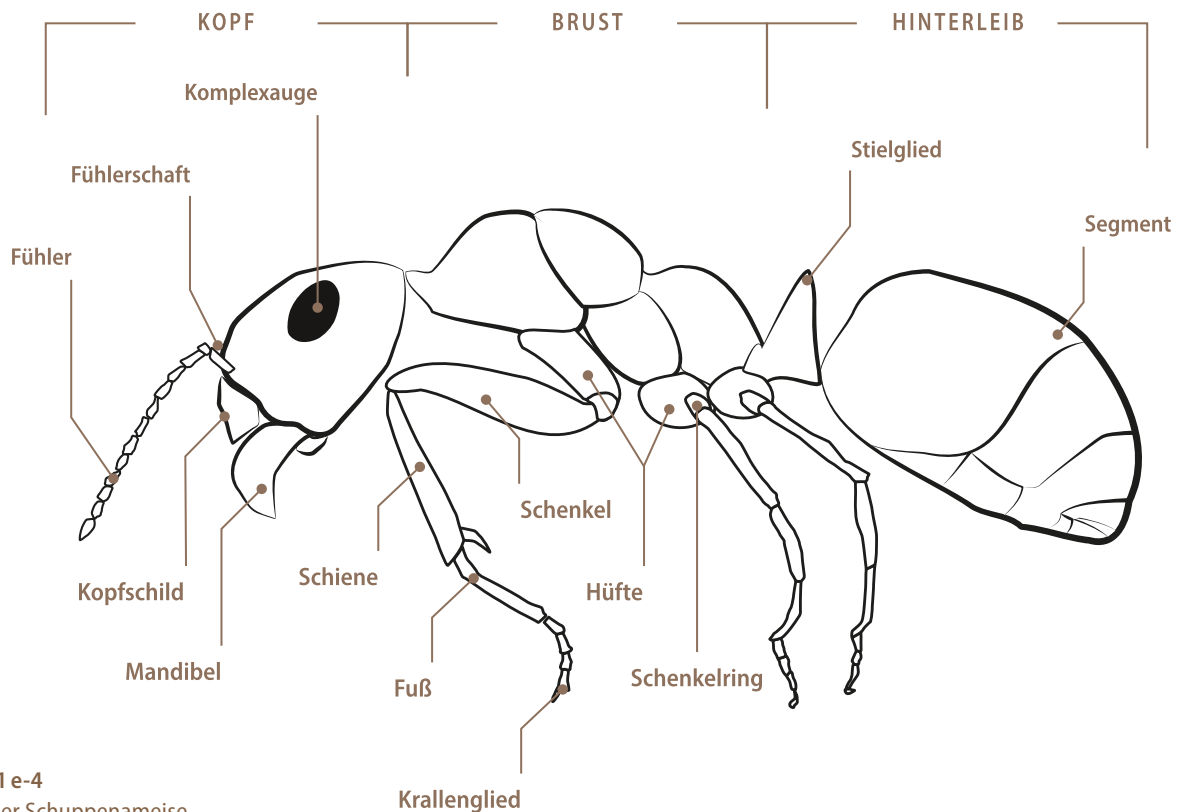
Wichtige Hinweise

Bei Beobachtungen an Waldameisen ist das Risiko, dass Waldameisen im näheren Nestumfeld zertreten werden, sehr hoch. Von einem Nesthügel führen in der Regel sternförmig Ameisenstraßen nach allen Seiten. Die SuS sollten daher bereits bei der Annäherung an ein Nest auf Ameisenstraßen achten. Zudem sind am oberen Rand eingefettete Gummistiefel (zum Beispiel mit Paraffin oder Vaseline) hilfreich. Bei längerem Stehen beginnen Waldameisen sonst an den Beinen hochzulaufen und in offene Hautpartien zu beißen.

Auch Ameisen sind lebende Tiere: Keine letalen Experimente mit ihnen! Destruktive Experimente, bei denen Ameisen zu Schaden kommen könnten, sollten SuS unterlassen. Hierauf ist besonders hinzuweisen.

Körperbau der Ameisen

Ameisen sind staatenbildende Insekten der Familie *Formicidae* und gehören zusammen mit den verwandten Wespen und Bienen zur Ordnung der Hautflügler (Hymenoptera). Typisch für Ameisen sind ihre geknieten Fühler. Sie sind auch an dem schuppen- oder knotenartigen Stielglied zwischen Brust und Hinterleib zu erkennen. Dieser nur bei Ameisen vorkommende Körperteil erhöht die Beweglichkeit des Hinterleibs mit Giftdrüse oder Giftstachel, der damit effizienter eingesetzt werden kann.

**Abbildung W1 e-4**

Körperbau einer Schuppenameise
 (Grafik: Kristel Kerler; Abbildung aus
 Tiere live – Kapitel Ameisen)

ANLAGE W 1e.1

Bestimmung von häufigen Ameisen-Gattungen

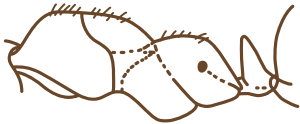
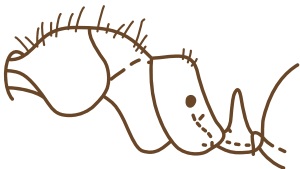
In Bayern kommen gut 100 verschiedene Ameisenarten vor. Viele davon bekommen die meisten Menschen niemals zu Gesicht, weil sie selten sind oder versteckt leben. Einigen Arten begegnet man jedoch häufiger. Wenn ihr bei uns eine Ameise seht, gehört sie mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer der folgenden Gattungen. Aber um welche Gattung handelt es sich?

1. Fangt verschiedene Ameisen und identifiziert sie mithilfe der Bestimmungstabellen.
2. Dokumentiert eure Funde mit Fotos, dem Artnamen, Fundort sowie dem Funddatum.
3. Untersucht verschiedene Ameisen derselben Art darauf, ob sich alle Individuen innerhalb einer Art gleichen. Nenne gegebenenfalls Merkmale, in denen sich die Tiere unterscheiden.

An Bäumen und Gehölzrändern

WO	BESTIMMUNGSMERKMALE	GATTUNG
Nur an und im Umfeld von Bäumen oder in morschem Lagerholz	Sehr groß: 8–9 mm, schwarz oder schwarz-rot gefärbt; einzeln laufende Arten Durch den homogen gebogenen Rücken gut von Waldameisen zu unterscheiden	Rossameisen (<i>Camponotus</i>) 
Kompakte Nester aus Nadelblättern, vor allem von Fichte und Kiefer; an Waldrändern und in lichten Wäldern	Schwarz-rot gefärbte, 6–7 mm große Arten; häufig Ameisenstraßen bildend Rücken mit zwei deutlichen Buckeln	Waldameise (<i>Formica</i>) GESCHÜTZT! 
Im Umfeld von morschen Baumstämmen; baut, ähnlich wie Wespen, Kartonnester in morsche Bäume	Pechschwarz, wie poliert glänzend; 4–6 mm große Arten Läuft in dichten und auffälligen Ameisenstraßen	Holzameisen (<i>Dendrolasius</i>) 

Im Garten, in Wiesen und im Rasen

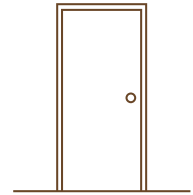
WO	BESTIMMUNGSMERKMALE	GATTUNG
Nester aus Erde und Grasstreu im Offenland und Gärten, auch unter flachen Steinen und Terrassenplatten	Schwarzgraue, 5–6 mm große Arten 	Schwarzgraue Sklavenameisen (<i>Serviformica</i>) 
Nester aus Erde im Offenland und Gärten, gerne auch unter flachen Steinen und Terrassenplatten	Deutlich rötliche Arten mit zwei auffälligen Knoten zwischen Hinterleib und Brust 4–5 mm groß Körperoberfläche mit deutlichen Strukturen	Knotenameisen (<i>Myrmica</i>) Vorsicht: Kann mit ihrem Stachel stechen 
Nester aus Erde im Offenland und Gärten, gerne auch unter flachen Steinen und Terrassenplatten Sehr häufig in Siedlungsbereichen	Schwarzgrau, 3–4 mm große Arten; Rückenprofil im Gegensatz zu Formica- und Serviformica-Arten steil und lang zum Stielglied abfallend 	Wegameise (<i>Lasius sensu stricto</i>) 
Nester aus Erde im Offenland und Gärten, gerne auch unter flachen Steinen und Terrassenplatten Sehr häufig in Siedlungsbereichen	Homogen hell- bis ockergelb; ausschließlich unterirdisch lebend 3–4 mm groß	Wiesenameisen (<i>Chthonolasius</i>) Schattenameisen (<i>Cautolasius</i>) 

W 1f Bestimmung von Insektenordnungen

Grundlegende Informationen

Hinweis für die Lehrkräfte: Die Artnamen der Hummeln sind aus didaktischen Gründen abweichend von der deutschen Rechtschreibung mit Bindestrich geschrieben, um den SuS die binäre Nomenklatur zu verdeutlichen und den Gattungs- und Artnamensanteil zu zeigen.

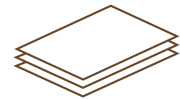
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

ARBEITSBLATT W1 f.1

Insektenordnungen bestimmen

In Deutschland sind beinahe 100.000 verschiedene Insektenarten bekannt. Die sechsbeinigen Tiere sind selbst für viele Spezialistinnen und Spezialisten nicht immer einfach zu unterscheiden. Als Einstieg reicht es aus, Insekten einer übergeordneten systematischen Gruppe, der sogenannten Ordnung, zuzuweisen.

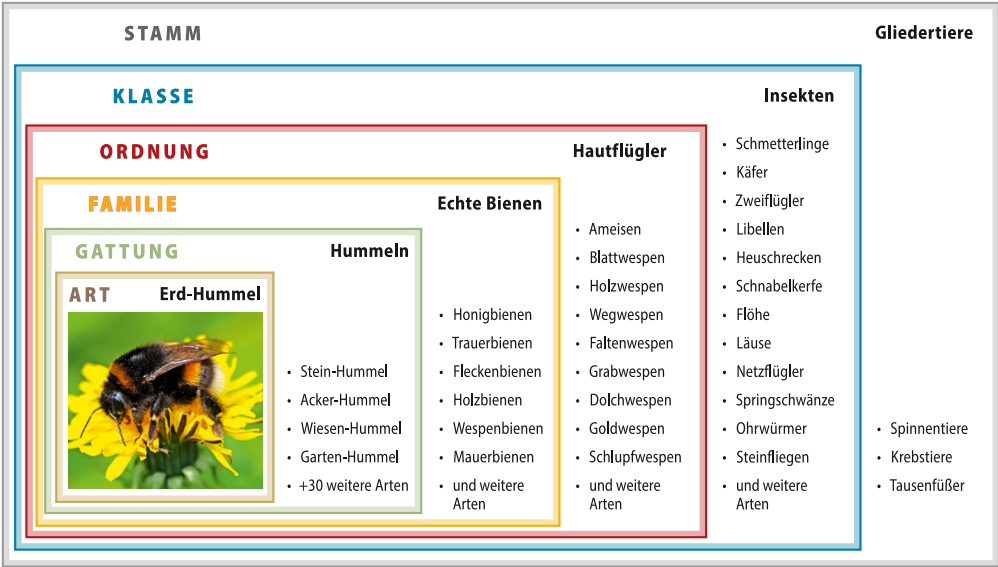


Abbildung W1 f-1
Die biologische Systematik ordnet und klassifiziert Lebewesen in einem Rangsystem (Foto: Kathi Büscher/pixabay.com).

1. Kennzeichne in folgender Tabelle richtige Aussagen mit einem «R» und falsche mit einem «F» und solche, die sich mit den Informationen aus der oben stehenden Abbildung nicht entscheiden lassen mit einem «X».

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Eine Ordnung enthält mindestens so viele Arten wie eine in ihr enthaltene Gattung.	
Die Art Zitronenfalter gehört zur Ordnung der Hautflügler.	
Die Art Zitronenfalter gehört zur Klasse der Insekten.	
Die Art Zitronenfalter gehört zur Ordnung der Schmetterlinge.	
Die Klasse der Spinnentiere umfasst mehr Arten als die Klasse der Insekten.	

2. Bestimmungsschlüssel dienen als Hilfsmittel um herauszufinden, zu welcher Ordnung eine bestimmte Insektenart gehört. Dabei musst du zwischen mehreren Alternativen auswählen, welche am besten auf dein gesuchtes Tier zutrifft. Entscheide dich so lange für die jeweils passende Variante, bis du am Ende weißt, um welche Insektenordnung es sich handelt.

- 2.1 Folge dem abgebildeten QR-Code und finde heraus, zu welchen Insektenordnungen die abgebildeten Tiere gehören. Am Ziel angekommen, kannst du entweder den deutschen oder den lateinischen Namen einsetzen, den du bei der Ordnung findest.
- 2.2 Notiere jene Beispiele, bei denen du mit der Bestimmung Schwierigkeiten hattest und versuche, diese Schwierigkeiten genauer zu beschreiben.
- 2.3 Insekten könnten anhand von Bildern bestimmt werden oder anhand von lebenden beziehungsweise präparierten Tieren. Stelle die Vor- und Nachteile einer Bestimmung der Insektenordnung mithilfe von Bildern beziehungsweise anhand der lebenden und präparierten Tiere zusammen.

QR-Code W1 f-2
BISA – Biotopia
Insektenkurs



LÖSUNGSVORSCHLAG W 1 f.2

Insektenordnungen bestimmen

1. Kennzeichne in folgender Tabelle richtige Aussagen mit einem «R» und falsche mit einem «F» und solche, die sich mit den Informationen aus der oben stehenden Abbildung nicht entscheiden lassen mit einem «X».

AUSSAGE	ENTSCHEIDUNG
Eine Ordnung enthält mindestens so viele Arten wie eine in ihr enthaltene Gattung.	R
Die Art Zitronenfalter gehört zur Ordnung der Hautflügler.	F
Die Art Zitronenfalter gehört zur Klasse der Insekten.	R
Die Art Zitronenfalter gehört zur Ordnung der Schmetterlinge.	R
Die Klasse der Spinnentiere umfasst mehr Arten als die Klasse der Insekten.	X

2. Aufträge erst in den Unterpunkten

2.1 Die Aufgaben korrigieren sich selbst

2.2 Individuelle Schülerlösungen möglich

2.3 Vorteile Bestimmung mit Bildern, zum Beispiel

- Tiere erleiden keinen Schaden
- Farben sind gut zu erkennen

Vorteile Bestimmung mit lebenden Tieren, zum Beispiel

- alle Strukturen sind sichtbar
- alle Farben sind lebensecht

Vorteile Bestimmung mit präparierten Tieren, zum Beispiel

- alle Strukturen sind sichtbar
- lange Betrachtungsdauer, beispielsweise auch unter einem Binokular

W 2 Expedition Biodiversität

Stationenlernen zur Biodiversität der Wirbellosen

Grundlegende Informationen

Nach der Evolution (Lernbereich 4) folgt im LehrplanPLUS «Biodiversität bei Wirbellosen – Variabilität und Anpasstheit» (Lernbereich 5). Bevor hier auf die grundlegenden Anforderungen wie aktive Bewegung, Stoffwechsel oder Fortpflanzung exemplarisch eingegangen wird, ist es notwendig, den Begriff «Biodiversität» zu definieren und die überragende Artenzahl, die Vielfalt sowie die Bedeutung der Wirbellosen zu verdeutlichen.

Bei der «Expedition Biodiversität» erarbeiten sich SuS in fünf Stationen wesentliche Inhalte der Biodiversität der Wirbellosen. Zunächst werden die drei Ebenen der Biodiversität vorgestellt (Station 1). Station 2 verdeutlicht die enorme Artenzahl der Wirbellosen – insbesondere im Vergleich zu den bisher behandelten Wirbeltieren. Die Vielfalt der Wirbellosen veranschaulicht Station 3. Die Bedeutung der Biodiversität sowie der Eigenwert eines Lebewesens werden in den Stationen 4 und 5 thematisiert.

Durchführung

SuS bearbeiten in Kleingruppen alle Stationen in beliebiger Reihenfolge. Jede Station sollte in zweifacher Ausführung vorliegen.

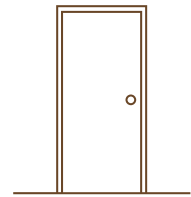
Aufgaben

Siehe **Anlagen W2.1** bis **W2.5**

Leistungserhebung

Um den SuS die Bedeutung ihrer eigenen Arbeit an den Stationen, aber auch der Bedeutung des Themas bewusst zu machen, empfiehlt sich eine mündliche Leistungserhebung in der Folgestunde zu den bearbeiteten Inhalten. Dies sollte vor Beginn der «Expedition Biodiversität» der Klasse mitgeteilt werden.

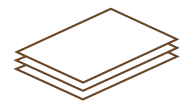
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☒
Erkenntnisgewinn	☐	☐	☐
Kommunikation	☒	☒	☐
Bewertung	☒	☐	☐

MATERIAL

- **Anlage W2.1**
Station 1; Bilder 1 und 2
- **Anlage W2.2**
Station 2; Musterlösung
- **Anlage W2.3**
Station 3; Stammbaum (DIN A2), Tierkärtchen, Stammbaum für SuS, Musterlösung
- **Anlage W2.4**
Station 4; Päckchen mit Geschenkkärtchen (beispielsweise Gesundheit, Wohlstand); Beispielkärtchen
- **Anlage W2.5**
Station 5

ANLAGE W 2.1**Station 1: Drei Ebenen der Biodiversität****Information**

Der Begriff «Biodiversität» ist ein junger Name für ein faszinierendes Phänomen, das schon seit drei Milliarden Jahren existiert: Die Vielfalt des Lebens auf unserem Planeten. Diese Vielfalt zeigt sich auf verschiedenen Ebenen:

I. Ökosystemvielfalt

Ein Ökosystem besteht aus einem Lebensraum (= Biotop) und allen seinen Bewohnern (= Biozönose). Da an verschiedenen Orten ganz unterschiedliche Bedingungen herrschen (zum Beispiel Unterschiede bei Temperatur, Feuchtigkeit oder Boden), können jeweils ganz unterschiedliche Pflanzen, Tiere und andere Lebewesen vorkommen. So sind ein Laubwald, ein Hochmoor oder ein Bach sehr unterschiedliche Ökosysteme. Praktisch alle Ökosysteme in Deutschland sind vom Menschen beeinflusst.

II. Artenvielfalt

Auch die Experten konnten sich bislang nicht auf eine exakte Definition des Begriffs «Art» einigen. Vereinfacht gilt: Zu einer Art gehören alle Lebewesen, die sehr ähnlich aussehen und die sich untereinander fortpflanzen können, wobei fruchtbare Nachkommen entstehen. Weltweit kennt man heute zirka 1,8 Millionen verschiedene Arten, die meisten Arten sind allerdings noch gar nicht wissenschaftlich beschrieben und damit weitgehend unbekannt. Edward Osborne Wilson, einer der bedeutendsten Biodiversitätsforscher der Gegenwart, schätzt, dass 25.000 Forscher ihr ganzes Leben lang arbeiten müssten, um tatsächlich alle existierenden Arten zu beschreiben.

III. Genetische Vielfalt

Auch Lebewesen derselben Art unterscheiden sich untereinander. Ursache für die zum Teil schon äußerlich erkennbaren Unterschiede sind die verschiedenen Erbanlagen – die Gene. Bei den Nutztieren und -pflanzen hat der Mensch die genetische Vielfalt durch gezielte Auswahl und Vermehrung zusätzlich vergrößert. So gibt es in Deutschland etwa 6.200 verschiedene Apfelsorten – in den Geschäften dominieren jedoch sieben Sorten.

Aufgaben

1. Ökosystemvielfalt – Benennt und beschreibt die unterschiedlichen Ökosysteme auf Abbildung W2-1.
2. Artenvielfalt – Gebt an, wie viele verschiedene Pflanzenarten ihr auf Abbildung W2-2 unterscheiden könnt. Welche der Arten kennt ihr?
3. Genetische Vielfalt – Schaut euch gegenseitig in die Augen und entdeckt die genetische Vielfalt des Menschen. Beschreibt, worin sich eure Augen unterscheiden.
4. Notiert Euch die drei Ebenen der Biodiversität.



Abbildung W2.1-1

Blick auf eine Ortschaft in den Alpen (Foto: Martin Jochner)



Abbildung W2.1-2

Eine artenreiche Blumenwiese (Foto: Martin Eiblmaier)

Was ist Biodiversität?

ANLAGE W 2.2**Station 2: Artenvielfalt in Deutschland****Information**

Die Gebiete mit der weltweit größten Biodiversität liegen in den Tropen: Costa Rica, Borneo, Amazonien oder das Kongobecken. So leben in Costa Rica etwa dreimal so viele Vogelarten als in Deutschland, obwohl Deutschland etwa siebenmal so groß ist. Aber auch in Deutschland existiert ein großer Artenreichtum – noch.

Aufgaben

1. Das Bundesamt für Naturschutz gibt auf seiner Homepage folgende Daten an. Ordne jeder Gruppe die richtige Artenzahl (Zahlen für Deutschland) zu:

Tiere und Pflanzen (ohne Pilze)	14 Arten
Wild wachsende Pflanzen (mit Algen)	140 Arten
Insekten	328 Arten
Brutvögel	9.500 Arten
Fische	33.305 Arten
Reptilien	57.500 Arten
Säugetiere	22 Arten
Amphibien	197 Arten

Verbessere Deine Zuordnung mit Hilfe der ausliegenden Lösung.
Übertrage die richtige Zuordnung in dein Heft.

2. Vereinfacht werden die mehrzelligen Tiere in Wirbeltiere (alle Tiere mit Wirbelsäule) und Wirbellose (Tiere ohne Wirbelsäule) unterteilt. Erstelle – basierend aus den Angaben zu Frage 1 – ein Kreisdiagramm, das den Anteil der Wirbeltiere und der Wirbellosen an der Gesamtzahl der Tierarten darstellt.

LÖSUNGSVORSCHLAG W 2.2

Station 2: Artenvielfalt in Deutschland

1.	ARTENZAHL	ANZAHL
	Tiere und Pflanzen (ohne Pilze)	57.500 Arten
	Wild wachsende Pflanzen (mit Algen)	9.500 Arten
	Insekten	33.305 Arten
	Brutvögel	328 Arten
	Säugetiere	104 Arten
	Reptilien	14 Arten
	Amphibien	22 Arten
	Fische	197 Arten

2. Berechnung:

a) **Wirbeltierarten:**

Reptilienarten

+ Brutvogelarten

+ Säugetierarten

+ Amphibienarten

+ Fischarten

= 665

b) **Wirbellose (Tier- und Pflanzenarten + Pflanzenarten)**

+ Wirbeltierarten

57.500 Arten + 9.500 Arten + 665 Arten

= 47.335 Arten

c) **Gesamtzahl der Tierarten:**

Tier- und Pflanzenarten

+ Pflanzenarten

57.500 Arten + 9.500 Arten

= 48.000 Arten

Was ist Biodiversität?

ANLAGE W 2.3

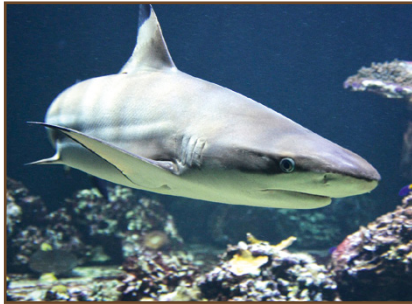
Station 3: Tierische Artenvielfalt

Information

Von etwa 30 heute bekannten Tierstämmen zählen 29 zu den Stämmen der Wirbellosen. Sie besiedeln vom Gletscherfloh in den Hochgebirgen bis zum Riesenkalmar in der Tiefsee nahezu alle Lebensräume der Erde.

Aufgaben

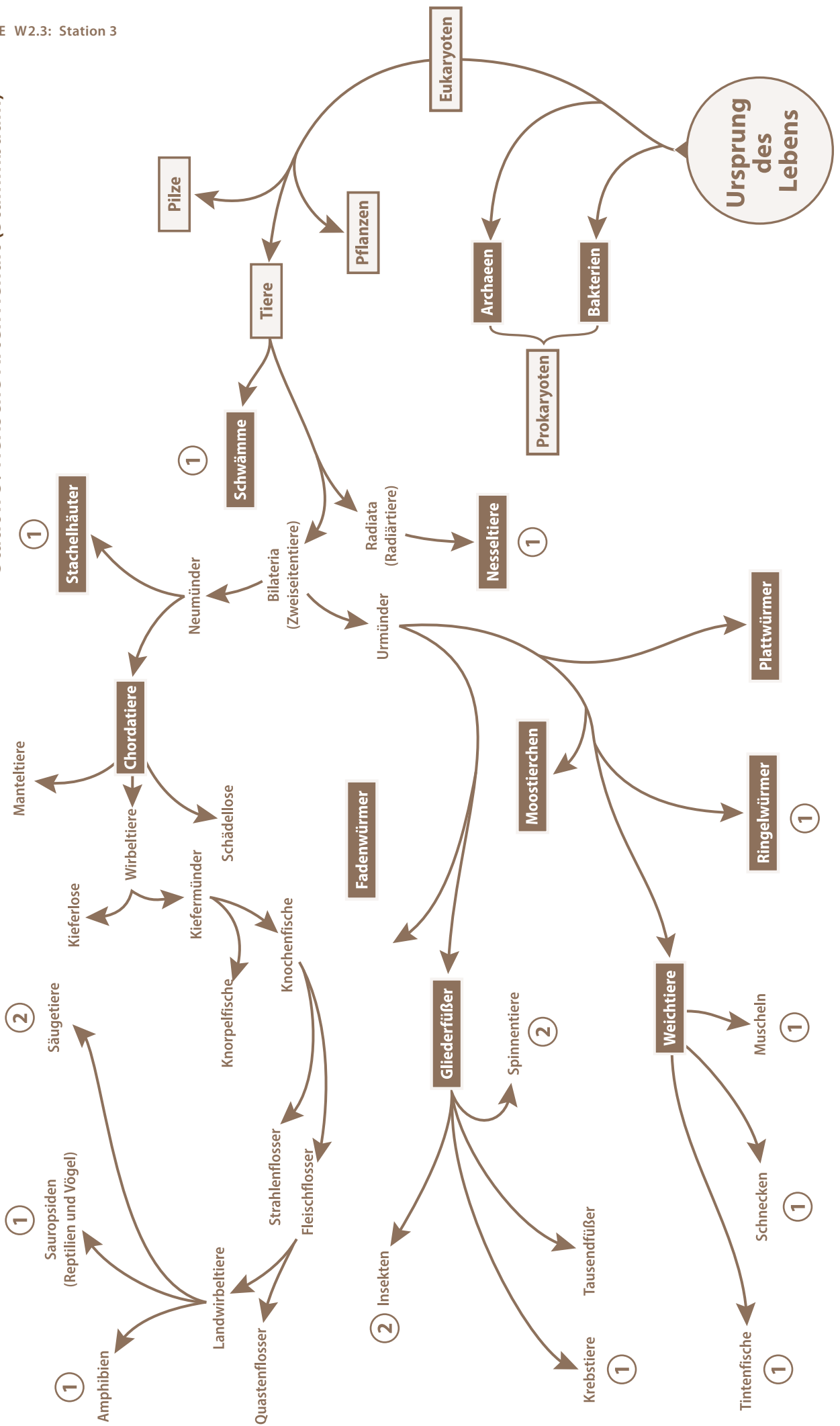
1. Schneide die Tierkärtchen auf der nächsten Seite aus.
2. Ordne sie einer Gruppe auf dem Stammbaum zu und vergleiche mit der Musterlösung.
3. Klebe den tierischen Stammbaum in dein Heft oder fotografiere ihn.



**GELBBAUCHUNKE****ROTKEHLCHEN****GORILLA****FEUERFISCH****HAI****SCHNABELTIER****SCHMETTERLING****WEINBERGSCHNECKE****SKORPION****GROßER OKTOPUS****KRABBE****MISTKÄFER****MUSCHEL****ZECKE****SEESTERN****REGENWURM****SCHWAMM****QUALLE**

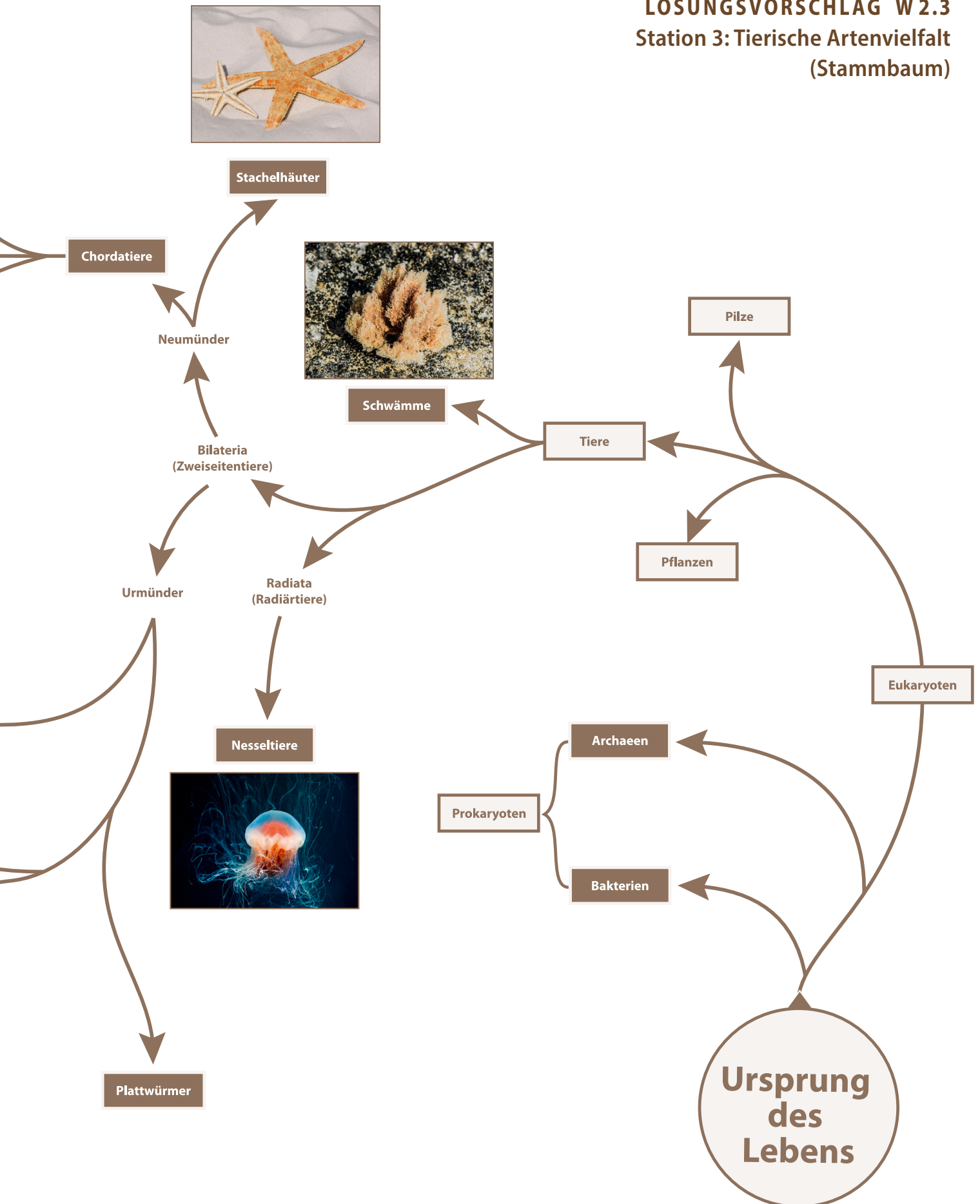
ANLAGE W2.3

Station 3: Tierische Artenvielfalt (Stammbaum)





LÖSUNGSVORSCHLAG W 2.3 Station 3: Tierische Artenvielfalt (Stammbaum)



ANLAGE W 2.4

Station 4: Was bringt mir die Biodiversität?

Information

Die Vielfalt des Lebens ist eine der ganz wesentlichen Grundlagen für das menschliche Leben. Biodiversität schenkt uns Nahrung, Lebensqualität und noch viel mehr. Was zum Beispiel?

Aufgabe

1. Ordnet die Beispielskärtchen den Geschenken zu, die die Biodiversität den Menschen macht.

Beispielskärtchen		
Etwa 25 Prozent der Farn- und Blütenpflanzen sind bekannte Heilpflanzen. Dabei sind die meisten Tier- und Pflanzenarten hinsichtlich ihres möglichen Nutzens für den Menschen noch nicht untersucht.	Die jährliche landwirtschaftliche Produktion, die von bestäubenden Insekten (zum Beispiel Bienen, Hummeln) abhängig ist, entspricht weltweit 153 Milliarden Euro.	Ein Hoffnungsträger für die Behandlung von Magengeschwüren und -krebs war der Magenbrüterfrosch aus Australien. Weil er seine Jungen im Magen aufzog, produzierte er eine Substanz, die die Produktion von Magensäure und Enzymen blockiert, um die Kaulquappen vor der Verdauung zu schützen. Leider ist der Magenbrüterfrosch inzwischen ausgestorben. Jetzt versuchen Wissenschaftler mit großem Aufwand den Frosch mit Hilfe von eingefrorenem Gewebe zu klonen («Lazarus-Projekt») – bisher ohne Erfolg.
Auch den künftigen Generationen sollen die vielfältigen Wohltaten und Chancen der Vielfalt des Lebens zur Verfügung stehen.	Dreiviertel der Nahrungspflanzen hängen zumindest teilweise von der Bestäubung durch bestimmte Tiere ab.	
Abwechslungsreiche Natur- und Kulturlandschaften bieten einzigartige Möglichkeiten zur Freizeitgestaltung und Erholung. Sie sind Heimat und Touristenmagnet.	Alpine Bergwälder schützen vor Lawinen, Murenabgängen, Steinschlag und Überschwemmungen.	Erlebnisse in der Natur können Menschen heilen. Studien mit ADHS-Kindern (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung, die häufigste psychiatrische Erkrankung bei Kindern) zeigen sehr deutlich, dass ein Aufenthalt in der Natur eine beruhigende Wirkung hat.
Mit 760.000 Besuchern pro Jahr stellt der Nationalpark Bayerischer Wald die wichtigste touristische Attraktion der Region im Osten Bayerns dar. Die staatlichen Ausgaben betragen jährlich zirka 12 Millionen Euro. Der Park erzeugt eine Wertschöpfung von etwa 27,8 Millionen Euro. Bedeutende Anteile der Einnahmen verbleiben in der Region.	Der Klettverschluss rettet Millionen von Kindern vor dem lästigen Binden der Schuhbänder. Das Prinzip hat man sich bei den Früchten der Klette abgeschaut. Auch in vielen anderen Lebensbereichen hat man «Erfindungen» der Natur nachgebaut: bei Oberflächen, die nicht dreckig werden, genauso wie in der Robotik und Flugzeugtechnik.	

Gesundheit	Wohlstand	Geschenkkärtchen
Technische Innovationen	Nahrung	Generationengerechtigkeit
Lebensfreude und Inspiration		Sicherheit

LÖSUNGSVORSCHLAG W 2.5

Station 4: Was bringt mir die Biodiversität?



Abbildung W2.5-1

Päckchen mit Geschenkkärtchen (Foto: Martin Jochner)

HINWEIS:

Die Zuordnung der Beispielpäckchen zu den «Geschenken» kann auch «nur auf dem Papier» anhand der Geschenkkärtchen ohne die Päckchen erfolgen.

Warum ist Biodiversität wichtig?

ANLAGE W 2.6**Station 5: Alle Lebewesen haben einen Eigenwert****Rede eines «Native American» vom Volk der Taos**

(nach Nancy Wood)

«Ihr Bleichgesichter seid respektlos! Ihr meint, dass der Baum nur dazu da ist, dass Ihr Brennholz habt und ein Frosch nur, damit eine Firma viel Geld mit einem neuen Medikament verdient. Das ist respektlos, egoistisch und dumm. Ich sage euch, was ich glaube:

Die Mutter von uns allen ist die Erde.
 Der Vater ist die Sonne.
 Der Großvater ist der Schöpfer,
 der uns in seinem Geist badete
 und allen Dingen Leben gab.
 Der Bruder ist das Tier und der Baum.
 Wir sind die Kinder der Erde
 und verletzen sie auf keine Weise.
 Wir beleidigen auch die Sonne nicht,
 sondern grüßen sie am Morgen:
 Wir preisen unseren Großvater für seine Schöpfung.
 Wir teilen den gleichen Atem –
 Tiere, Bäume, Vögel, Menschen.

Habt Ihr jetzt verstanden, warum Ihr respektvoll mit den anderen Lebewesen umgehen sollt?»

Aufgaben

1. Nenne zwei Werte, die in dem Text von Nancy Wood zum Ausdruck kommen.
2. Was denkst du? Wie kannst du respektvoll mit Lebewesen umgehen?
 Formuliere zwei bis drei Sätze in dein Heft.

W 3 Tagfalter-Monitoring

Grundlegende Informationen

Seit 2005 wird auch hierzulande das vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Halle/Saale koordinierte Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD) durchgeführt – ein aufwendiges Citizen Science-Projekt, bei dem ehrenamtliche Schmetterlingszählerinnen und -zähler an selbst angelegten Monitoring-Strecken (sogenannten Transekten) regelmäßig und über Jahre hinweg quantitative und qualitative Daten zur heimischen Tagfalter-Fauna sammeln. Diese Daten sind eine unschätzbare Wissensgrundlage zur Entwicklung von Insektenpopulationen vor dem Hintergrund eines immer noch fortschreitenden Habitatverlustes und des Klimawandels. Beim TMD geht es vordergründig nicht um seltene oder bedrohte Schmetterlingsarten, vielmehr überwachen die Laienzählerinnen und -zähler vor allem die Bestandsentwicklung der häufigen und gut bekannten Tagfalter, indem sie diese von April bis September regelmäßig alle ein bis zwei Wochen erfassen und die Daten ans UFZ melden. Folgende Entwicklungstrends, entstanden aus den TMD-Daten seit 2005 (Quelle: UFZ; Fotos: Horst Röttschke und Gabriel Ziegler), sollen dies illustrieren:

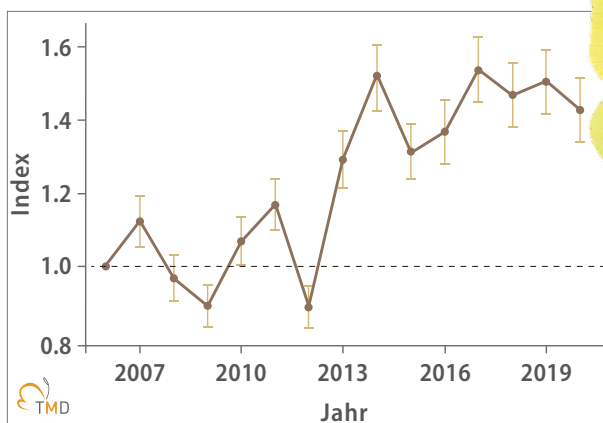


Abbildung W3-1
Das Diagramm zeigt die Bestandsentwicklung des Zitronenfalters (*Gonepteryx rhamni*), der Trend zeigt eine Zunahme.

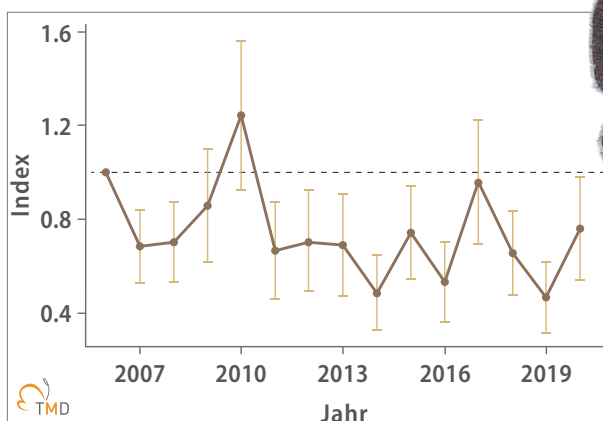
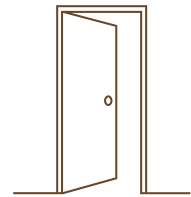


Abbildung W3-2
Das Diagramm zeigt die Bestandsentwicklung des Dunklen Wiesenknopf-Ameisenbläulings (*Phengaris nausithous*), der Trend ist nicht signifikant.

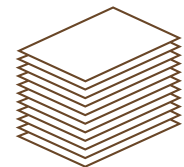
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand

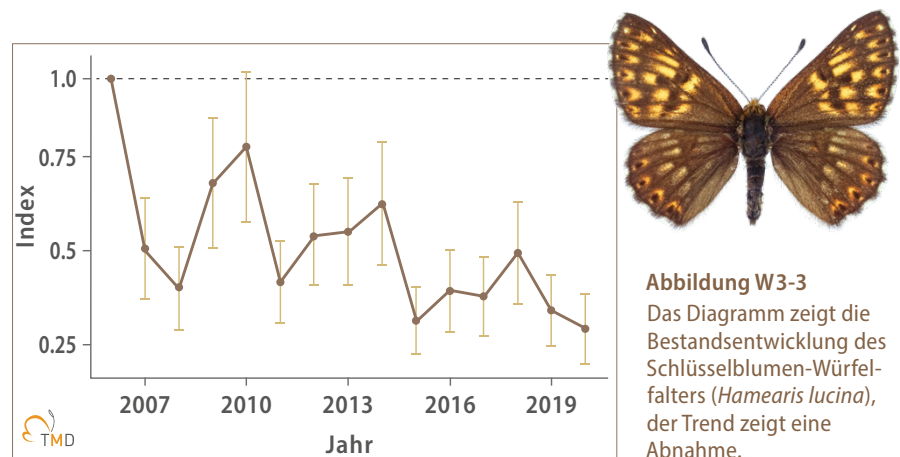


Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☒
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- Bestimmungshilfen (siehe **Modul W1 d**) und -bücher (empfohlen von STETTMER et al. [2022] oder SETTELE et al. [2015])
- **Maßband** oder zuvor abgemessene Seillängen
- **Schmetterlingsnetz, Becherlupen, Druckverschlussbeutel** zum temporären Fang
- Falls vorhanden: **Fernglas** (reicht meist zur Bestimmung sitzender Falter)
- **Anlage W3.1**



Dieses Modul beschreibt Einsatzmöglichkeiten für das Arbeiten mit der TMD-Methode. Dabei können viele Kompetenzen und Arbeitsweisen der Freilandbiologie gefördert und ein nachhaltiges Interesse an der heimischen Biodiversität geweckt werden. Denkbar sind unter anderem folgende Aktionen:

- **Aktion 1**
Einrichten eines nach der TMD-Methode standardisierten Transektes zur Vermittlung einer naturwissenschaftlichen Arbeitsweise
- **Aktion 2**
Einmalige Tagfalter-Kartierung an einer geeigneten Fläche unter Verwendung des für Schulen angepassten Erfassungsinstrumentes
- **Aktion 3**
Vergleich von verschiedenen Lebensräumen an einem Projekttag
- **Aktion 4**
Vergleich einer Transektstrecke zu verschiedenen Zeitpunkten

Um auch die emotionale Teilhabe der SuS zu stärken und ihnen eine schöne Erinnerung an eine eindrucksvolle Exkursion zu geben, können die SuS ihre Funde durch Bilder dokumentieren und eine kleine, digitale oder analoge Ausstellung gestalten. Impulse hierfür könnten sein:

- Fotografiere den Schmetterling, der dir am besten gefällt.
- Fotografiere das Verhalten der Schmetterlinge (beispielsweise Nahrungsaufnahme, Fortpflanzung).
- Macht als Gruppe von jedem beobachteten Schmetterling mindestens ein Foto.

Auch ein Mitwirken an der Datenbank des UFZ ist möglich, dann sollte man sich mit seiner Zählstrecke für drei bis fünf Jahre verpflichten, um aussagekräftige Rohdatenmengen zu erhalten.

Durchführung

Tipps zum Umgang mit gefangenen Schmetterlingen

Mit einem Netz gefangene Tiere können direkt in eine Becherlupe oder einen Druckverschlussbeutel überführt werden. Bei sorgfältigem Vorgehen nehmen die Tiere dabei keinen Schaden, dies sollte einige Male im Vorfeld von der Lehrkraft geübt und den SuS demonstriert werden. Erfahrungsgemäß haben SuS eine hohe Motivation, keine Schmetterlinge zu verletzen, und sie lernen das richtige Handling der Tiere sehr schnell.

Becherlupen (mit Deckel oder Styroporstopfen) sind etwas leichter in der Handhabung, allerdings kommen Schmetterlinge darin kaum zur Ruhe, was die Bestimmung erschwert. Bei kurzem Abdunkeln, zum Beispiel mit den Händen, setzen sich die Falter meist vorübergehend.

Druckverschlussbeutel erfordern etwas mehr Fingerspitzengefühl. Man kann dafür sowohl Unter- als auch Oberseite in Ruhe betrachten, was für viele Arten zur Bestimmung notwendig ist.

Für beide Methoden gilt:

Gefangene Tiere nur ganz kurz der direkten Sonne aussetzen!



Abbildung W3-4 (links)

Gelbling (*Colias hyale* oder *C. alfacariensis*) in einer Becherlupe (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W3-5 (rechts)

Kleines Wiesenvögelchen (*Coenonympha pamphilus*) in einem Druckverschlussbeutel (Foto: Martin Eiblmaier)

Leistungserhebung

Nicht vorgesehen

AKTION 1

Einrichten einer Zählstrecke

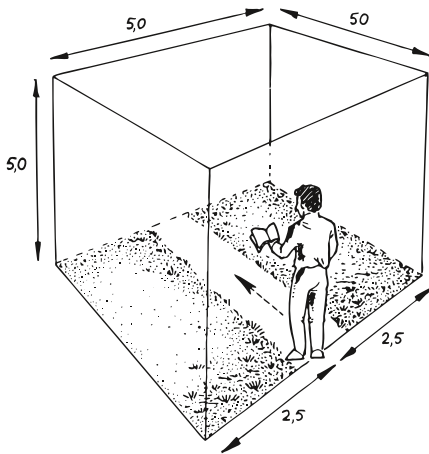


Abbildung W3-6

Schematische Darstellung eines Transektabschnitts; dieser sollte insgesamt $50 \times 5 \times 5$ Meter groß sein.

Rechts und links vom Weg beziehungsweise von der kartierenden Person sind jeweils 2,5 Meter nach Faltern abzusuchen.

Damit Daten aus ganz Deutschland vergleichbar werden, müssen alle am Citizen Science-Projekt beteiligten Zähler genau gleich vorgehen. Diese Notwendigkeit sollte den SuS auch bei einer einmaligen Aktion deutlich gemacht werden, denn das Auswählen und Vermessen der eigenen Zählstrecke ist ein wichtiger Schritt auf dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg.

Folgende Regeln gelten für einen Transektabschnitt:

- Länge: 50 Meter
- Breite und Höhe: Jeweils 5 Meter (siehe Abbildung W3-6)
- Dauer einer Begehung: Exakt 5 Minuten (Unterbrechungen nicht eingerechnet)

Für das Ausmessen des Transektabschnitts kann ein Maßband verwendet werden – für die Genauigkeit im Rahmen einer Schulaktion ist aber auch das Abzählen von 50 Schritten ausreichend. Bei ausreichend großer Bearbeitungsfläche können auch Gruppen von etwa fünf SuS jeweils einen Transektabschnitt ausmessen und bearbeiten.

TIPPS FÜR DIE WAHL DER FLÄCHE

- Für die Motivation der SuS ist es wichtig, auch wirklich Tagfalter anzutreffen und zählen zu können. Sonnige Flächen mit artenreicher Vegetation sind besonders gut geeignet.
- Verschiedene Lebensräume beheimaten unterschiedliche Arten von Schmetterlingen. Gut geeignet sind Waldränder, lichte Wälder, trockene und feuchte Wiesen in extensiver, landwirtschaftlicher Nutzung sowie Moore.
- Es wird empfohlen, Transekte mit Schulklassen entlang von bestehenden Wegen anzulegen, um Trittschäden in den Lebensräumen zu vermeiden. Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen sollte man im Voraus das Einverständnis des Grundeigentümers einholen.
- Bei gutem Wetter wird man aber auch im Stadtpark oder in Gartenanlagen auf Schmetterlinge stoßen. Allerdings muss die Fläche groß genug sein, um zumindest einen Transektabschnitt von 50 Metern bilden zu können.
- Um die Vegetation zu schonen, sind bei einer Exkursion mit ganzen Klassen solche Flächen vorzuziehen, bei denen man entlang von Feldwegen oder Wanderpfaden zählen kann.

AKTION 2

Tagfalter-Kartierung entlang eines Transektabschnitts

An einem einmal abgemessenen Transekt können jederzeit von April bis September Schmetterlinge kartiert werden. Allerdings sollte man dabei folgende Wetterkriterien beachten, um Aussicht auf eine erfolgreiche Aktion zu haben (Empfehlungen des UFZ): Folgende Regeln gelten für einen Transektabschnitt:

- Kein Regen
- Temperatur mehr als 13 °C, bei starker Bewölkung Temperatur mehr als 17 °C
- Windstärke weniger als 4 (entspricht weniger als 20 km/h)

In Gruppen von etwa fünf SuS können dabei auch mehrere Transektabschnitte gleichzeitig bearbeitet werden. Das UFZ empfiehlt in seiner Broschüre «Tagfalter-Monitoring ... macht Schule» (erhältlich unter nebenstehendem QR-Code) folgende Rollenverteilung:

- Fänger/Fängerin (Kescher)
- Detektiv/Detektivin (Lupe)
- Paparazzo (Kamera/Smartphone)
- Professor/Professorin (Bestimmungsbuch)
- Journalist/Journalistin (Eintragen in den Erfassungsbogen)

Diese «Berufe» sind zwar für jüngere SuS erdacht worden, dennoch macht eine feste Rollenverteilung in der Gruppe auch in der 9. Jahrgangsstufe Sinn, um zügig zu gut dokumentierten Ergebnissen zu kommen. Bei einer Wiederholung der Zählung oder am nächsten Transektabschnitt können die Rollen gewechselt werden.

Der für SuS etwas vereinfachte Erfassungsbogen befindet sich in **Anlage W3-1**. Damit können die Schmetterlinge in zwei Abschnitten zu je 50 Metern durch Strichzählung (zum Beispiel III I) notiert werden. Schmetterlinge, die außerhalb des 5-Meter-Korridors fliegen, können ebenfalls aufgeschrieben werden, zählen aber nicht zum Gesamtergebnis. Die Liste umfasst die in weiten Teilen Bayerns am ehesten zu erwartenden Arten – dennoch werden bei einer Begehung meist nur einige dieser Arten anzutreffen sein. Zusätzliche Arten können unter der Liste angefügt werden.

Falls in den 5 Minuten kein Falter im Korridor anwesend war, muss man das Kreuz bei «Nullbegehung» setzen. In der Nachbesprechung sollte die Lehrkraft darauf eingehen, dass auch eine Erfassung ohne Falterfund wichtige Daten für das TMD liefert.

QR-Code W3-7

Link zur UFZ-Broschüre
«Tagfalter macht ... Schule»
(www.ufz.de/tagfalter-monitoring/index.php?de=46225)



AKTION 3

Vergleich von zwei verschiedenen Lebensräumen an einem Projekttag

Ein Vergleich mehrerer Transekte ermöglicht die Erkenntnis, dass viele heimische Insekten Habitatspezialisten sind und nur in geeigneten Lebensräumen vorkommen. Befindet sich in Schulpnähe ein Ort, an dem verschiedene Habitate zusammentreffen (Wald, Waldrand, nasses beziehungsweise trockenes Grünland, Acker), können Gruppen von SuS ihre Transektabschnitte in jeweils verschiedenen Umgebungen ausmessen. Auch ein Vergleich von extensiv und intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen ist möglich.

Im Anschluss werden die Ergebnisse der einzelnen Gruppen verglichen. Generalisten und Arten mit großem Wandertrieb (zum Beispiel Kleiner Fuchs, *Aglais urticae*) wird man in mehreren Lebensräumen kartieren, manche Arten sind jedoch sehr ortstreu und an bestimmte Habitate gebunden. Beispiele für Tagfalter aus Offenland und Wald, die nicht auf der jeweils anderen Fläche zu erwarten sind, zeigen die folgenden Abbildungen W3-8 bis 11:

OFFENLAND



Abbildung W3-8
Kleines Wiesenvögelchen
(*Coenonympha pamphilus*;
Foto: Martin Eiblmaier)

WALD



Abbildung W3-10
Kleiner Eisvogel
(*Limenitis camilla*;
Foto: Martin Eiblmaier)

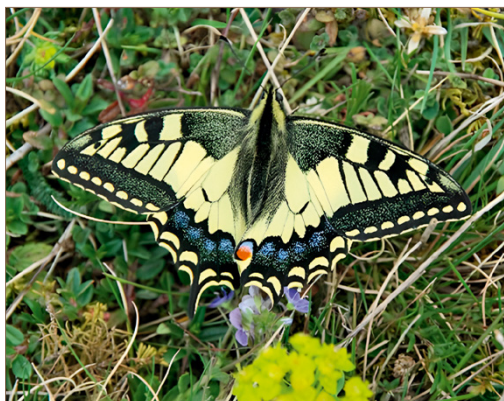


Abbildung W3-9
Schwalbenschwanz
(*Papilio machaon*;
Foto: Martin Eiblmaier)



Abbildung W3-11
Waldbrettspiel
(*Pararge aegeria*;
Foto: Martin Eiblmaier)

AKTION 4

Vergleich einer Transektstrecke zu verschiedenen Zeitpunkten

Tagfalter haben typische Flugzeiten und sind nur in der entsprechenden Jahreszeit zu finden. Zwei Zählungen, etwa im April und im Juni am selben Ort, werden ganz unterschiedliche Ergebnisse liefern. Abbildung W3-8 illustriert dies.

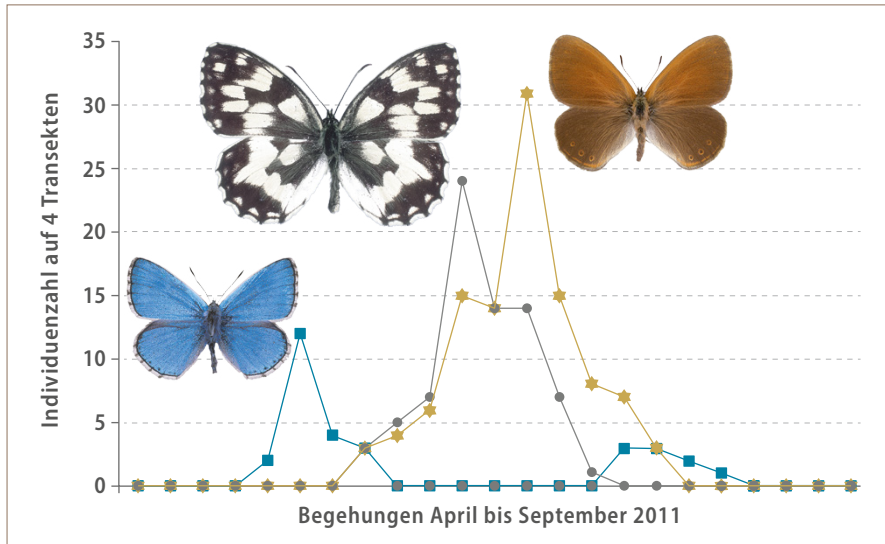


Abbildung W3-12

Grafik mit Einzelzählungen von drei Falterarten zwischen April und September 2011.

(Daten: Martin Eiblmaier;

Fotos: Horst Röttschke)

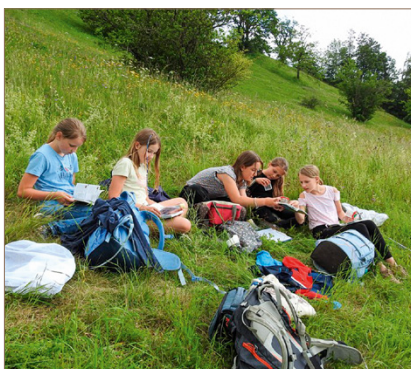
■ Himmelblauer Bläuling

● Schachbrettfalter

★ Rotbraunes Wiesenvögelchen

Es wird deutlich, dass der Himmelblaue Bläuling (*Polyommatus bellargus*) in zwei Generationen vorkommt: Die erste fliegt im Mai und Anfang Juni, paart sich und legt Eier. Die Nachkommen durchleben die Stadien Ei, Raupe und Puppe und sind dann im August wieder als Schmetterling nachweisbar. Schachbrettfalter (*Melanargia galathea*) und Rotbraunes Wiesenvögelchen (*Coenonympha glycerion*) haben nur eine jährliche Generation und sind vor allem im Juni und Juli in hohen Zahlen zu finden.

Die Daten stammen von SuS der Pfaffenwinkel-Realschule und des Welfen-Gymnasiums Schongau, die sich von 2010 bis 2015 und 2024 am TMD beteiligten. Dabei wurde der Halbtrockenrasen am Naturdenkmal Siechenhalde untersucht. Viele Jugendliche waren über mehrere Jahre dabei und haben dabei das wissenschaftliche Arbeiten erlernt und eine hohe Artenkenntnis nicht nur in Bezug auf Schmetterlinge entwickelt, denn auch die Flora und andere Tiere vor Ort (zum Beispiel Zauneidechse, Streifenwanze, Buntbäuchiger Grashüpfer) wurden regelmäßig beobachtet.



Abbildungen W3-13 (links) und W3-14 (rechts)

Tagfaltermonitoring am Naturdenkmal Siechenhalde in Schongau (Fotos: Martin Eiblmaier)

ANLAGE W 3.1

Erfassungsbogen Tagfalter-Monitoring Deutschland

[illegible]

W 4 Vergleich von Insektenbeinen

Grundlegende Informationen

Insektenbeine eignen sich gut zum Vergleichen und Herausarbeiten verschiedener Grundtypen von Extremitäten. Dabei kann die Selektion verdeutlicht werden (vergleiche LehrplanPLUS LB 9.4 Evolution). Folgende prozessbezogene Kompetenzen werden gefördert:

- Die SuS verwenden ein Lichtmikroskop oder Binokular, um Präparate zu betrachten, und erstellen selbstständig beschriftete Zeichnungen der betrachteten biologischen Strukturen.
- Die SuS vergleichen Lebewesen und deren Merkmale kriteriengeleitet, um Rückschlüsse auf die Ursachen von Ähnlichkeiten zu ziehen.

Zur Untersuchung von Insekten eignen sich am besten Binokulare. Die SuS sollen dabei die Faszination der dreidimensionalen Vergrößerung erleben.

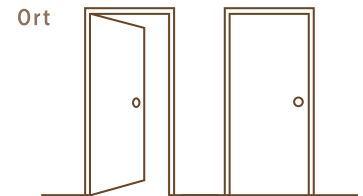
Anschließend fertigen die SuS ein (digitales) Bild von den Insektenbeinen an, das zum einen als Grundlage für Vergleiche und zum anderen als Grundlage für (optional) anzufertigende Skizzen benötigt wird, da sich die Insekten zu stark bewegen und möglichst bald wieder freigelassen werden sollten.

Für die Verbindung von digitalen Endgeräten und Binokularen gibt es Adapter, die direkt auf dem Okular aufgebracht werden können. Falls keine Binokulare zur Verfügung stehen, gibt es auch Beobachtungslupen, die direkt vor der Kamera des Smartphones oder des Tablets angebracht werden können (siehe Anlage Wo4-3: «Arbeiten mit einer Lupe für das Smartphone»).

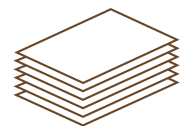
ANMERKUNG

Analog kann man dieses Modul auch anhand der Mundwerkzeuge von Insekten durchführen. Dies ist in Bezug auf die Bilder, die von den SuS angefertigt werden sollen, wesentlich anspruchsvoller.

Die Bilder werden gespeichert. An bayerischen Schulen sind **mebis** und **ByCS Drive** die vorgeschlagenen Möglichkeiten hierfür. Alternativ können natürlich auch andere, an der Schule eingeführte Systeme verwendet werden, die den SuS eine gemeinsame Dateiablage und den Dateiaustausch ermöglichen.



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- Siehe Fließtext
- **Arbeitsblätter W4.1 und W4.2**
- **Anlage W4.3**

Materialien

- Digitales Endgerät (Smartphone oder Tablet)
- Optische Hilfsmittel (Binokular oder Lupe für das Smartphone/Tablet)
- Untersuchungsgefäße (beispielsweise Druckverschlussbeutel, kleine Petrischalen, Schraubdeckelgläschen, Becherlupen)
- Eventuell Insektennetze
- Schulbuch oder Arbeitsblatt: Grundtypen der Insektenbeine

Variante 1: Freiland

- Kühltasche mit Kühlakkus (zum Beispiel Flaschen oder Eisbeutel mit sehr kaltem Wasser oder mit Eiswürfeln, diese dürfen die Insekten aber nicht beschädigen!)
- Bestimmungsliteratur

Variante 2: Klassenzimmer

- Insekten aus dem Futtermittelhandel
- Eventuell Einschlusspräparate aus der Sammlung

Durchführung

Variante 1: Freiland

Im Freiland müssen die SuS unbedingt vorher darauf hingewiesen werden, dass sie mit Insekten vorsichtig umgehen müssen und dass manche Insekten stechen können.

Die SuS sammeln Insekten aus dem Untersuchungsgebiet aus allen Bereichen (beispielsweise Boden, Blüten, Fluginsekten). Dabei stülpen sie möglichst kleine Druckverschlussbeutel über die Insekten und entfernen nach dem Fang soweit wie möglich die Luft. Fliegende Insekten können auch mit dem Insektennetz gefangen werden. Durch die Einschränkung der Bewegungsfreiheit lassen sich die Insekten bereits gut untersuchen.

Bei Bedarf werden die Insekten in der Kühltasche abgekühlt. Durch die Abkühlung und die damit sinkende Körpertemperatur werden die Bewegungen der Insekten noch einmal deutlich verlangsamt, ohne dass die Insekten dadurch geschädigt werden. Dies ermöglicht, die Bilder der Insektenbeine entweder direkt im Druckverschlussbeutel oder aber in einer Petrischale anzufertigen. Wenn im Freiland keine Internetanbindung besteht, können die Bilder auch im Nachgang (als Hausaufgabe) im gemeinsamen Dateispeicherort abgelegt werden. In diesem Rahmen kann, wenn gewünscht und zeitlich passend, die Bestimmung der Insekten mit einer App durchgeführt werden (zum Beispiel ObsIdentify; Datenschutzvorgaben für den Unterricht beachten!). Das Ergebnis der Bestimmung muss aber auf alle Fälle abgesichert werden. Dafür eignen sich auch die Bestimmungsmodule in dieser Handreichung (**Modul W1**).

Variante 2: Klassenzimmer

Vor der Stunde sollten die von der Lehrkraft bereitgestellten, lebenden Insekten eine Stunde im Kühlschrank gekühlt werden, da sie dann leichter zu fotografieren sind (siehe Variante 1). Es können auch die Druckverschlussbeutel verwendet werden.

Die Schülerinnen und Schüler erhalten von der Lehrkraft das **Arbeitsblatt W4.2**, den Internetzugang und die Zugangsdaten zum verwendeten Dateiablageort.

Während der Stunde sollen die SuS Bilder von den Insektenextremitäten (vorzugsweise des letzten Beinpaares) anfertigen, gegebenenfalls digital bearbeiten (zum Beispiel zuschneiden) und anschließend am Dateispeicherort ablegen. Dabei sollen die Bilder im Dateinamen mit der Insektengruppe beziehungsweise dem Artnamen gekennzeichnet werden. Falls diese als Futtertiere gekauft wurden, stehen die Namen bereits auf der Verpackung; andernfalls sollte eine Bestimmung der Insekten (digital zum Beispiel mit der App ObsIdentify; analog mit bereitgestellter Bestimmungsliteratur oder den Bestimmungsmodulen dieser Handreichung siehe **Modul W1**) von den SuS durchgeführt werden.

Beide Varianten

Zu Hause (oder in der Folgestunde) sollen die Beinpaare nach Ähnlichkeiten geordnet werden und eine Skizze von dem jeweiligen Bein erstellt werden, bei dem die besonderen Ordnungskriterien sichtbar werden.

Als zweite Aufgabe sollen die SuS den Lebensraum der Insekten recherchieren und dabei die Anpassungen der Beine an den Lebensraum erläutern.

Die Bilder von verschiedenen Insektenbeinen aus dem Biologiebuch können eine Hilfe darstellen, verraten allerdings sehr schnell die besonderen Anpassungen an den Lebensraum, die bei der zweiten Aufgabe gefordert wird.

Aufgaben

Siehe Anlagen

Leistungserhebung

Entfällt

ARBEITSBLATT W 4.1

Variante 1: Freiland

Evolution am Werk – Vergleich von Insektenbeinen

Aufgaben

- Hole dir von der Lehrkraft folgende Materialien:
 - Binokular mit Smartphone-Halterung (alternativ eine Smartphone-Lupe mit Clip.
In Anlage W4.3 «Arbeiten mit einer Lupe für das Smartphone/Tablet» findest du dazu eine Anleitung)
 - Untersuchungsgefäße (Druckverschlussbeutel und weitere Gefäße)
 - Falls du kein eigenes Smartphone hast, besorge dir ein Schul-Tablet.
- Fange Insekten! Dazu stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:



Abbildung W4.1-1
Insektennetz
(Foto: Florian Bernhard)



Abbildung W4.1-2
Druckverschlussbeutel
(Foto: Florian Bernhard)



Abbildung W4.1-3
Becher(-lupe)
(Foto: Florian Bernhard)

- Wenn du ein Insektennetz verwendest, musst du die Insekten in einen Druckverschlussbeutel «umziehen». Insekten können mit dem Druckverschlussbeutel direkt von Pflanzen gefangen werden, wenn man ihn vorsichtig über das (sitzende) Insekt stülpt und wartet, bis es auffliegt. Außerdem kannst du Insekten direkt mit den Becherlupen fangen und sie danach in einen Druckverschlussbeutel geben.

VORSICHT

- Manche Insekten können stechen beziehungsweise beißen, handle also umsichtig!
- Hummeln musst du sehr schnell wieder freilassen, da sie sonst überhitzen.

- Wenn sich die Insekten zu schnell bewegen, gib sie in die Kühltasche, sodass sie langsamer werden und du sie besser beobachten beziehungsweise fotografieren kannst.
- Betrachte zunächst das Insekt möglichst genau im Binokular. Wenn du das Insekt dabei in einen Druckverschlussbeutel gibst und die Luft vorsichtig ausstreichst, wird die Beweglichkeit sehr eingeschränkt und du kannst die Insekten in Ruhe beobachten. Allerdings solltest du die Tiere möglichst bald wieder freilassen.

6. Versuche nun, ein Foto von den Insektenbeinen anzufertigen. Besonders interessant ist dabei das Hinterbein! Bei der Verwendung einer Smartphone-Lupe musst du besonders vorsichtig sein, damit du das Insekt nicht beschädigst, indem du es zu stark drückst!
7. Fertige eine halbseitige Bleistiftskizze von dem hintersten Bein an; du kannst dabei entweder das Insekt direkt oder das Bild als Vorlage verwenden.
8. Versuche herauszubekommen, welches Insekt du gefangen hast! Nutze dazu Bestimmungsliteratur, den NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel oder die App ObsIdentify (dazu brauchst du ein Bild von dem gesamten Insekt und du musst das Ergebnis kritisch prüfen und absichern!)
9. Speichere jetzt das Bild auf das von deiner Lehrkraft eingerichtete System.
10. Ordne die Bleistiftskizzen den erstellten Bildern zu.
Können alle Bilder zugeordnet werden?
11. Sortiere die Bilder aus deiner Klasse nach Ähnlichkeiten und überlege dir, warum im Laufe der Evolution bei dem Insekt ein solches Bein entstanden ist.
12. Nenne zu jeder Gruppe die wichtigste Funktion des Beintyps.
13. Zusatzaufgabe (wenn noch Zeit bleibt):
Zeichne die Beine von deinen Insekten ab und erstelle mit den Bildern deiner Klasse ein Memory. Dies kann auch digital geschehen!

QR-Code W4.1-4

Link zum NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel
(<https://insektentrainer.nabu.de/insektenbestimmungsschluesel>)



TIPP

Achte auf den natürlichen Lebensraum (Biotop) und die Lebensweise des Insekts!

ARBEITSBLATT W 4.2

Variante 2: Klassenzimmer

Evolution – ein Zwischenbericht: Vergleich von Insektenbeinen

Aufgaben

1. Hole dir von der Lehrkraft folgende Materialien:
 - Binokular mit Smartphone-Halterung (alternativ eine Smartphone-Lupe mit Clip. Auf dem Blatt «Arbeiten mit einer Lupe für das Smartphone» findest du dazu eine Anleitung.)
 - Untersuchungsgefäße (Druckverschlussbeutel und weitere Gefäße)
 - Falls du kein eigenes Smartphone hast, besorge dir ein Schul-Tablet.
 - Die Untersuchungsinsekten: Falls du lebende Insekten bekommst, lasse sie möglichst lange in der Kühlung, sodass sie langsam sind und du sie besser beobachten beziehungsweise fotografieren kannst.
2. Betrachte zunächst das Insekt möglichst genau im Binokular. Wenn du das Insekt dabei in einen Druckverschlussbeutel gibst und die Luft vorsichtig ausstreichst, wird die Beweglichkeit sehr eingeschränkt und du kannst die Insekten in Ruhe beobachten. Allerdings solltest du die Tiere möglichst bald wieder freilassen.
3. Versuche nun, ein Foto vom gesamten Insekt und von den Insektenbeinen anzufertigen. Besonders interessant ist dabei das letzte Bein! Bei der Verwendung einer Smartphone-Lupe musst du besonders vorsichtig sein, damit du das Insekt nicht beschädigst, indem du es zu stark drückst!
4. Fertige eine halbseitige Bleistiftskizze von dem hintersten Bein an; du kannst dabei entweder das Insekt direkt oder das Bild verwenden.
5. Versuche herauszubekommen, welches Insekt du gefangen hast! Nutze dazu Bestimmungsliteratur, den NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel oder die App ObsIdentify (dazu brauchst du ein Bild von dem gesamten Insekt und du musst das Ergebnis kritisch prüfen und absichern!).
6. Speichere das Bild auf das von deiner Lehrkraft eingerichtete System.
7. Sortiere die Bilder aus deiner Klasse nach Ähnlichkeiten und überlege dir, warum im Laufe der Evolution bei dem Insekt ein solches Bein entstanden ist.
8. Nenne zu jeder Gruppe die wichtigste Funktion des Beintyps.
9. Zusatzaufgabe (wenn noch Zeit bleibt): Zeichne die Beine von deinen Insekten ab und erstelle mit den Bildern deiner Klasse ein Memory. Dies kann auch digital geschehen!

QR-Code W4.2-1

Link zum NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel
(<https://insektentrainer.nabu.de/insektenbestimmungsschluesel>)



TIPP

Achte auf den natürlichen Lebensraum (Biotop) und die Lebensweise des Insekts!

ANLAGE W 4.3**Material****Arbeiten mit einer Lupe für das Smartphone/Tablet**

	Smartphone	Tablet
1 Bringe die Klammer so auf der Kamera an, dass die Linse zentriert ist		
2 Klicke jetzt die Lupe auf die Klammer; dabei kannst du auch die integrierte Beleuchtung einschalten.		
3 Bringe das Insekt unter die Lupe und stelle das Bild an der Lupe scharf. ACHTUNG Das Insekt dabei nicht quetschen!		
4 Du kannst die Zoom-funktion nutzen. Wenn du den passenden Ausschnitt gefunden hast, drücke auf die interessante Stelle auf dem Bild, damit deine Kamera den Focus und die Belichtung ausrichtet. Erstelle das Foto, indem du den Auslöser betätigst.		
5 Du kannst auch die Rück-kamera verwenden. Dies erleichtert die Arbeit, führt aber eventuell zu Einbußen in der Qualität.		

Abbildungen W4.3-1 bis W 4.3-7

Arbeiten mit einer Lupe auf einem mobilen Endgerät
(Fotos: Florian Bernhard)

W 5 Wir tun was!

Mikrohabitatinseln

Grundlegende Informationen

Nach der sogenannten Krefeld-Studie (HALLMANN et al. 2017) hat die Biomasse der flugfähigen Insekten auch in Naturschutzgebieten in 27 Jahren (1990 bis 2017) um etwa 75 % abgenommen. Diese Studie hat sowohl in der Öffentlichkeit als auch in der Politik hohe Aufmerksamkeit erregt.

Auf politischer Ebene hat dies beispielsweise dazu geführt, dass die Bundesregierung das **Gesetz zum Schutz der Insektenvielfalt in Deutschland** verabschiedet hat, das am 01.03.2022 in Kraft getreten ist. Zudem gibt es vom Bundesamt für Naturschutz im Rahmen des Bundesprogrammes **Biologische Vielfalt** ein Förderprogramm, das Initiativen zum Insektenschutz jährlich mit fünf Millionen Euro unterstützen kann.

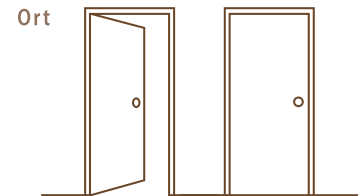
Im Rahmen der dabei geförderten Projekte wurde in zwei Projekten, **BienABest** und **Insektenfreundliches Günztal** die Idee der «Mikrohabitatinseln» entwickelt, erprobt und umgesetzt. Zielsetzung der Mikrohabitatinseln ist es, auf kleinem Raum möglichst viele Habitatstrukturen zu bilden, die Insekten zum Überleben benötigen: **Totholz, Feuchtmulde, Nisthügel, Brache** und **Blumenwiese**. Lediglich die ebenfalls für die Insektenbiomasse nötigen Habitatstrukturen und Ressourcen **Dung** und **Aas** werden aus Akzeptanzgründen im direkten menschlichen Umfeld nicht umgesetzt.

Auch im schulischen Umfeld ist es möglich, Mikrohabitatinseln zu etablieren. Mikrohabitatinseln mit ihren gut skalierbaren Strukturelementen lassen sich angepasst an das jeweilige Schulumfeld gut umsetzen. Dieses Modul ist sehr gut geeignet für eine Durchführung im Rahmen der Wissensschaftswoche, während der Woche der Alltagskompetenzen oder als W- beziehungsweise P-Seminar.

Sollte auf dem Schulgelände bereits aus den Vorjahren schon eine Mikrohabitatinsel vorhanden sein, kann dieses Modul leicht angepasst werden. Im Wiederholungsfall sollten dann die Qualität der Habitatstrukturen und die Konzeption gegebenenfalls notwendiger weitergehender Pflegemaßnahmen in den Fokus der Untersuchung gerückt werden.

Durchführung

Gruppen aus jeweils drei bis vier SuS kartieren dasselbe von der Lehrkraft vorgegebene Untersuchungsgelände. Hierbei ist das Schulgelände als direkte Lernumgebung und primäres Schulumfeld zu priorisieren. Alternativ können auch Gärten der SuS oder öffentliche Grünflächen, zum Beispiel der Stadtpark in Schulumfeld, kartiert werden. Bei der Kartierung werden die



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- **Arbeitsblatt W5.1**
«Insekten brauchen eure Hilfe»
- **Arbeitsblatt W5.2**
Mikrohabitatinseln
- **Arbeitsblatt W5.3**
Informationsquellen

bereits vorhandenen Elemente von Mikrohabitatinseln erfasst und (insbesondere im Wiederholungsfall) die ökologische Qualität der Strukturelemente untersucht.

Jede Gruppe beurteilt dann anhand der Kartierungsergebnisse die Qualität des Schulgeländes als Insektenlebensraum.

In der Folge erarbeiten die SuS Vorschläge für die Optimierung des Schulgeländes als Insektenlebensraum. Sie diskutieren ihre Vorschläge, einigen sich auf die besten Lösungen und dokumentieren diese Vorschläge als Umsetzungsplan.

Idealerweise werden anschließend die Vorschläge dieser Planungen in der Schulgemeinschaft angeregt und dann auch in die Tat umgesetzt.

Aufgaben

Alle Aufgaben für die SuS finden sich auf dem **Arbeitsblatt W5.1**.

Leistungserhebung

Im üblichen schulischen Umfang möglich

ARBEITSBLATT W 5.1

Insekten brauchen Eure Hilfe!

Aufgaben

1. Informiert euch anhand Abbildung W5.1-1 (**Arbeitsblatt W5.2: Mikrohabitatinseln**) und anhand der Videos 1 und 2 (**Arbeitsblatt W5.3: Informationsquellen**). Dort werden die Bedürfnisse von Insekten und die prinzipielle Funktionsweise von Mikrohabitatinseln erklärt. Weiterführende Informationen bieten die Projektseiten 1 und 2, deren Internetadresse ihr auf dem **Arbeitsblatt W5.3: Informationsquellen** findet.
2. Kartiert euer Schulgelände nach bereits vorhandenen Elementen der Mikrohabitatinseln (alternativ euren Garten oder auch eine Parkanlage in Schulinähe). Übertragt eure Kartierungsergebnisse maßstabsgerecht in einen Plan oder ein Luftbild aus dem BayernAtlas (**Arbeitsblatt W5.3: Informationsquellen**).
3. Diskutiert die Qualität des Lebensraumes für Insekten und ordnet den Lebensraum den Kategorien «ungeeignet», «bedingt geeignet», «gut geeignet» oder «sehr gut geeignet» zu. Begründet eure Zuordnung.
4. Erstellt eine konkrete Planung für das Untersuchungsgebiet, damit es die Kategorie «sehr gut geeignet» erreicht. Zeichnet dazu die noch fehlenden Elemente der Mikrohabitatinseln maßstabsgerecht in euren Plan ein. Überlegt euch dabei genau, wie ihr diese Elemente integrieren könnt, damit sie einerseits optimal die Bedürfnisse der Insekten fördern, aber auch die Bedürfnisse der Nutzer des Untersuchungsgebietes berücksichtigen. Beachtet dabei auch bereits vorhandene Sicherheitsaspekte und euch bekannte Vorschriften, wie zum Beispiel Fluchtwege.
5. Sammelt die verschiedenen Ideen der Gruppen. Diskutiert eure verschiedenen Planungen. Erstellt einen gemeinsamen, sauber ausgearbeiteten Plan, der die besten Ideen zusammenfasst. Berücksichtigt dabei alle Elemente einer guten Planung: Maßstabsgerechte Planzeichnung, Maßstabsangabe, Legende, Datum, Autorinnen und Autoren, damit ihr diesen eurer Schulleitung (alternativ den Eltern, der Stadtverwaltung oder dem Bürgermeister) als Grundlage für Verbesserungen vorlegen könnt.
6. **Zusatzaufgabe:** Formuliert ein Begleitschreiben, in dem ihr die Umsetzung eurer Planung anregt und auch eure Bereitschaft zur Hilfe bei der Umsetzung darlegt.
7. **Zusatzaufgabe:** Aus ökologischer Sicht fehlt bei den Mikrohabitatinseln eine wichtige Struktur. Welche? Betrachtet hierzu das Video 3 (**Arbeitsblatt W5.3: Informationsquellen**) und analysiert die Kernaussagen! Begründet, warum dies in der Standardausführung einer Mikrohabitatinsel auf dem Schulgelände nicht so leicht umsetzbar ist, und entwickelt Ideen, wie es dennoch gelingen könnte.

Insekten brauchen eure Hilfe!

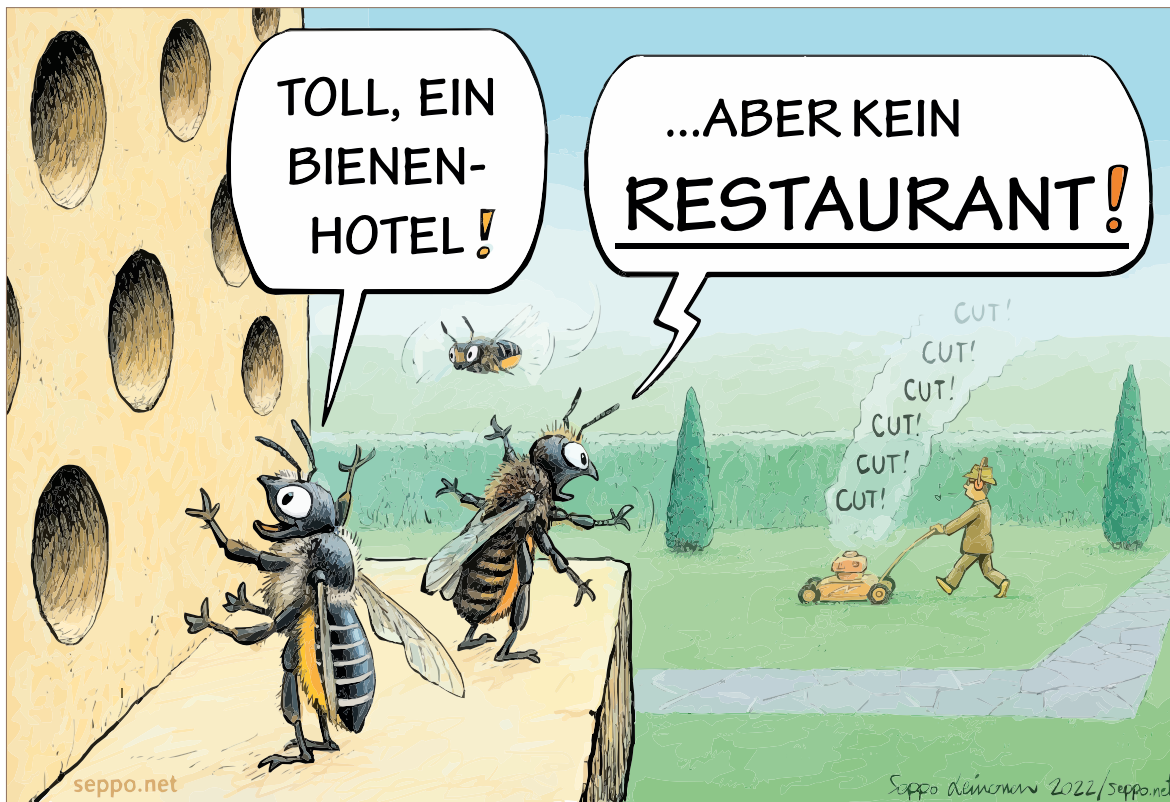


Abbildung W5.1-1

5-Sterne-Bienenhotel – aber ohne Restaurant ...

(Quelle: www.seppo.net/cartoons/displayimage.php?album=topn&cat=0&pid=1601)

Insektenhotels sind ja ganz nett. Aber sie sind wie Hotels, die keinen Wasseranschluss haben, die weder ein Restaurant noch ein Frühstück anbieten, die nur zwei Monate im Jahr geöffnet sind und in denen ausschließlich entweder Frauen oder Männer übernachten dürfen.

Kurzum: Insektenhotels helfen, aber sie lösen bei Weitem nicht das Problem des dramatischen Insektenrückgangs, das der Entomologische Verein in Krefeld im Jahr 2017 erkannt hat:

75 % der flugfähigen Insekten sind in den letzten 27 Jahren einfach verschwunden!

Deutlich hilfreicher, aber auch aufwendiger, sind sogenannte Mikrohabitatinseln, die von Forschern als Hilfsmaßnahme entwickelt wurden.

ANLAGE W 5.2

Mikrohabitatinsel

Zielsetzung der Mikrohabitatinseln ist es, auf kleinem Raum möglichst viele Habitatstrukturen zu bilden, die Insekten zum Überleben benötigen.

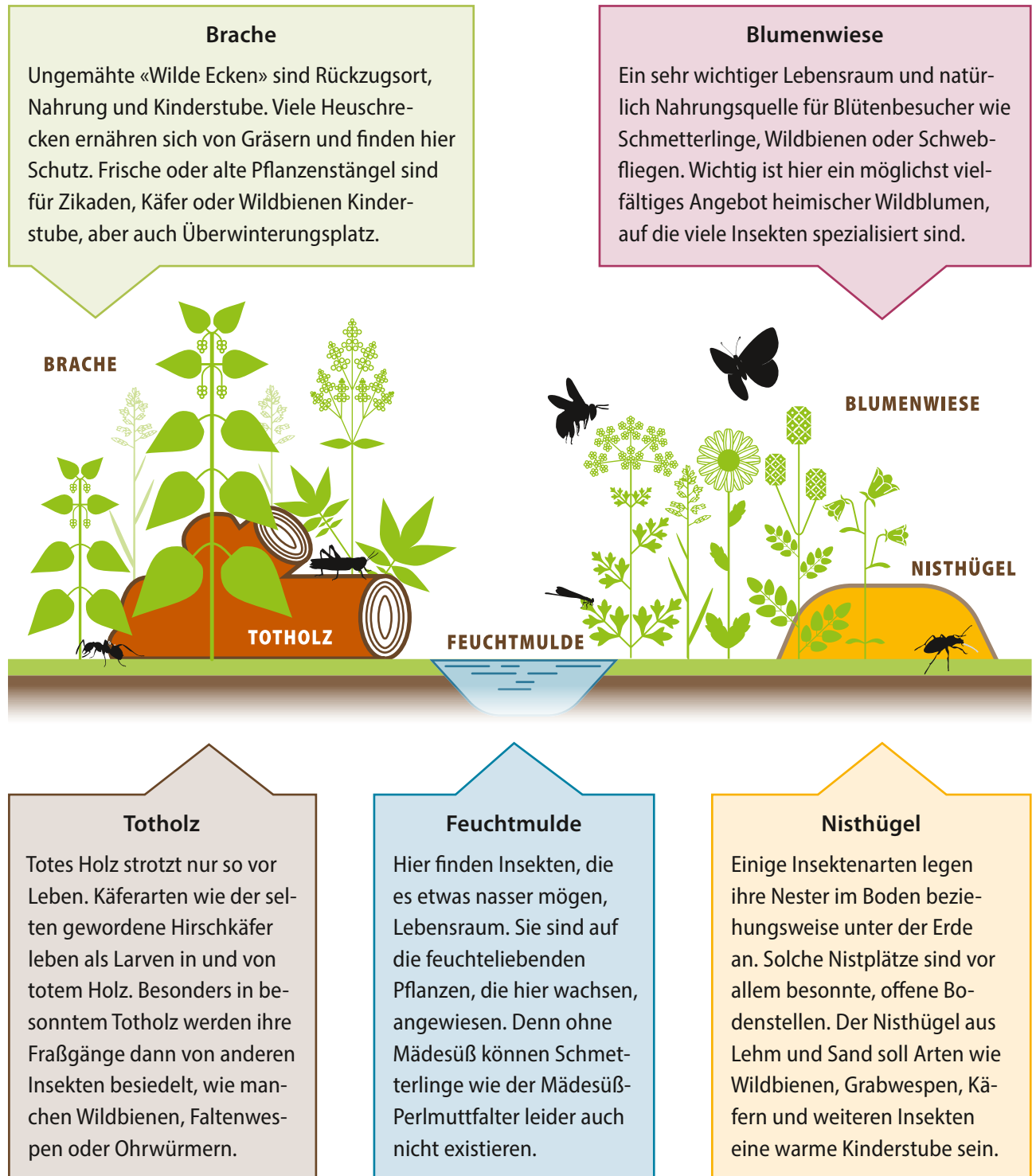


Abbildung W5.2-1

Strukturelemente einer Mikrohabitatinsel (Quelle: Insektenfreundliches Günztal, ein Biodiversitätsprojekt der Stiftung Kulturlandschaft Günztal, gefördert im Bundesprogramm Biologische Vielfalt durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und den Bayerischen Naturschutzfonds)

ARBEITSBLATT W 5.3

Informationsquellen

	QR-CODE	THEMA	LINK
VIDEO 1		Video 1 Insektenfreundliches Günztal: Mikrohabitat	https://youtu.be/6tisGcOEKEU?si=jTsZGrWtc0Fu8YTY
		Video-Download 1	https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/W05-001.mp4
VIDEO 2		Video 2 Insektenfreundliches Günztal: Hausgarten	https://youtu.be/itKcmfoyUvw?si=M8uj1tmfAPs0Zlj3
		Video-Download 2	https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/W05-002.mp4
VIDEO 3		Video 3 Insektenfreundliches Günztal: Beweidung	https://youtu.be/3dE9Z0nkUns?si=onI_ANSENQs2ApGF
		Video-Download 3	https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/W05-003.mp4
PROJEKT 1		Projektseite 1 Insektenfreundliches Günztal	https://insektenfreundliches.guenztal.de/
PROJEKT 2		Projektseite 2 BienABest	https://www.bienabest.de/bienabest
LUFTBILDER		Luftbildquelle BayernAtlas	https://geoportal.bayern.de/bayernatlas

W 6 Insekten auf Blüten

Grundlegende Informationen

Trotz des Insektensterbens können einzeln aus der Vegetation aufragende Blüten beziehungsweise Blütenstände wie der Bärenklau (*Heracleum sphondylium*) wie Magneten auf Insekten wirken. Sie sind also ähnlich wie die Urwaldriesen (Überhälter) im Regenwald. Auf ihnen finden wir eine Vielzahl an Blütenbesuchern aus verschiedenen Insektengruppen.

Käfer (Coleoptera)

Im Gegensatz zur weitläufigen Meinung haben Käfer eine ähnlich große Bedeutung bei der Bestäubung wie Bienen. Gerade kleine Blattkäfer in den Blüten, aber auch die größeren Weich- und Bockkäfer sind besonders oft auf Blütenköpfen zu finden.

Zweiflügler (Diptera)

Besonders doldenartige Blüten mit aasartigem Geruch ziehen zahlreiche Fliegengruppen geradezu magisch an. Die oft bienen- oder wespenähnlichen Schweb- und Waffenziegen, aber auch die weniger spektakulär gefärbten Schmeißfliegen sind die häufigsten Fliegentaxa auf Blütenköpfen.

Hautflügler (Hymenoptera)

Neben der Honigbiene besuchen zahlreiche Wildbienenarten die Blütenköpfe. Auch solitäre und soziale Wespen sind häufig anzutreffen. Bei den Wildbienen werden der Nektar und die Pollen in Form eines Nahrungsballens für die Larven in die linearen Nester von hohlen Pflanzenstängeln oder in den Brutgängen im Boden eingebracht.

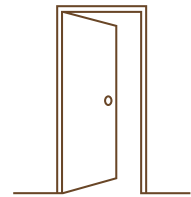
Schmetterlinge (Lepidoptera)

Diese attraktive Artengruppe benutzt als Imago einerseits die Blütenköpfe als willkommene Nektarquelle für einen Snack und andererseits als Ansitz zur Paarung. Meist findet man zwar Tagfalter auf Blüten, aber auch Nachtfalter ruhen in oder auf Blüten und können diese als Nektarquelle nutzen.

Weitere Artengruppen

Auch Spinnen wie die räuberischen Krabbenspinnen lauern dort, wo sich viele Blütenbesucher konzentrieren. Des Weiteren sind natürlich auch andere Insekten wie Blattläuse und Wanzen zu erwarten.

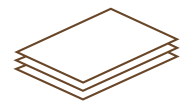
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- **Smartphone**
- **Bestimmungs-App,** wie zum Beispiel «ObsIdentify»



Abbildung W6-1

Der Wiesen-Pippau (*Crepis biennis*) zieht viele Insektenarten an, wie hier den Gemeinen Rosenkäfer (*Cetonia aurata*; Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W6-2

Die offenen Scheibenblüten des Wiesen-Bärenklau (*Heracleum sphondylium*) sind gute Nektarquellen für Insekten mit kurzen Mundwerkzeugen wie hier für Fliegen und Käfer (Foto: Tobias Fröhlich).



Abbildung W6-3

Hummel (*Bombus spec.*) und Admiral (*Vanessa atalanta*) auf der Stängellosen Silberdistel (*Carlina acaulis*; Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W6-4

Widderchen (Zygaenidae) auf der Acker-Witwenblume (*Knautia arvensis*; Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W6-5

Krabbenspinne mit erbeuteter Westlicher Honigbiene (*Apis mellifera*) auf einer Kugeligen Teufelskralle (*Phyteuma orbiculare*; Foto: Martin Eiblmaier)

Durchführung

Die Untersuchung erfolgt in Dreiergruppen oder Vierergruppen. Wichtig ist ein zuverlässiger Protokollant, der nach der ersten Untersuchung wechseln kann. Das Outdoormodul kann vom Frühjahr bis zum Herbst durchgeführt werden. Besonders geeignet sind:

Im Frühjahr

Schlehe, Weide, blühende Obstbäume (hier aber oft überwiegend Honigbienen)

Im Sommer

Holunder, Bärenklau, Wegwarte (blüht nur am Vormittag), Schmetterlingsflieder, Acker-Witwenblume

Im Herbst

Goldrute, Herbstaster, Silberdistel

Leistungserhebung

Die Präsentation der einzelnen Gruppen eignet sich auch zum Feststellen von mündlichen Beitragsnoten.

ARBEITSBLATT W 6.1

Insektenzählung

GRUPPENNAME		UHRZEIT		DATUM	
		Wind (0–4):	Bewölkung (%):	Temperatur (°C):	
PFLANZENART 1:			Geruch der Blüten		
	Käfer	Wespen/Bienen	Zweiflügler	Schmetterlinge	Sonstiges
1. Zählung					
2. Zählung					
PFLANZENART 2:			Geruch der Blüten		
	Käfer	Wespen/Bienen	Zweiflügler	Schmetterlinge	Sonstiges
1. Zählung					
2. Zählung					

Aufgaben

1. Notiert das Wetter bei eurer Beobachtung (Temperatur, Sonne/Bewölkung).
2. Beschreibt den Geruch der Blüten in Stichworten.
3. Ordnet die einzelnen Artengruppen mithilfe der Farbtafeln zu.
4. Zählt die Individuen der einzelnen Insektengruppen auf einer Blütenscheibe. Fertigt dazu innerhalb einer Minute eine Strichliste an. Führt den Versuch zweimal durch.
5. Erstellt ein vollständig beschriftetes Balkendiagramm, mit dem Mittelwert des Auftretens der jeweiligen Artengruppen aus allen Schülergruppen.
6. Stellt eure Bilder zu einer Präsentation zusammen.
7. Sammelt abschließend alle Daten aus euren Klassen und erstellt eine Gesamtdokumentation für diese Untersuchung. Falls an der Schule in anderen Jahren diese Untersuchung bereits gemacht wurde: Vergleicht die Daten über die Jahre. Könnt ihr Trends feststellen? Falls ihr Ausreißer feststellt, könnt ihr diese mit den Wetterdaten in erklären?

ANLAGE W 6.3

Bestimmungstafel

Häufige Insekten auf Doldenblütlern

Häufige Insekten auf Doldenblütlern

Insekten mit **4** durchsichtigen,
oft zusammengeklappten Flügeln
(Hautflügler)



Feldwespe



Wespe



Wildbiene



Schwebfliege
(Hummel-Mimikry)



Schwebfliege
(Wespen-Mimikry)



Fleischfliege



Schmeißfliege

Insekten mit **2**
harten Deckflügeln
(Käfer)



Weichkäfer



Bockkäfer

Insekten mit **4** farbig
beschuppten Flügeln
(Schmetterlinge)



Schmetterling



W 7 Blütenstetigkeit von Insekten

Grundlegende Informationen

Dieses Modul dient dazu, das Sammelverhalten von Insekten – insbesondere von Hummeln und anderen Hautflüglern – auf einer Blumenwiese zu untersuchen.

Verschiedene Insektenarten unterscheiden sich in ihrem Sammelverhalten, vor allem in Bezug auf die Blütenstetigkeit. Bereits seit der Antike ist bekannt, dass Honigbienen bei der Nahrungssuche über einen bestimmten Zeitraum bevorzugt die Blüten einer einzigen Pflanzenart besuchen.

Die Blütenstetigkeit von Insekten hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- Nektargehalt der Blüten
- Zuckerkonzentration des Nektars
- Entfernung zwischen den einzelnen Blüten

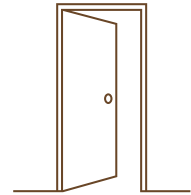
Heutzutage wird die Blütenstetigkeit häufig mit künstlichen Blumen oder Blumenattrappen (zum Beispiel farbigen Reagenzgläsern) untersucht, um möglichst überprüfbare und standardisierte Versuchsbedingungen zu gewährleisten. Dies könnte im Rahmen einer W-Seminar-Arbeit nachvollzogen werden; in diesem Modul wird eine Herangehensweise gewählt, bei der mehrere Lernende eingebunden sind.

Falls an der Schule keine geeigneten Flächen zur Beobachtung von verschiedenen Insektenarten vorhanden sind, bieten untenstehende Internetquellen hilfreiches Material zur Untersuchung der Blütenstetigkeit von Honigbienen.

Diese Materialien eignen sich auch für die Untersuchung von Blumenrabatten, Obstbäumen oder Sträuchern, die von Honigbienen häufig besucht werden.

QR-CODE	THEMA	LINK
	Experimentelle Bienenkunde Schulbiologiezentrum	www.schulbiologiezentrum.info/Bienen/Experimentelle%2BBienenkunde-komprimiert.pdf
	Bienen und Ökologie Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau	www.lwg.bayern.de/mam/cms06/bienen/dateien/bienen_und_oekologie.pdf

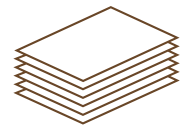
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- **Arbeitsblatt W7.1**
- **Anlage W7.2**
Beobachtungsprotokolle
- **Anlage W7.3**
Auswertungstabelle
- **Smartphone, Tablet oder Digitalkamera**
- **Bestimmungsschlüssel**
(siehe QR-Codes)
- **Bestimmungssoftware**
(Flora Incognita oder ObsIdentify)
- **Wassermalfarben + Pinsel**
- **Übersichtsplan** des Untersuchungsgebiets
- Eventuell **Karte/Luftbild**

Bestimmungsschlüssel und Kartenmaterial

QR-CODE	THEMA	LINK
	Einfacher Bestimmungsschlüssel für Hummeln	www.wildbienen.de/hua-best.htm
	Ausführlicher Bestimmungsschlüssel für Hummeln	www.zobodat.at/pdf/LBB_0047_1_0005-0042.pdf
	Bestimmungsschlüssel/ Bildtafeln für Pflanzen (Handreichung Grünland entdecken für die 5. Jahrgangsstufe)	https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/05/Gruenland_entdecken_mit_Anlagen-WEB.pdf
	Allgemeiner Insektenbestimmungsschlüssel (bis zur Ordnung)	https://insektentrainer.nabu.de/insektenbestimmungsschlüssel/
	BayernAtlas: Übersichtskarten	https://atlas.bayern.de

Darüber hinaus können Laboruntersuchungen mit Pollenproben vom Imker durchgeführt werden, um Rückschlüsse auf die Blütenstetigkeit der untersuchten Insekten zu ziehen. Diese Unterrichtsvorschläge, die in den oben genannten Quellen enthalten sind, eignen sich teilweise auch zur Untersuchung verschiedener Insektengruppen.

Im zweiten Teil des Moduls sollen die SuS die gesammelten Daten auswerten, indem sie Muster und Zusammenhänge erkennen, darstellen und erklären.

Durchführung

Auswahl des Untersuchungsbiotops

Durch eine Vorexkursion soll ein Biotop identifiziert werden, das möglichst viele Pflanzen- und Insektenarten beherbergt. Dazu eignen sich gegebenenfalls nicht gemähte Bereiche auf dem Schulgelände, Parkanlagen oder Ruderalflächen. Große Blütenstände, wie beispielsweise Sonnenblumen, sind jedoch unter Umständen hinderlich, da Insekten über längere Zeit (bis zu 10 Minuten) an ihnen Nektar sammeln, wodurch praktisch keine anderen Pflanzen im Untersuchungszeitraum besucht werden.

Zeitlicher Rahmen

Der zeitliche Rahmen ist für die Durchführung dieses Moduls entscheidend. Die Aufgaben bis einschließlich des Ausfüllens der Tabelle müssen in der Unterrichtszeit abgeschlossen werden. Die Verarbeitung und Auswertung der Daten kann jedoch als Hausaufgabe erfolgen.

Bei einer Doppelstunde können die SuS beide Methoden nacheinander testen. In Einzelstunden bearbeitet jede Gruppe nur eine Methode und der Vergleich der Ergebnisse erfolgt über eine gemeinsame Tabelle. Es wird empfohlen, Doppelstunden einzuplanen, da so ein direkter Vergleich der Methoden möglich ist.

Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler

Vor Beginn der Untersuchung lernen die SuS die verwendeten Methoden kennen. Dies geschieht am besten direkt im Untersuchungsbiotop und wird von der Lehrkraft vorgeführt.

Hinweise zur Sicherheit und Auswahl der Insekten

Hummeln eignen sich besonders für die Untersuchung, da sie langsam fliegen. Es sollten jedoch auch andere Insektenarten betrachtet werden. Die Lehrkraft weist die SuS ausdrücklich auf das Abwehrverhalten von Insekten hin: Arbeiterinnen von Bienen, Hummeln und Wespen können stechen. Ein Stich erfolgt vor allem dann, wenn die Tiere mechanisch gedrückt werden oder sich in Haaren verfangen. Das Abwehrverhalten ist vor allem in der Nähe des Nests ausgeprägt und ist beim Blütenbesuch nicht zu erwarten.

Messung der Verweildauer auf Blüten

Die Verweildauer der Insekten auf Blüten kann bei raschem Blütenwechsel am besten durch einfaches Zählen (21–22–23–24–25; erfolgt im ungefähren Sekunden-takt) erfasst werden. Dies übernimmt die beobachtende Person.

METHODE 1: Dokumentation der Flugroute

Die Schülerinnen und Schüler arbeiten in Dreiergruppen:

1. Fotografieren oder Skizzieren des Untersuchungsbereichs:

Der zu untersuchende Abschnitt wird zunächst durch ein Bild dokumentiert, sodass die Blüten in der Untersuchungsfläche erkennbar sind. Die Flugroute der Insekten wird später in das Bild eingetragen.

2. Aufgabenverteilungen und Durchführung in der Gruppe:

• Beobachtung:

Eine Person verfolgt das ausgewählte Insekt und schätzt (Zählweise: 21–22–23–24–25) die jeweilige Verweildauer auf den Blüten ab.

• Dokumentation:

Eine Person bedient das Smartphone oder die Kamera. Zunächst fotografiert sie das zu untersuchende Insekt und anschließend jede Blüte, die von dem Insekt besucht wurde. Für die Bestimmung der Pflanze ist es von Vorteil, wenn das Insekt nicht mehr auf der Pflanze sitzt.

- **Protokollierung:**

Die dritte Person unterstützt bei Bedarf und führt das Protokoll:
Beobachtungsprotokoll (**Anlage W7-2**; Download: **Excel-Datei**),
Markieren der Wuchsorte der besuchten Blüten auf dem Übersichtsbild.

Die Beobachtung sollte mindestens 5 Minuten dauern. Kann das Insekt nicht weiterverfolgt werden, wird ein neues ausgewählt.

3. Bestimmung der Arten:

Nach der Beobachtungsphase werden das Insekt und die besuchten Blüten mithilfe von Bestimmungsliteratur oder digitalen Hilfsmitteln identifiziert. Die Arten müssen vor allem bei digitalen Hilfsmitteln abgesichert werden (zum Beispiel mit den Wikipedia-Einträgen zu den Arten).

4. Zusammenführung der Daten:

Alle Gruppen sammeln ihre Ergebnisse in einem gemeinsamen Dokument: Auswertungstabelle (**Anlage W7-3**; Download: **Excel-Datei**)

METHODE 2:

Markierung der Insekten

Das Vorgehen bei dieser Methode ähnelt Methode 1, unterscheidet sich jedoch in einem wichtigen Punkt:

- Die Gruppe verwendet Wasserfarbe und einen Pinsel, um ein Insekt während des ersten Blütenbesuchs zu markieren. Dabei wird ein kleiner Punkt auf der Oberseite des Thorax (nicht die Flügel!) gemalt. Je dichter die Farbe angemischt ist, desto besser ist das Insekt zu verfolgen.

Auch hier werden das Insekt, die besuchten Blüten, die Verweilzeiten und die Sammelroute wie bei Methode 1 dokumentiert.

Es ist zu erwarten, dass die Insekten nach der Berührung mit dem Pinsel ein Fluchtverhalten zeigen. Die Blütenstetigkeit ist daher direkt nach der Markierung sehr wahrscheinlich nicht nachweisbar.

Mit Hilfe dieser zweiten Untersuchungsmethode wird die Kompetenzerwartung «interpretieren erhobene oder recherchierte Daten und schätzen deren Gültigkeit ein. Sie benennen mögliche Fehlerquellen und leiten Maßnahmen zur Fehlervermeidung ab» eingeübt.

Die Lernenden sehen also im direkten Vergleich der beiden Methoden, welche Fehler beim Untersuchungsdesign gemacht werden können und wie der Eingriff der untersuchenden Person Ergebnisse grundlegend ändern können.

Falls der Biologieunterricht in Doppelstunden stattfindet, sollten die Gruppen beide Methoden durchführen. Dies verdeutlicht den SuS besonders anschaulich, wie das Verhalten der Beobachterinnen und Beobachter die Untersuchungsergebnisse beeinflussen kann.

Aufgaben

Siehe **Anlage W7-1**

Leistungserhebung

Die Ergebnisse können in Form eines Protokolls oder Portfolios abgegeben werden und als Grundlage für eine Leistungserhebung dienen.

ARBEITSBLATT W 7.1

Untersuchung zur Blütenstetigkeit von Insekten

1. Bildet jeweils zu dritt eine Gruppe und gebt eurer Gruppe einen kurzen Namen.
2. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, die Blütenstetigkeit von verschiedenen Insektenarten zu untersuchen. Unter Blütenstetigkeit versteht man, dass Insekten bei ihren Sammelflügen bevorzugt die Blüten derselben Pflanzenart besuchen, selbst wenn Blüten anderer Arten zur Verfügung stehen.
3. Zudem soll an dieser Untersuchung verdeutlicht werden, dass die Versuchsdurchführung einen Einfluss auf die Beobachtungen hat. Dieser Aspekt muss bei der Planung naturwissenschaftlicher Untersuchungen stets berücksichtigt werden.
4. Führt die Untersuchungen möglichst nach beiden Methoden durch. Falls ihr nicht genug Zeit habt, sprecht euch mit der Lehrkraft ab, welche Gruppe nach welcher Methode arbeiten soll.

METHODE 1

Verteilt in eurer Gruppe folgende Aufgaben:

- **Beobachtung:** Verfolge das Insekt bei seinem Sammelflug.
Schätze oder messe dabei die Zeit, die das Insekt auf der jeweiligen Blüte verweilt und teile die Zeit sofort dem Protokollführer mit, der das Beobachtungsprotokoll führt.
(Nutze dazu eine Stoppuhr oder schätze die Zeit: Zähle dazu langsam «21–22–23–24–25», dabei dauert jede Zahl etwa eine Sekunde. Übe das vorher einmal mit dem Sekundenzeiger)
Falls du das Insekt verlierst, suchst du ein neues Beobachtungsobjekt und informierst die Gruppe darüber.
 - **Dokumentation von Insekten und Pflanzen:** Du fertigst zunächst Bilder vom beobachteten Insekt an. Anschließend folgst du dem Beobachter und fotografierst alle Blüten, die das Insekt besucht hat. Vertreibe das Insekt nicht, sondern warte ab, bis es zur nächsten Blüte fliegt. Es ist auch für die Pflanzenbestimmung von Vorteil, wenn das Insekt sich nicht mehr auf der Blüte befindet!
 - **Dokumentation der Untersuchung:** Vor der Untersuchung fotografierst du die gesamte Untersuchungsfläche (Tablet oder Smartphone), sodass die einzelnen Blütenstandorte erkennbar sind. Bei der Untersuchung markierst du auf dem Foto die einzelnen besuchten Blüten und zeichnest die Flugroute des Insekts ein.
(Tipp: Verwende unterschiedliche Farben für unterschiedliche Insekten!)
Außerdem trägst du die von der beobachteten Person ermittelten Zeiten für die Blütenbesuche in das Beobachtungsprotokoll (**Anlage W7.2**) ein.
5. Führt eure Beobachtungen bei jedem Insekt mehrere Minuten lang durch (maximal fünf Minuten).
 6. Untersucht mehrere verschiedene Insekten hintereinander.
 7. Bestimmt nach den Beobachtungen anhand der Bilder euer Insekt sowie die Blüten, an denen es Nektar gesammelt hat, mithilfe der von der Lehrkraft bereitgestellten Bestimmungshilfen. Sichert eure Bestimmung zusätzlich mithilfe von Online-Ressourcen ab.
 8. Abschließend tragt ihr eure Messwerte in die gemeinsame Auswertungstabelle (**Anlage W7.3**) ein und berechnet die dort geforderten Zahlen.

METHODE 2

Die Durchführung ist identisch zur Methode 1, jedoch wird bei dieser Methode das Insekt von einer Person mit einem Punkt Wasserfarbe markiert (zum Beispiel auf dem Rücken zwischen den Flügeln). Anschließend verfolgt ihr das markierte Insekt wie in Methode 1. Notiert eure Beobachtungen wie bei Methode 1, nur bei der Methode tragt ihr «Methode 2» ein.

Auswertung

Für die Auswertung benötigt ihr eure Bilder und die Auswertungstabelle (**Anlage W7.3**), in die ihr eure Daten eingetragen habt. Wenn die Daten in einem digitalen Dokument vorliegen, könnt ihr diese nach einzelnen Spalten sortieren und Diagramme erstellen. Das erleichtert die Übersicht und unterstützt euch bei der Analyse.

Flugrouten

- Vergleicht eure Karten mit den eingetragenen Flugrouten: Könnt ihr Ähnlichkeiten oder Muster erkennen? (Beispiel: Weglänge zwischen zwei Blütenbesuchen – gibt es einen direkten Weg oder zeigt das Insekt Suchverhalten zwischen zwei Blütenbesuchen?)

Für jedes Insekt, das ihr beobachtet habt

- Ermittelt die Anzahl aller besuchten Blüten, die das jeweilige Insekt besucht hat.
- Ermittelt die mittlere Zeitspanne des Blütenbesuchs (insgesamt und für jede Pflanzenart).
- Ermittelt die Anzahl der unterschiedlichen Blüten, die das Insekt besucht hat.
- Bestimmt die Pflanzenarten, die das Insekt besucht hat.

Insektenvergleich

- Vergleicht identische Insektenarten, die von verschiedenen Gruppen beobachtet wurden: Fallen euch Trends oder Besonderheiten auf?
- Vergleicht das Sammelverhalten verschiedener Insektenarten miteinander.
- Erstellt eine Artenliste der beobachteten Insekten.
- Findet die Insektenart, die die meisten beziehungsweise die wenigsten unterschiedlichen Blüten besucht hat.
- Entwickelt Hypothesen zu den Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Sammelstrategien. Nutzt hierfür die Evolutionstheorie.

Methodenvergleich

- Vergleicht die beiden von euch verwendeten Methoden und analysiert die Unterschiede.
- Vergleicht eure Ergebnisse mit den Ergebnissen der anderen Gruppen.
- Erläutert anhand der Ergebnisse die Aussagekraft der unterschiedlichen Methoden. Diskutiert auftretende Unterschiede und sucht die Gründe für die unterschiedlichen Ergebnisse.
- Erläutert die idealen Eigenschaften, die eine untersuchende Person anstreben sollte, die eine Untersuchung beziehungsweise ein Experiment durchführt.

ANLAGE W 7.2
Beobachtungsprotokoll

NAME			KLASSE			DATUM			
ANGABEN ZUM BEOBACHTETEN INSEKT									
Nr.	Insektenart					Methode			
ANGABEN ZU DEN BESUCHTEN BLÜTEN									
Nr.	Besuchte Pflanzenart		Zeit pro Blüte in Sekunden		Nr.	Besuchte Pflanzenart		Zeit pro Blüte in Sekunden	
1					18				
2					19				
3					20				
4					21				
5					22				
6					23				
7					24				
8					25				
9					26				
10					27				
11					28				
12					29				
13					30				
14					31				
15					32				
16					33				
17					34				

ANLAGE W 7.3

Auswertungstabelle

[illegible]

W 8 Experimente mit Regenwürmern

Lumbricidae als Hauptdarsteller

Grundlegende Informationen

Regenwürmer spielen eine Hauptrolle bei der Bildung und Erhaltung fruchtbaren Bodens. Schon Aristoteles (384–322 v. Chr.) sah in ihnen die «Eingeweide des Bodens», Cleopatra (69–30 v. Chr.) verbot die Ausfuhr von Regenwürmern und Charles Darwin (1809–1882) setzte ihnen in seinem Werk «Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Würmer» (DARWIN 1881) ein Denkmal.

An das Leben im Boden sind diese Tiere in vielfältiger Weise angepasst: Neben der Körperform und der Art der Fortbewegung gilt dies in besonderer Weise auch für die Sinnesorgane. Regenwürmer besitzen keine Augen, Ohren oder Nasen. Sie verfügen jedoch über Licht-, Tast-, Gravitations- und Druck-Sinneszellen sowie chemische Sinneszellen, die für ihr Leben im Boden von großer Bedeutung sind.

Die SuS entwickeln Experimente zu vorgegebenen Forschungsfragen rund um die Sinnesleistungen von Regenwürmern und beantworten so gemäß dem klassischen naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg die Fragen. Sie dokumentieren ihr Vorgehen mit kleinen Videos.

Rechtliche Hinweise und Umgang mit Regenwürmern

(aus: Tiere live, ANL und ALP 2009)

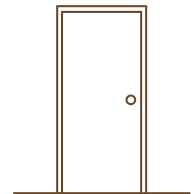
Für Unterrichtszwecke dürfen Regenwürmer naturschutzrechtlich bei tiergerechter Behandlung ganzjährig verwendet werden.

Die Hinweise zum vorsichtigen Umgang und artgerechter Haltung sollten auch bei Regenwürmern strikt beachtet und mit den SuS vor den Aktionen besprochen werden.

Der sorgsame und verantwortungsvolle Umgang sollte gezielt durch verschiedene Maßnahmen bewusst gemacht werden:

- Ein augenfälliges Schild mit der Aufschrift «Achtung lebende Tiere» erinnert am Beobachtungskasten bei jeder Aktion eindringlich an entsprechendes Verhalten.
- Gemeinsam mit den Schülern werden wichtige Regeln im Umgang mit den Regenwürmern erstellt:
 - › Ich hole meinen Regenwurm nur dann aus der Erde, wenn es wirklich notwendig ist!
 - › Ich achte darauf, dass meine Finger immer feucht sind, wenn ich den Regenwurm anfasse (Regenwürmer haben eine feuchte Haut)!
 - › Ich gehe vorsichtig mit meinem Regenwurm um und passe auf, dass ich ihn nicht verletze!
 - › Nach einem Versuch setze ich meinen Regenwurm sofort wieder in die Erde zurück!

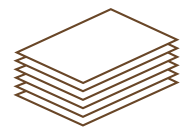
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- Arbeitsblatt W8.1

HINWEIS FÜR DIE LEHRKRAFT

Reagiert ein Regenwurm gar nicht, ist dies ein Hinweis auf einen ernsthaften Schaden. Diese Würmer sollten nicht weiter für Versuche verwendet werden. Um die ersten Ekelgefühle abzubauen, können mittelgroße Exemplare vor den Versuchen mit feuchtem Zellstofftuch beziehungsweise Wattestäbchen gereinigt und dann in einer mit einem leicht feuchten Tuch ausgelegten Petrischale gezeigt werden. Dies ist vor allem für Kinder, die bisher noch nicht mit einem Regenwurm in Berührung kamen, eine Hilfe.

Die Primärerfahrungen sollten ohne Zwang ablaufen. Durch Partnerarbeit kann gewährleistet werden, dass zumindest jeweils ein Kind das Tier selbst berührt, später in die Hand nimmt und über seine Erfahrung berichtet. Normalerweise stellt sich so nach ersten ablehnenden Reaktionen bald eine neugierige und konzentrierte Arbeitshaltung ein.

Aus hygienischen Gründen sollten nach einer Aktion mit Regenwürmern die Hände gewaschen werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass Würmer nicht als Mutprobe von den Schülern gegessen werden. Regenwürmer können Zwischenwirte vieler Parasiten wie etwa Nematoden sein.

Große Regenwurmart, insbesondere der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*), sind wegen der gut sichtbaren Merkmale für den Unterricht am besten geeignet. Um die Unterschiede verschiedener Lebensräume zu zeigen, eignen sich als Kontrast auch die Kompostwürmer (*Eisenia foetida*, *E. andrei*).

Durchführung

In diesem Modul können SuS die Sinnesleistungen von Regenwürmern mit recherchierten beziehungsweise eigenständig entwickelten Experimenten untersuchen, um damit eine vorgegebene Forschungsfrage zu beantworten. Dabei wird in Einzelarbeit im ersten Schritt (**Arbeitsblatt W8.1**, Aufgabe 1) eine detaillierte Versuchsdurchführung zur ausgewählten Forschungsfrage entwickelt und der Lehrkraft vorgelegt. Im zweiten Schritt (Aufgabe 2) wird in Dreier- oder Vierergruppen ein Versuch durchgeführt und gefilmt. Im dritten Schritt (Aufgabe 3) erstellt die Gruppe einen kleinen Videofilm, bei dem die Forschungsfrage, der Versuch und sein Ergebnis sowie die Bedeutung des Ergebnisses für die Tiere dargestellt werden.

Es ist auch möglich, dass alle Schülerinnen und Schüler nur die Aufgabe 1 im Unterricht durchführen und manche SuS freiwillig die Aufgaben 2 und 3 zu Hause bearbeiten.

Bei der Verwendung von Salzwasser sollte mit niedrigen Konzentrationen gearbeitet werden, um die Tiere nicht zu gefährden.

Aufgaben

Siehe Arbeitsblatt W8.1

Leistungserhebung

Die in Einzelarbeit erstellte Versuchsdurchführung (Aufgabe 1) sowie das produzierte Video (unter Berücksichtigung der individuellen Beiträge Einzelner am Gruppenergebnis) können zur Leistungserhebung herangezogen werden. Sinnvollerweise sollte dies vorab der Klasse mitgeteilt werden.

ARBEITSBLATT W 8.1

Lumbricidae als Hauptdarsteller

Auch bei genauer Betrachtung kann man bei Regenwürmern keine Augen, Nasen oder Ohren entdecken. Welche Reize können diese Tiere aus ihrer Umgebung wahrnehmen?

Forschungsfragen

- a) Sind Regenwürmer blind?
- b) Können Regenwürmer riechen?
- c) Reagieren Regenwürmer auf Salzwasser, zum Beispiel neben Straßen, auf denen im Winter Salz gestreut wird?

Aufgaben

1. Wähle eine der Fragen a), b) oder c) aus und überlege dir ein Experiment, mit dem du die gewählte Frage beantworten kannst.
Beschreibe die Durchführung des Experiments in ganzen Sätzen, gerne auch mit einer zusätzlichen Skizze.

Wichtig:

Beachte dabei die besprochenen Regeln zum Umgang mit den Tieren, damit die Würmer beim Experimentieren keinen Schaden nehmen.

Hilfe:

Falls du keine eigene Idee für das Experiment hast, suche einen geeigneten Versuch im Internet. Gib in diesem Fall die Quelle an, die du verwendest.

Zeige deiner Lehrkraft deine Beschreibung und hole dir die Erlaubnis, um das geplante Experiment tatsächlich durchzuführen.

2. Führt in einer Kleingruppe (3–4 Personen) einen Versuch durch und filmt die Durchführung und alles, was ihr dabei beobachten könnt.

Tipp:

Es kann hilfreich sein, mit zwei Handys oder Tablets von verschiedenen Seiten Aufnahmen zu machen.

3. Erstellt aus den Aufnahmen ein kleines Video, das Folgendes enthält:
 - Forschungsfrage
 - Beschreibung und Bilder von der Durchführung des Versuchs
 - Beobachtungen
 - Beantwortung der Frage
 - Bedeutung des Ergebnisses für die Lebensweise des Regenwurms
 - Hinweise: Wie habt ihr sichergestellt, dass der Wurm keinen Schaden nimmt?

W 9 Evolution live

Bänderschnecken im Freiland

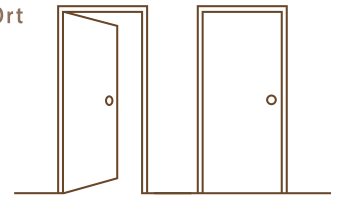
Grundlegende Informationen

Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis*) ist eine weit verbreitete Gehäuseschnecke, deren Individuen sehr unterschiedlich gefärbt sein können (Polymorphismus). Dabei unterscheidet man hellgelbe von dunkelbräunlichen Farbmorphen, die über etliche Zwischenstufen der Bänderung miteinander verbunden sind.

Diese unterschiedlichen Muster gehen auf unterschiedliche Selektionsprozesse zurück. Einerseits spielt die Gehäusefärbung eine wichtige Rolle für die Tarnung der Tiere in ihrem Lebensraum. Besser getarnte Individuen haben mehr Nachkommen als weniger gut getarnte, die von ihren Fressfeinden (zum Beispiel Drossel-Arten) häufiger erbeutet werden. Dunkle Farbvarianten sollten daher in schattigen Bereichen, helle in sonnigen häufiger sein. Gleichzeitig spielt die Färbung auch bei der Temperaturregulation der thermokonformen Tiere eine Rolle. Hell gefärbte Arten heizen sich weniger schnell auf als dunkel gefärbte. Dabei können diese Selektionsfaktoren je nach Lebensraum sowohl in die gleiche als auch in entgegengesetzte Richtungen wirken.

Die Färbung beruht auf unterschiedlichen Genen. Die Allele für die Grundfarbe Braun, Rosa oder Gelb werden in einem komplizierten, kodominanten Erbgang weitergegeben. Die Bänderung an sich wird dominant-rezessiv vererbt, wobei das Allel «einfarbig» dominant ist. Die Anzahl der Bänder wird

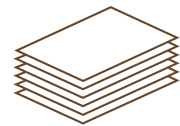
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und
Anforderungsniveau

Fachwissen			
Erkenntnisgewinn			
Kommunikation			
Bewertung			

MATERIAL

- Arbeitsblatt W9.1
- Tabellenkalkulationsprogramm



Abbildung W9-1
Schwarzmündige Hain-
Bänderschnecke (*Cepaea*
nemoralis, Foto: AlGreer/UFZ)

Abbildung W9-2
Vielfalt der Bänderung
und Farben der Schwarz-
mündigen Hain-Bänder-
schnecke (*Cepaea nemoralis*,
Foto: Christian Anton)



durch mehrere weitere Gene bestimmt. Somit ist eine Vielzahl von Phänotypen denkbar, die für Laien nur schwierig zu unterscheiden sind. Für ein europaweites Citizen Science-Projekt (SILVERTOWN 2011) wurden deshalb drei Phänotypen (mit zahlreichen unterschiedlichen Genotypen) herausgegriffen, die sich leicht unterscheiden lassen:

- Hellgelbe Schnecken ohne Bänderung
- Gebänderte Schnecken
- Dunkelbraune Schnecken ohne Bänderung

In einem groß angelegten Citizen Science-Projekt trugen Bürgerinnen und Bürger aus 15 europäischen Ländern Funddaten der Schnecken zusammen. Dabei entstand ein Datensatz von über 500.000 Schnecken, deren Vorkommen mit historischen Daten verglichen wurde. Dabei zeigte sich, dass die bereits messbare Erwärmung des Klimas hellere Individuen nur in solchen Ökosystemen förderte, in denen sie nicht in den kühleren Schatten ausweichen konnten.

Über die rein fachsystematischen Zusammenhänge hinaus lassen sich an diesem Beispiel die Vor- und Nachteile einer solchen Bürgerbeteiligung an wissenschaftlichen Untersuchungen sehr gut mit SuS diskutieren. Dieses Nachdenken über wissenschaftliche Methoden fördert den Kompetenzbereich «Erkenntnisgewinnung».

Durchführung

Diese Unterrichtseinheit greift im Klassenzimmer für den zu absolvierenden Teil die Forschungsergebnisse eines Citizen Science-Projekts auf. Im zweiten Teil suchen die Lernenden selbst nach den Schnecken.

Als motivierender Einstieg kann noch einmal Grundlegendes aus dem Lernbereich 4 «Evolution» wiederholt werden. Dabei sollten die Lernenden erfahren, dass Evolution kein Ereignis der Vergangenheit ist, das vor Millionen Jahren statt-

fand, sondern ein Prozess ist, der auch in der Gegenwart wirkt. Dies lässt sich am Beispiel der Schwarzmündigen Hain-Bänderschnecke beobachten.

Nach dieser Hinführung zum Thema bearbeiten die Lernenden in Einzelarbeit **Anlage W9.1** und analysieren das methodische Vorgehen und die Ergebnisse eines groß angelegten Citizen Science-Projektes. Dabei werden Kompetenzen aus den Bereichen «Erkenntnisgewinnung» und «Kommunikation» erprobt und eingeübt. Auf einfachem Niveau werden die Lernenden in diesem Modul auch an die Bedeutung von statistischen Auswerteverfahren für die Aussagekraft von Daten herangeführt.

Im sich daran anschließenden Freilandteil sind die Lernenden gefordert, eigene Beobachtungen zu machen, zu dokumentieren und letztlich auszuwerten. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist das sichere Identifizieren der Schwarzmündigen Hain-Bänderschnecke. Hierfür erstellen die Lernenden einen klassischen Steckbrief mit einem Fokus auf die morphologischen Merkmale, an denen sie die Art im Freiland erkennen können.

Die Freilandarbeit kann entweder gemeinsam im Rahmen einer Biologie-Stunde auf dem Schulgelände erfolgen oder aber als längerfristige Projektarbeit durchgeführt werden, bei der in kleinen Arbeitsgruppen an verschiedenen Standorten auch im weiteren Schulumfeld die Schnecken gezählt werden. Diese «schülerwissenschaftlich» erhobenen Daten könnten analog zu der großen Citizen Science-Aktion in einer «Jugend forscht»-Arbeit für eine kleine, besonders interessierte Arbeitsgruppe einfließen.

Aufgaben

Arbeitsaufträge siehe **Anlagen W9.1** und **W9.2**

ARBEITSBLATT W 9.1

Evolution live: Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke



Abbildung W9.1-1

Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis*) ist in unseren heimischen Ökosystemen weit verbreitet. Sie kommt von sonnigen Dünen über offenes Grünland, Gärten und Parks bis in Hecken und dunklen Wälder vor.

Ihr Gehäuse kann gelb, rosa oder dunkelbraun gefärbt sein. Zudem überziehen entweder keine, wenige (1–4) oder viele (mehr als vier) auffällige Bänder die Schneckenhäuser dieser Art.

Bürgerinnen und Bürger suchten über eine halbe Million Schnecken. Diese Informationen wurden mit historischen Daten verglichen, um folgende Hypothesen zu überprüfen:

- a) Durch die Klimaerwärmung nimmt die Zahl der hellen Schnecken zu, da sie sich nicht so stark im Sonnenlicht erwärmen.
- b) Eine effektive Tarnung schützt vor Fressfeinden. Deswegen sollten ungestreift-gelbe Schnecken in hellen Dünen, gestreifte Individuen im Grünland und dunkle Exemplare in Wäldern häufiger sein.

Die Auswertung der Daten führte zu den in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnissen.

Dabei klären statistische Verfahren, ob die Unterschiede zufällig oder signifikant sind.

WÄLDER	FRÜHER	HEUTE	STATISTIK
Einfarbig gelb	40 %	41 %	Kein signifikanter Unterschied
Gebändert	36 %	34 %	Kein signifikanter Unterschied
Einfarbig dunkel	24 %	25 %	Kein signifikanter Unterschied
HECKEN	FRÜHER	HEUTE	
Einfarbig gelb	58 %	53 %	Kein signifikanter Unterschied
Gebändert	22 %	25 %	Signifikanter Unterschied
Einfarbig dunkel	20 %	22 %	Signifikanter Unterschied
GRÜNLAND	FRÜHER	HEUTE	
Einfarbig gelb	52 %	51 %	Kein signifikanter Unterschied
Gebändert	30 %	32 %	Kein signifikanter Unterschied
Einfarbig dunkel	18 %	17 %	Kein signifikanter Unterschied

Tabelle W9.1-2
Anteil der Schnecken mit Angabe der Signifikanz der Unterschiede (vereinfacht nach SILVERTOWN et al. 2011)

1. Analysiere die Daten im Hinblick darauf, ob sie die Hypothesen bestätigen oder widerlegen.
2. Erstelle für die drei Farbtypen je ein Diagramm, dass ihre aktuelle Häufigkeit in den jeweiligen Lebensräumen zeigt.
3. Erkläre aus Sicht der erweiterten Evolutionstheorie die aktuelle Häufigkeit der unterschiedlich gefärbten Schnecken in Dünen.
4. Überlege, welche Vor- und Nachteile die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern bei der Erhebung von Daten für die Wissenschaft hat.

LÖSUNGSVORSCHLAG W 9.2

Evolution live: Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke

1. Hypothese a) trifft in Wäldern und im Grünland nicht zu, da sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den historischen und den aktuellen Vorkommen beobachten lassen. In Hecken nimmt der Anteil an gebänderten und dunklen Schnecken, in Dünen jener der einfarbig hellen und gebänderten signifikant zu, ob diese Unterschiede allerdings auf klimatische oder andere Effekten zurückzuführen sind, lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht entscheiden.

Hypothese b) trifft nur für die Dünenlandschaften zu. Letztlich ist der Anteil an einfarbig hellen Individuen in allen untersuchten Ökosystemen am größten, sodass es neben dem Selektionsfaktor «Tarnung» noch weitere Variablen geben muss, die diese Verteilung beeinflussen.

2. Drei Säulendiagramme mit den vier Lebensräumen auf der X-Achse und den jeweiligen Anteilen auf der Y-Achse

Alternativ auch ein Säulendiagramm mit mehreren Farben für die jeweiligen Ökosysteme und einer entsprechenden Legende

3. Erklärung aus Sicht der erweiterten Evolutionstheorie gemäß unterrichtlicher Behandlung
4. Vorteile, zum Beispiel
 - große Datenmengen durch viele Teilnehmende
 - weite Verteilung der Fundpunkte, sodass Aussagen über ein großes Gebiet getroffen werden können

Nachteile, zum Beispiel

- unsichere Datenqualität, da die Teilnehmenden vielleicht die Art nicht korrekt erkennen oder ihr Aussehen falsch einschätzen
- hoher Aufwand für die Gewinnung der Teilnehmenden

ARBEITSBLATT W 9.3

Evolution live: Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke

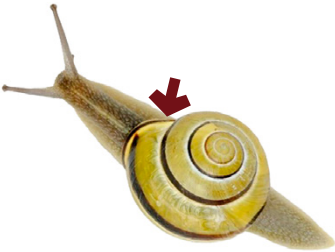
Die in **Arbeitsblatt W9.1** angeführten Untersuchungen lassen sich überall wiederholen, weil Schwarzmündige Hain-Bänderschnecken weit verbreitet sind. Du findest diese Art sowohl in Gärten und Parks als auch im Grünland oder in Wäldern.

1. Recherchiert im Internet nach Merkmalen der Schwarzmündigen Hain-Bänderschnecke und stellt diese in einem Steckbrief zusammen, mit dessen Hilfe ihr die Art im Freiland erkennen und von ähnlichen Arten unterscheiden könnt.
2. Sucht in verschiedenen Ökosystemen nach den unterschiedlich gefärbten Schwarzmündigen Hain-Bänderschnecken und notiert euch deren Anzahl in untenstehender Tabelle.
3. Tragt alle eure Beobachtungen in einer Gesamttabelle zusammen und berechnet den Anteil der jeweiligen Färbungen an der Gesamtzahl der gefundenen Tiere. Nutzt dafür eure Kenntnisse zur Nutzung von Tabellenkalkulationsprogrammen aus dem Informatikunterricht.
4. Stellt die Ergebnisse mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms in einem Diagramm dar.
5. Vergleicht eure Ergebnisse mit jenen der groß angelegten Suche in ganz Europa (siehe **Arbeitsblatt W9.1**) im Hinblick auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
6. Nur angeborene Merkmale sind evolutionsbiologisch relevant. Doch ist das bei der Färbung der Schwarzmündigen Hain-Bänderschnecken tatsächlich der Fall? Möglicherweise beeinflussen ja nicht die Erbanlagen, sondern Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel die Helligkeit eines Lebensraums, die Färbung der Tiere.
7. Plane ein Experiment, mit dessen Hilfe sich überprüfen lässt, ob die Färbung der Schnecken angeboren ist oder ob Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel die Helligkeit, die Färbung der Gehäuse verändern.

NAMEN	UNTERSUCHUNGsort		DATUM
GPS-KOORDINATEN		WITTERUNG: ☐ Sonnig ☐ Bewölkt ☐ Regnerisch	
GEHÄUSEFARBEN	WALD	HECKE	GRÜNLAND
Einfarbig gelb			
Gebändert			
Einfarbig dunkel			
Alle			

LÖSUNGSVORSCHLAG W 9.4

Evolution live: Die Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke

FOTO	ART (deutsch/lateinisch)	FOTO
	Schwarzmündige Hain-Bänderschnecke (<i>Cepaea nemoralis</i> ; Foto: Manfred Colling)	Dunkler Mundsaum an der Gehäuseöffnung Gehäuseform: Kugelförmig mit konischem Gewinde Gehäusebreite: 21–32 mm Gehäusehöhe: 17–28 mm Färbung: Sehr variabel
	Garten-Bänderschnecke (<i>Cepaea hortensis</i> ; Foto: Manfred Colling)	Heller Mundsaum an der Gehäuseöffnung Gehäuseform: Kugelförmig mit konischem Gewinde Gehäusebreite: 21–32 mm Gehäusehöhe: 17–28 mm Färbung: Sehr variabel

1. Steckbrief mit Bildern und den typischen Kennzeichen (siehe Tabelle)
2. Individuelle Lösung der SuS
3. Individuelle Lösung der SuS
4. Individuelle Lösung der SuS
5. Individuelle Lösung der SuS
6. Individuelle Planung eines Experiments mit Variablenkontrolle

Beispiel: Eine Gruppe dunkel gefärbter Schnecken in eine Umgebung mit dauerhaft hellem Licht bringen, eine weitere in völliger Dunkelheit halten und mit einer entsprechenden Gruppe unter Freilandbedingungen vergleichen. Ändern die belichteten oder abgedunkelten Schnecken ihre Färbung, ist diese von Umweltfaktoren beeinflusst.

W 10 Wer war's?

Pflanzen als Opfer

Grundlegende Informationen

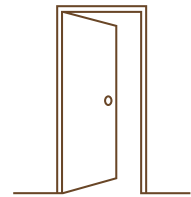
Mehr als drei Viertel aller mitteleuropäischen Insektenarten gehen zumindest in bestimmten Lebensabschnitten Beziehungen zu Pflanzen ein. Besonders Phytophage, also pflanzenfressende Insekten, gehören zu den Konsumenten. Die verschiedenen Arten nutzen alle Pflanzenteile als Nahrung, also neben den lebenden Organen wie Blätter, Blüten, Nektar, Pollen, Samen, Früchte, Stängel, Wurzeln auch Holz. Der Insektenfraß kann sowohl von außen (= ektophytisch), wie bei vielen Raupen und Blattwespenlarven, als auch im Pflanzeninneren (= endophytisch) erfolgen, wie bei den Blatt-Minierern und Gallenbildnern. Der Schwerpunkt soll im Folgenden auf den blattfressenden (phyllophagen) Insekten liegen.

Saugen, Fressen, Bohren

Bei den hemimetabolen Gruppen, wie etwa den Pflanzenläusen oder Heuschrecken, beuten die Larven- und Imaginalstadien ihre Wirtspflanzen in gleicher Weise aus. Bei den meisten holometabolen Insekten (Ausnahme unter anderem Blattkäfer) sind nur die ortsfesten Larven phytophag, während die Imagines sehr mobil sind. Sie bestreiten ihren Stoffwechsel einerseits aus den als Larve gebildeten Reserven und ergänzen diese andererseits durch Nektar und Pollen, wodurch sie maßgeblich zur Bestäubung von Blütenpflanzen beitragen. Raupen fressen die Blätter beißend-kauend, während Baumwanzen und Blattläuse ihre saugend-stechenden Mundwerkzeuge einsetzen. Besonders weit verbreitet sind die Blattfresser, denn Blätter stehen in der Regel reichlich zur Verfügung. So entstehen charakteristische Fraßbilder. Man unterscheidet dabei Fensterfraß, Lochfraß und Skelettfraß (siehe Abbildungen W 10-1 und W 10-2). Dies geschieht oft nachts, damit die Insekten nicht selbst zur Beute von Fressfeinden wie Meisen werden. Eine besondere Lebensweise haben die Gallbildner entwickelt, die durch Manipulation in die Wachstumsregulation der Wirtspflanze, die Blätter oder Früchte für ihre Zwecke umgestalten. So entstehen artspezifische Gallen, welche die Larven schützen und zudem die Ernährung gewährleisten.

Bei den phytophagen Insekten unterscheidet man Arten, welche nur von einer Pflanzenart leben und solchen, die ein breiteres Nahrungsspektrum aufweisen. Monophage Insekten, wie die Raupen des Landkärtchens, fressen nur Brennnesseln. Oligophage, wie der Kartoffelkäfer, bevorzugen zwar Kartoffelblätter, ernähren sich aber auch von anderen Nachtschattengewächsen. Dagegen fressen die polyphagen Wanderheuschrecken alles Grün, was auf ihrem Weg liegt. Schon in der Bibel gehörten die Wanderheuschrecken zu den zehn Plagen und lösten Hungersnöte aus (2. Moses, Exodus 10, 1–20). Gerade phytophage Käfer, Hautflügler, Schmetterlinge und Zweiflügler (siehe Tabelle W 10.3) machen einen erheblichen Anteil der Artenvielfalt auf der Erde aus. Besonders artenreich sind dabei die mono- und oligophagen Spezialisten auf tropischen Pflanzenarten.

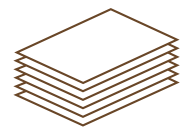
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

- **Leintuch**
- **Bestimmungs-App** wie Obsidentify.org
- **Arbeitsblatt W 10.1**
- **Anlage W 10.2**



Abbildung W 10-1
Blatt mit Lochfraß
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10-2
Fensterfraß einer Blattwespenlarve
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10-3
Skelettfraß, zum Beispiel von einer Raupe
(Foto: Tobias Fröhlich)

Bedeutung phytophager Insekten für das Ökosystem

Unsere einheimischen Bäume und Büsche zeigen zwar ein immenses Wachstum im Sommerhalbjahr, doch werden sie von vielen Insekten und deren Larven in Zaum gehalten. Ohne die Vielzahl an Raupen und Blattwespenlarven würden unsere Wege und Gärten schnell zuwachsen. Trotzdem ist es nur verhältnismäßig wenigen Insektenordnungen gelungen, das Pflanzengewebe als alleinige Nahrung zu erschließen. Das liegt an dem oft nährstoffarmen Blattmaterial, welches ein Überangebot an Kohlenhydraten bei einem gleichzeitigen Mangel an organisch gebundenem Stickstoff besitzt. Deshalb konzentriert sich die Larvalentwicklung vieler Arten auf den Frühsommer, wenn das Pflanzengewebe noch eine hohe Aminosäuren-Konzentration aufweist. Zudem sind die Cellulose der Zellwände und das Lignin des Holzes auch für Insekten nur mit Hilfe von Darmsymbionten wie Bakterien, Flagellaten und Pilzen abbaubar. Die Verdauung von Phloemsaft erfordert zudem eine Filtration und ein Eindicken des Pflanzensaftes. Natürlich wehren sich Pflanzen durch in den Zellsaftvakuolen eingelagerte Gifte, Gerb- und Bitterstoffe gegen gefräßige Insekten.

Phytophage Insekten wie Blattläuse und Blattwespenlarven stellen die Hauptnahrung für viele Vogelarten (wie

ARTENGRUPPE	PHYTOPHAGE GRUPPE
KÄFER	Rüsselkäfer (Curculionidae), Blattkäfer (Chrysomelidae), Bockkäfer (Cerambycidae), Rüsselkäfer (Curculionidae) und Borkenkäfer (Ipidae)
HAUTFLÜGLER	Pflanzenwespen (Symphyta), Gallwespen (Cynipiden)
SCHMETTERLINGE	Fast alle Raupen phytophag
ZWEIFLÜGLER	Gallmücken (Cecidomyiidae), Blumenfliegen (Anthomyiidae), Minierfliegen (Agromyzidae), Halmfliegen (Chloropidae) und Bohrfliegen (Tephritidae)
SCHNABELKERFEN	Baumwanzen (Heteroptera), Zikaden (Auchenorrhyncha), Pflanzenläuse (Sternorrhyncha)
HEUSCHRECKEN	Kurzfühlerschrecken (Caelifera), Gespenstheuschrecken (Phasmida)
FRANSENFLÜGLER	Fast alle phytophag

Tabelle W 10-4

Phytophage Insektengruppen, nach ihrer weltweiten Artenzahl geordnet

zum Beispiel Meisen) dar, welche diese an ihre Jungen verfüttern. Zudem sind sie die Nahrungsgrundlage für viele Ameisenarten und auch für solitäre Grab-, Weg- und Schlupfwespen. Die Schlupfwespen injizieren ihre Eier beispielsweise in einer Kohlweißlings-Raupe. Die sich in der Raupe entwickelnde Schlupfwespen-Larve kann wiederum von weiteren Schlupfwespenart parasitiert werden. Man spricht hierbei von Hyperparasitismus. So kommt es zu einem System von bis zu sechs Hyperparasiten und damit einer komplexen Regulierung aller Mitglieder dieser Biozönose. So entstehen auf der Grundlage von phytophagen Insekten komplexe Nahrungsnetze und eine ausgeklügelte Regulation des Pflanzenwachstums und seiner Nutznießer.

Durchführung

Das Outdoormodul kann vom Blattaustrieb im Frühjahr bis zum Laubfall im Herbst durchgeführt werden. Am besten sind ein Laubwald oder ein Waldsaum geeignet. Die Suche nach Blättern mit Fraßspuren erfolgt in Dreier- oder Vierergruppen.

Leistungserhebung

Die Präsentation der einzelnen Gruppen eignet sich auch zum Feststellen von mündlichen Beitragsnoten.

ARBEITSBLATT W 10.1

Wer war's?

Pflanzen als Opfer

Aufgaben

1. Sammelt verschiedene Arten von auffällig veränderten Blättern und Pflanzenteilen.
2. Skizziert die Fraßschäden oder Gallen am Blatt formatfüllend.
3. Wer wars? Recherchiert mit Hilfe der Farbtafeln und des Internets, welche Lebewesen die Veränderungen verursacht haben könnten.
4. Ordnet am Ende der Stunde die Fraßbilder aller Gruppen auf dem Leintuch an und präsentiert eure Ergebnisse. Vergleicht die Ergebnisse der einzelnen Gruppen miteinander.

Zusätzliche Fragen

- Erstelle eine mindestens aus fünf Gliedern bestehende Nahrungskette. Gehe vom Blatt aus.
- Erstelle Hypothesen, wie sich die Pflanzen gegen Insekten wehren könnten, welche sie befressen.
- Recherchiere, wie man bestimmte Insektenarten bei der Bekämpfung eines Ackerunkrautes einsetzen könnte.
- Beschreibe den Entwicklungszyklus des Apfelwicklers. Recherchiere dazu im Internet.

ANLAGE W 10.2

Wer war's? – Hefteintrag

BILD/ZEICHNUNG	BESCHREIBUNG DES FRAßBILDES	WER KÖNNTE DARAN GEFRESSEN HABEN?

ANLAGE W 10.3

Wer war's? – Farbtafel 1



Abbildung W 10.3-1
Skelettfraß, zum Beispiel von einer Raupe
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10.3-2
Fensterfraß Blattwespenlarve
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10.3-3
Blattschneiderbiene beim Blätterschneiden
(Foto: Susanne Schulz, iStock)



Abbildung W 10.3-4
Randfraß vom Rüsselkäfer
(Foto: WikiImages/Pixabay)



Abbildung W 10.3-5
Ahornblatt mit Teerfleckenpilz
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10.3-6
Fraßbild des Kartoffelkäfers
(Foto: Shannon Smith/Pixabay)

ANLAGE W 10.3

Wer war's? – Farbtafel 2



Abbildung W 10.3-7
Saugschäden von Blattläusen
(Foto: g1a1b1i1/Pixabay)



Abbildung W 10.3-8
Gallen der Buchengallwespe
(Foto: Tobias Fröhlich)



Abbildung W 10.3-9
Galle einer Rosengallwespe
(Foto: Rollstein/Pixabay)



Abbildung W 10.3-10
Fraßspur eines Borkenkäfers (Foto: Gyorgy Csoka,
Forest Research Institute, Bugwood.org CC-NC 3.0)



Abbildung W 10.3-11
Verpacktes Schneckenhaus der Schneckenhaus-Mauerbiene
(*Osmia aurulenta*, Foto: Sebastian Hopfenmüller)



Abbildung W 10.3-12
Larve des Apfelwicklers in einem Apfel
(Foto: Doug Wilson, Wikimedia.Commons, gemeinfrei)

W 11 Mineralisation

Alleine oder in Kooperation?

Grundlegende Informationen

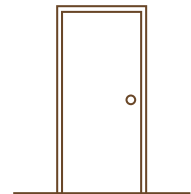
Die Rolle von Regenwürmern und Asseln bei der Remineralisierung organischer Substanzen im Boden ist entscheidend für die Bodenfruchtbarkeit und die Kohlenstoffspeicherung. Beide Gruppen der Wirbellosen tragen durch ihre Zersetzungsprozesse zur Mineralisierung von Pflanzenresten und anderen organischen Materialien bei, allerdings mit unterschiedlichen Mechanismen und Auswirkungen auf das Bodenökosystem.

Regenwürmer gelten als «Ökosystem-Ingenieure», da sie den Boden durch ihre Tunnel und Ausscheidungen physikalisch und chemisch verändern. Sie fördern die Zersetzung organischer Substanzen, indem sie diese in den Boden einbringen und die Verfügbarkeit von Mineralstoffen wie Stickstoff- und Phosphorverbindungen steigern. Studien zeigen, dass die durch Regenwürmer ausgeschiedenen Mineralstoffe in ihrem Kot (sogenannter «Wurmkot») eine im Vergleich zu unverdaulichem Bodenmaterial bis zu fünffach erhöhte Verfügbarkeit aufweisen. Regenwürmer verarbeiten bis zu sechs Tonnen organischer Substanz pro Hektar und Jahr, was maßgeblich zur Mineralstoffversorgung der Pflanzen beiträgt. Laut einer Studie von BLOUIN et al. (2013) können Regenwürmer jährlich bis zu 40 % des organischen Materials in der oberen Bodenschicht mineralisieren. Sie verbessern also sowohl die Bodenstruktur als auch die Wasserhaltefähigkeit von Böden (BLOUIN et al. 2013).

Asseln leisten einen erheblichen Beitrag zur Initialzersetzung und sind hauptsächlich bei der Zersetzung oberirdischer Pflanzenreste aktiv. Sie nehmen in streureichen Habitaten wie Laubwäldern eine Schlüsselrolle ein, indem sie gröbere, organische Materialien fressen und so die Bodenoberfläche mit ausgeschiedenen, zerkleinerten Substraten anreichern. Dies schafft eine geeignete Umgebung für Mikroorganismen, die die weitere Zersetzung und Mineralisierung übernehmen (BOUCHON et al. 2018). Durch ihren initialen Abbauprozess erleichtern Asseln den Zugang für Mikroorganismen zu frischen Substraten, während Regenwürmer die Überreste schließlich in tiefere Bodenschichten transportieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Regenwürmer eine tiefere Durchmischung des Bodens fördern und besonders zur langfristigen Kohlenstoffbindung beitragen, während Asseln vor allem den initialen Abbauprozess an der Bodenoberfläche unterstützen. Durch die unterschiedlichen Rollen beider Wirbelloser wird die Mineralisierung und Humusbildung im Boden erheblich verbessert, was die Fruchtbarkeit nachhaltig positiv beeinflusst.

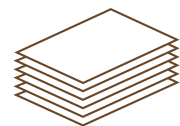
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- **Kunststoffboxen:** Die Boxen müssen Luftlöcher haben!
Vorsicht: Regenwürmer können diese unter Umständen zur Flucht nutzen.
- **Substrat als Unterlage** (zum Beispiel feuchtes Küchenpapier, Humus, Bodenstreu oder Ähnliches)
- **Asseln und Regenwürmer** als Versuchstiere
- **Organisches Material** als Futter

Lehrerinformationen zum Versuch

Da keine Untersuchungen zu den Wechselwirkungen von Asseln und Regenwürmern verfügbar sind, können Versuche mit verschiedenen Variablen durchgeführt werden. Die Versuche können als «Schulprojekt» durchgeführt werden, bei dem die Ergebnisse der Versuche im nächsten Schuljahr an die nächste Jahrgangsstufe weitergegeben werden. Dazu müssen die Versuche sehr genau protokolliert werden. Die nächste Jahrgangsstufe kann auf der Grundlage dieser Versuche neue Fragestellungen und Versuchsaufbauten entwickeln. So lassen sich über mehrere Jahre hinweg umfangreiche Versuchsreihen und eine Datenbank aufbauen. Die Lernenden erfahren dabei, dass die Ergebnisse einer Untersuchung oft die Grundlage für weitere Fragestellungen sind.

Anfangsbeispiel (Fragestellung):

- Welche Tiere sind beim Abbau von Küchenabfällen am schnellsten?
Plane ein Modellexperiment und führe es durch.
- In diesem Experiment werden Komposthaufenbewohner einzeln sowie in Kombination mit anderen Arten mit denselben Küchenabfällen gefüttert. Dabei wird der Abbau dokumentiert.
(Bemerkung: Auf dem Bild werden den Organismen auch verschiedene Substrate angeboten; dies wäre bereits eine zweite Fragestellung.)

Abbildung W 11-1
Versuchsaufbau, auf befeuchtetem Küchenpapier werden Scheiben von Karotten, das Blatt einer Haselnussstaude sowie Kartoffelscheiben ausgelegt. Die Versuchstiere sind noch nicht zum Ansatz hinzugegeben
(Foto: Florian Bernhard).



Abbildung W 11-2
Die geöffneten Kunststoffboxen elf Tage später: Nullprobe, nur Asseln, nur Regenwürmer, Asseln und Regenwürmer gemischt (von links; Foto: Florian Bernhard)





Abbildung W 11-3

Ein «Asselfang» aus Kompost im derweil umgedrehten Eierkarton (Foto: Florian Bernhard)

Versuchstiere

Die Asseln, die als Versuchstiere dienen, können in Kultur gehalten werden. Anregungen dazu sind im Internet zu finden (zum Beispiel auf insektenliebe.com). Asseln können auch sehr einfach im Kompost gefangen werden: Dazu wird trockener Kompost, in dem Asseln gesichtet wurden, in eine Kunststoffbox gefüllt und mit Wasser übergossen und aufgefüllt. Ein Eierkarton, der verkehrt herum in der Box liegt, dient den Asseln als Fluchtmöglichkeit (über der Wasseroberfläche), sodass sie dort nach etwa 15 Minuten einfach abgenommen werden können.

Werden Asseln dauerhaft in Kultur gehalten, können auch verhaltensbiologische Experimente (Lernbereich 9.5.4) mit ihnen durchgeführt werden. Asseln bewegen sich schneller und sind daher für die SuS bei der Beobachtung deutlich eindrucksvoller als Regenwürmer. Weitere Hinweise dazu finden Sie auf:

<https://hypersoil.uni-muenster.de/1/03/13.htm>

Kompostwürmer können als Zuchtansatz gekauft werden. Eine Wurmbox in der Biologiesammlung macht die Kompostwürmer dauerhaft verfügbar und unterstützt die Kompostierung von Bioabfällen. Bauanleitungen für Wurmboxen finden sich im Internet.

QR-Code W 11-4

Experimente und Versuche mit Asseln

Weitere Hinweise zu Asseln als Versuchstiere finden sich auf der Seite der Universität Münster unter: <https://hypersoil.uni-muenster.de/1/03/13.htm>



Aufgaben

Beispielaufgabe siehe oben

Leistungserhebung

Bei Bedarf können die Versuchsprotokolle als Grundlage für eine Leistungserhebung dienen.

ARBEITSBLATT W 11.1

Mineralisation

Aufgabe

In einem Komposthaufen leben viele verschiedene Lebewesen. Besonders häufig findet man dort Kompostwürmer, die zu den Ringelwürmern gehören, und verschiedene Arten von Asseln. Beide Tiergruppen sind wichtig, weil sie helfen, organisches Material wie Pflanzenreste abzubauen und die Mineralstoffe freizusetzen. Wie genau sie dabei zusammenarbeiten und welche Aufgaben sie im Komposthaufen übernehmen, ist aber noch nicht vollständig erforscht.

Hier könnt ihr selbst aktiv werden: Überlegt euch eine spannende Frage, die sich mit den Asseln und Würmern beschäftigt. Diese Tiere lassen sich leicht im Labor halten. Deshalb könnt ihr zu eurer Frage auch gleich eine Hypothese aufstellen und ein Experiment oder eine Untersuchung planen und durchführen. Wenn ihr Hilfe braucht, wendet euch an eure Lehrkraft.

Fragestellung

Hypothese

Plant in Dreierteams eine naturwissenschaftliche Untersuchung, mit der ihr eure Hypothese stützen könnt oder verwerfen müsst. Euch stehen dabei alle Möglichkeiten (Untersuchung, Experiment, Modellierung) offen. Wenn ihr nicht mehr weiterwisst, könnt ihr auch Hilfekarten von eurer Lehrkraft erhalten.

Führt ein (digitales) Protokoll, in dem ihr den genauen Ablauf und eure Ergebnisse festhaltet. Dazu eignen sich Fotos besonders gut. Dies ist besonders wichtig, damit die Lernenden im nächsten Jahr eure Ergebnisse gut nachvollziehen und eventuell darauf aufbauend neue Untersuchungen planen können.

ANLAGE W 11.2 Hilfekarten



HILFE 1

Lest euch nochmals die Methodenseiten über die Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen in eurem Schulbuch durch.

HILFE 2

Versucht euer Experiment so einfach wie möglich zu halten, damit ihr eure Beobachtungen auch den zu untersuchenden Tieren zuordnen könnt. Plant also ein Modellexperiment.

HILFE 3

Ein Experiment benötigt immer auch eine Absicherung (Kontrollversuch); plant eine negative Blindprobe zu dem Modellexperiment.

HILFE 4

Beachtet, was eure Versuchstiere alles außerdem benötigen, damit es ihnen im Versuchszeitraum gut geht.

W 12 Ameisenstraßen ohne Stau

Grundlegende Informationen

Es ist Ferienanfang und es gibt wie immer stundenlange Staus auf den Autobahnen nach Süden. Zur gleichen Zeit auf der Ameisenstraße: Perfekt fließendes Krabbeln, mehrspurig, in entgegengesetzte Richtungen – ohne nennenswerte Verzögerungen. Was können eigentlich Ameisen, was wir Menschen nicht können?

Auf der Ameisenstraße herrschen andere Regeln: Ameisen verhalten sich hier nicht eigennützig, sondern kooperativ. Sie halten dabei zu den Nachbarn einen kleinen, aber ausreichenden Abstand, sodass kleine Geschwindigkeitsänderungen nicht zum Stopp und somit zum Stau führen. Durch Stauvermeidung ist der erzielte Durchsatz optimal. So erreichen dicht belaufene Ameisenstraßen der Roten Waldameisen einen Durchsatz von mehr als 100 Ameisen pro Minute. Wenn alle Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit und ihr Verhalten anpassen, dann läuft der Verkehr flüssiger und Ameisenforschung setzt neue Impulse für die Verkehrsregulierung. Das verbessert die Überlebenschancen der ganzen Kolonie.

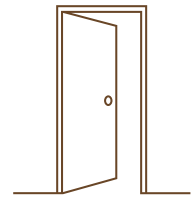
Die drei Ameisen-Regeln zur Stauvermeidung

- Nicht überholen; in der Bewegung nicht die Spur wechseln
- Gleiche Geschwindigkeit für alle (bei Kälte langsamer, bei Wärme schneller)
- Genügend Abstand zum Vordermann einhalten

Ein französisches Forscherteam fand heraus, dass selbst volle Ameisenstraßen effizient sind – auf den Autobahnen der Menschen kaum vorstellbar. Der Vorteil der Insekten liegt darin, dass sie nicht wie Autos isoliert voneinander fortbewegen, sondern über **Berührungen** und vor allem über **chemische Signale** ständig miteinander kommunizieren.

Ameisen markieren den Weg von einer Futterquelle zum Nest mit einer Duftspur (Pheromon). Wird die Duftspur im Experiment unterbrochen, so entsteht über Umwege bald wieder eine neue Route. Dadurch werden alle Individuen der Kolonie dazu gebracht, denselben Weg zur Nahrung zu benutzen. Sie kommunizieren sogar mit Ameisen des Gegenverkehrs, um Informationen über die Futterquelle auszutauschen. Steigt die Zahl der Tiere auf der Wegstrecke zu stark an, dann geben sie weniger Pheromone ab. Der Pfad verliert an Attraktivität und das Verkehrsaufkommen sinkt. Eine solche Regulation in Form einer **negativen Rückkoppelung** erhöht die Effizienz, mit der die Ameisen ihr Nest mit Nahrung versorgen.

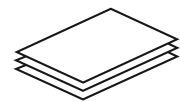
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und
Anforderungsniveau

Fachwissen	☒	☒	☐
Erkenntnisgewinn	☒	☒	☐
Kommunikation	☒	☐	☐
Bewertung	☐	☐	☐

MATERIAL

- **Leselupe**
- **Uhr**
- Flaches **Uhrglas**
- Ein paar Tropfen **Honig**
- **Notizbuch/Papier** für das Versuchsprotokoll

Zur Untersuchung des Verhaltens von Ameisen an Brücken bauten Forscher zwei Teststrecken auf. Bei der ersten Strecke befand sich zwischen Nest und Futterquelle eine breite Brücke, bei der anderen nur ein schmaler Steg, auf dem nur maximal zwei Tiere aneinander vorbei passten. Trotzdem schafften es beide Gruppen in derselben Zeit, die gleiche Futtermenge einzutragen. Dabei zeigten die Tiere an dem schmalen Steg ein bemerkenswertes Verhalten: Neu ankommende Tiere warteten gemeinsam, bis der Gegenverkehr über den schmalen Steg gelaufen war. Anschließend ging die wartende Gruppe wie bei einer Blockabfertigung geschlossen los, während auf der anderen Seite wieder ein Pulk wartete. Es gab keine Zusammenstöße. Zudem vermeiden Ameisen einen Stau, indem sie bei dichtem Verkehr auch wenig genutzte Ausweichstrecken wählen, auch wenn diese eine geringere Pheromon-Konzentration aufweisen. Dies geschieht durch abstoßende Interaktionen. Bei Hunger können Ameisen zusätzliche Wege generieren und so auf zusätzliche Nahrungsquellen stoßen.

Warum bilden sich bei Menschen Staus, bei Ameisen nicht?

Durch Berührungen und chemische Signalstoffe vermeiden Ameisen selbst erzeugten Stau. Die Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern ist hingegen eingeschränkt, manche Verkehrsteilnehmer verhalten sich egoistisch und aggressiv, daraus resultieren Probleme:

- Manche drängeln, überholen risikoreich, halten sich nicht an Regeln
- Sicherheitsabstände werden nicht eingehalten
- Die Individualwahrnehmung überwiegt die Kollektivitätswahrnehmung («Die Anderen sind der Stau»)
- Abrupte Fahrgeschwindigkeitsänderungen und Spurwechsel

Durchführung

Die Lehrkraft wählt je nach Schulstandort entweder die Variante A oder B aus.

Die Untersuchung erfolgt in Dreiergruppen oder Vierergruppen. Das Outdoor-modul sollte an trockenen und warmen Tagen durchgeführt werden.

Die wichtigsten Informationen zu Körperbau, Vorkommen und Bestimmung von Ameisen sind dem **Modul W1e** «Bestimmung von Ameisen» zu entnehmen. Weitergehende Informationen sowie Schülerarbeitsblatt zu Lebensweise, Entwicklungszyklus und Körperbau von Ameisen finden sich auch im Aktionshandbuch «**Tiere live**».

Leistungserhebung

Die Präsentation der einzelnen Gruppen eignen sich auch zum Feststellen von mündlichen Noten durch Unterrichtsbeiträge.

ARBEITSBLATT W 12.1

Variante 1

Waldameisen

In Wäldern mit hohem Fichtenanteil baut die Rote Waldameise (*Formica rufa*) Hügel aus Nadeln. Vom Nesthügel breiten sich sternförmig vegetationsfreie Ameisenstraßen zu allen Seiten aus. Bei der Suche eines Waldameisennestes kann auch ein Ortskundiger der Ameisenschutzware Bayern oder der örtliche forstliche Revierleiter behilflich sein. Um ein Hochkrabbeln der Ameisen zu verhindern, sollte man Gummistiefel tragen, die am oberen Rand eingefettet werden. Passt auf, dass ihr möglichst keine Ameise zertretet! Wählt deshalb mit etwas Abstand zum Nesthügel eine gut erkennbare Ameisenstraße aus.

Aufgaben

1. Beobachtet den Weg einer Ameise für mehrere Minuten möglichst genau. Wo beginnt und endet die Straße? Warum gibt es keinen Stau auf dieser Straße? Fertigt dazu eine maßstabgetreue Skizze (zum Beispiel im Maßstab 1:100) an. Verwendet dazu einen Meterstab.
2. Ermittelt die mittlere Geschwindigkeit der Ameisen.
3. Löst einen Stau aus! Unterbrecht die Ameisenstraße durch Hindernisse wie kleine Holzstückchen/Steinchen beziehungsweise kratzt mit einem Stock einen Graben aus. Notiert eure Beobachtungen.
4. Stellt ein flaches Uhrgläschen mit Honigwasser 10 cm neben die Ameisenstraße. Misst die Zeit, bis die erste Ameise die Futterstelle findet. Wann folgen weitere Artgenossen?
Sollte es zu lange dauern, bis die Ameisen das Futter finden, dann müsst ihr den Abstand zur Schüssel verkleinern.
5. Verfolgt eine vollgesaugte Ameise und achtet darauf, ob sie bei ihrem Weg zurück bei einer in Gegenrichtung laufenden Ameise stoppt. Was machen die beiden Ameisen dann? Mit einer Lupe lässt sich dieses Verhalten noch besser beobachten.
6. Bestimmt die Ameisenart mit dem Bestimmungsblatt von **Modul W1e**.

QR-Code W 12.1-1

Ameisenschutzware Bayern
(www.ameisenschutzware.de/ameisenschutzware/asw-bayern)



ARBEITSBLATT W 12.2

Variante 2

Ameisen in Siedlungen

Am besten lassen sich Ameisen auf Wegplatten oder auch Kletterer an Bäumen und Sträuchern beobachten. In Siedlungen findet man kleinere Ameisenarten am leichtesten an Stämmen von Bäumen und Sträuchern. Die schönsten Ameisenstraßen (schmal, regelmäßig und dicht gedrängt) bildet die Schwarzglänzende Holzameise (*Lasius fuliginosus*) aus. Diese benötigt für ihr Nest jedoch alte, hohle Bäume und ist daher recht selten.

Aufgaben

1. Zählt die Ameisen, die an einem Stamm in einer Minute hochlaufen, dann die am Stamm herunterlaufenden Ameisen.
2. Untersucht – soweit möglich – an herunterhängenden Zweigen, zu welchen Zielen die Ameisen laufen. Beschreibt genau, was sie dort tun.
3. Unterbrecht die Duftspur der Ameisenstraße mit einem auf dem Finger aufgetragenen Tropfen eines ätherischen Öls (Lavendelöl oder Ähnliches). Achtet darauf, dass keine Ameise zu Schaden kommt. Wie verhalten sich die Ameisen jetzt?
4. Setzt einen leicht angefeuchteten Honigtropfen an eine Stelle neben den am Stamm laufenden Ameisen. Beobachtet, wie lange es dauert, bis eine Ameise die Futterstelle findet. Dauert es zu lange, dann hilft eine Verkürzung des Abstands.
5. Trinkt die erste Ameise, dann ermittelt mit der Uhr, wie lange es dauert, bis weitere Ameisen zur Futterstelle kommen. Beobachte die Veränderungen, die sich an den trinkenden Ameisen ergeben.
6. Verfolgt eine vollgesaugte Ameise und achtet darauf, ob sie bei ihrem Weg zurück bei einer in Gegenrichtung laufenden Ameise stoppt. Was machen die beiden Ameisen dann? Mit einer Lupe lässt sich dies besser sehen.
7. Bestimmt die Ameisenart mit dem Bestimmungsblatt von **Modul W1e**
8. Hausaufgabe: Zählt wiederum die Ameisen, die an einem Stamm in einer Minute hochlaufen, dann die am Stamm herunterlaufenden Ameisen. Überlegt dabei: Wie verändert sich die Aktivität, wenn ihr die Zählung am Morgen oder am Abend macht? Laufen die Ameisen lieber auf der Sonnen- oder Schattenseite?

W 13 Materialgestützte Aufgaben zum Insektensterben

Grundlegende Informationen

Die Masse der flugfähigen Insekten ist laut einer Untersuchung in deutschen Naturschutzgebieten binnen 30 Jahren um 75 % geschrumpft – mit dieser zentralen Botschaft rüttelte im Herbst 2017 der Krefelder Entomologische Verein Öffentlichkeit und Politik auf. Das Volksbegehren «Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern – Rettet die Bienen» zwei Jahre später war das erfolgreichste Volksbegehren in der Geschichte des Freistaats Bayern. Dies zeigt das große Interesse am Thema Insektensterben in großen Teilen der Gesellschaft.

Im Zentrum der Aufgabe stehen folgende Fragen:

- Ist der Insektenschwund wissenschaftlich belegt?
- Wer ist schuld am Insektensterben?
- Wie lässt sich der Insektenschwund aufhalten?

Seit jeher war die Beziehung zwischen Mensch und Insekten sehr vielschichtig. Einzelne dieser Aspekte werden aufgezeigt, dabei wird deutlich, dass Menschen und Insekten eine Schicksalsgemeinschaft verbindet.

Materialien

Alle in den Materialien verwendeten Abbildungen und Informationen sind dem Insektenatlas der HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG (2020) entnommen (kostenloser Download: www.boell.de/de/insektenatlas). Diese Publikation bietet zudem eine Fülle weiterer hilfreicher Informationen für die SuS und die Lehrenden.

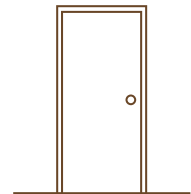
Durchführung

Nach einem einführenden Video (siehe nebenstehenden QR-Code) als gemeinsamem Einstieg bearbeiten die SuS alleine oder in Kleingruppen die Aufgaben. Auch eine arbeitsteilige Gruppenarbeit ist möglich. Abschließend werden die Ergebnisse im Klassenverband vorgestellt und diskutiert.

Leistungserhebung

Eine mündliche Leistungserhebung zu den bearbeiteten Inhalten in der Folgestunde ist möglich und sinnvoll.

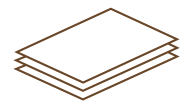
Ort



Dauer



Vorbereitungsaufwand



Kompetenzen und Anforderungsniveau

Fachwissen	
Erkenntnisgewinn	
Kommunikation	
Bewertung	

MATERIAL

Anlagen W 13.1 bis W 13.5

QR-Code W 13-1

Einstiegsvideo:
www.youtube.com/watch?v=Y3Db_1hZ1aQ



ARBEITSBLATT W 13.1

Menschen und Insekten

Eine Schicksalsgemeinschaft

Aufgaben

Einstieg

Betrachte als Einstieg folgendes Video: www.youtube.com/watch?v=Y3Db_1hZ1aQ

Insektensterben – Mythos und Fakten

Beurteile die folgenden Aussagen, indem du die jeweils angegebenen Materialien auswertest.
Gib dazu an, ob du die Aussage für wahr oder falsch hältst und begründe deine Entscheidung.

- «Der Insektenschwund ist wissenschaftlich nicht belegt.» (vergleiche **Anlage W 13.2** und **Anlage W 13.3**)
- «Manche Arten verschwinden, andere kommen – auch wegen des Klimawandels – zu uns. Es ist also nur eine Veränderung aber kein Verschwinden.» (vergleiche **Anlage W 13.2** und **Anlage W 13.3**)
- «Intensive Landwirtschaft ist eine Ursache für den Insektenschwund.» (vergleiche **Anlage W 13.4**)
- «Den Insektenschwund zu stoppen ist alleine Aufgabe der Landwirte.» (vergleiche **Anlage W 13.4**)

Die verwendeten Abbildungen und viele weitere Informationen findest du bei der Heinrich-Böll-Stiftung:
www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell_Insektenatlas_2020_II_V01_Kommentierbar.pdf

Insekten – Plage und Segen

Unterstreiche im Text von **Anlage W 13.5** mit

- **GRÜN** alle Fakten, die zeigen, wie der Mensch von Insekten profitiert,
- **ROT** alle Fakten, die zeigen, wie der Mensch durch Insekten geschädigt wird.

Diskutiere, ob Mensch und Insekten tatsächlich eine Schicksalsgemeinschaft bilden, wie in der Überschrift zu lesen ist (etwa 100 Wörter).

Insektensterben aufhalten

Recherchiere und erläutere, was die Politik und jeder Einzelne gegen das Insektensterben tun können.
Tipps gibt es zum Beispiel auf folgenden Seiten:



BMUV: Insekten Schützen –
Vielfalt bewahren
www.bmu.de/insektenschutz



Stiftung KulturLandschaft Günztal:
Insektenfreundliches Günztal
<https://insektenfreundliches.guenztal.de/>



Heinrich-Böll-Stiftung: Film –
Wir brauchen Insekten
<https://youtu.be/l6jDJbIG2p8>



BUND: Das große Insektensterben –
Warum verschwinden die Insekten?
www.bund.net/themen/tiere-pflanzen/tiere-insekten/bedrohung/?gclid=EAlaIqobChMlLCny6Op_gIV05rVCh1BTwk-EAAYASAAEgI8DPD_BwE

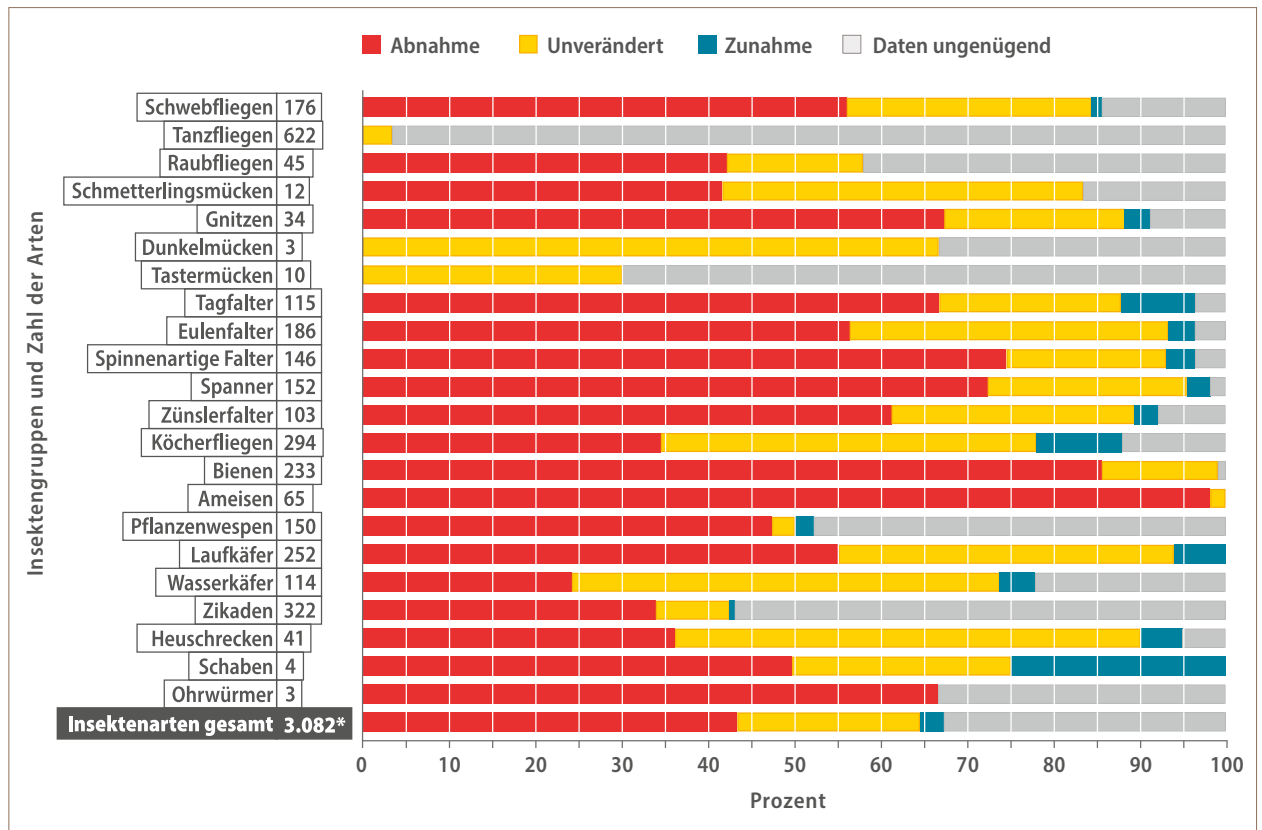


NABU: Insekten konkret helfen –
Was jede(-r) einzelne tun kann
www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/insekten-helfen/index.html

ANLAGE W 13.2

Material 1

Zunahme und Abnahme der Individuenzahlen bei verschiedenen Insektenarten in Deutschland



QR-Code W 13.2-1

Insektenkurs auf der Webseite des BISA-Projektes (www.bisa100.de/lernen/insekten/biotopia-insektenkurs)



Abbildung W 13.2-2

«Fast überall Verluste»:

Rote Listen der Insekten in Deutschland, akute Trends bei den langfristig rückläufigen Insektengruppen, Verteilung in Prozent der Arten (Quelle: RIES 2020; Insektenatlas)

Hinweis

Interpretation am Beispiel der Gruppe der Schwebfliegen

- In Deutschland sind 176 Schwebfliegen-Arten erfasst.
- Bei 56 % der Arten ist eine Bestandsabnahme hinsichtlich Häufigkeit und/oder Verbreitung festgestellt worden.
- Bei 28 % sind die Bestände +/- gleichbleibend.
- Bei zirka 2 % hat eine Bestandszunahme stattgefunden.
- Bei 14 % ist keine eindeutige Aussage über die Bestandsentwicklung möglich.

ANLAGE W 13.3

Material 2

Zunahme und Abnahme der Bestände bei verschiedenen Insektengruppen weltweit

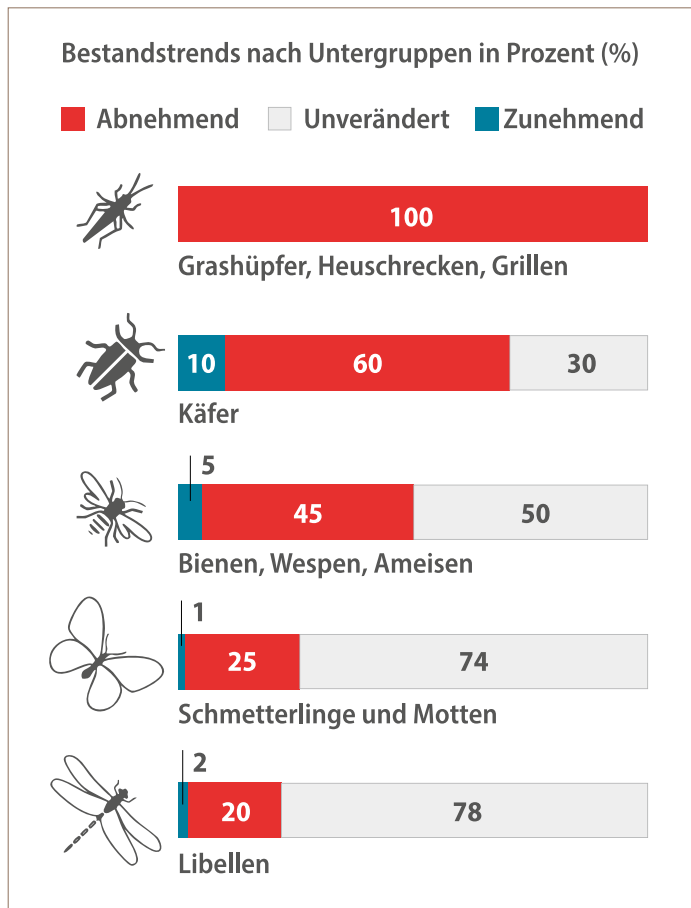
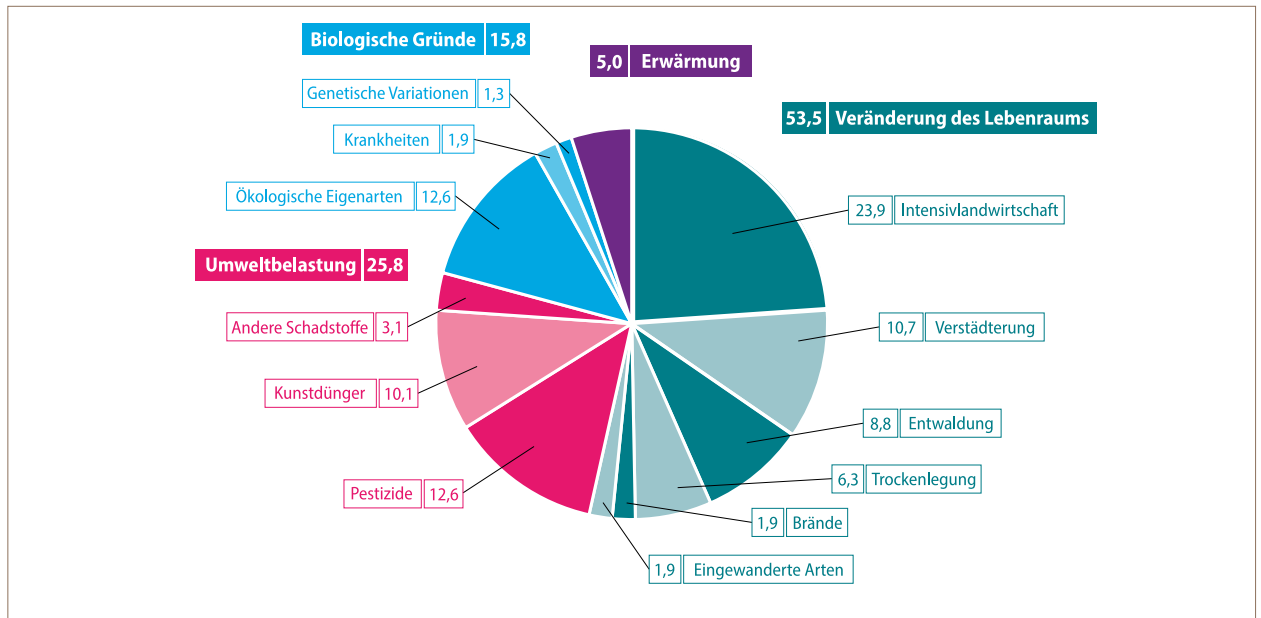


Abbildung W 13.3-1

Insektenarten sind weltweit in Gefahr; die einzelnen Bestandstrends sind prozentual angegeben (Quelle: DIERZO 2014; Science)

ANLAGE W 13.4 Material 3

Ursachen für das Insektensterben



Strategien gegen die Hauptursachen sollten kombiniert werden, schlagen die Bearbeiter einer Metastudie vor: Der wirksamste Weg, den Abwärtstrend bei den Insekten umzudrehen, ist die Wiederherstellung ihrer Lebensräume in Verbindung mit drastisch reduziertem Einsatz von Agrochemikalien und einer Änderung der Bewirtschaftungsform hin zu weniger intensiver Landwirtschaft.

Abbildung W 13.4-1
Auf die Habitate kommt es an!
Hauptursachen für das Insektensterben in Prozent (Quelle: SÁNCHEZ-BAYO & WYCKHUYS 2020; Insektenatlas)

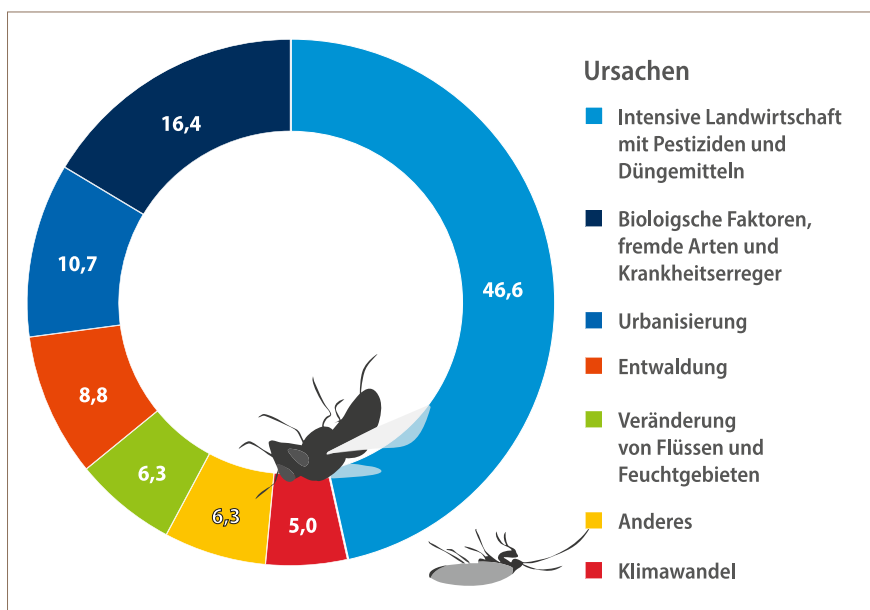


Abbildung W 13.4-2
Ursachen für das Insektensterben weltweit in Prozent (Quelle: SÁNCHEZ-BAYO & WYCKHUYS 2019; Biological Conservation).

ANLAGE W 13.5

Material 4

Schicksalsgemeinschaft von Mensch und Insekt

Schon auf 8.000 Jahre alten Höhlenmalereien ist zu sehen, dass der Mensch Honig von Bienen sammelt. Da wilder Honig schwer verfügbar ist, hatten Menschen wohl schon vor 5.000 bis 7.000 Jahren begonnen, die Bienen zu kultivieren. Da viele Insekten selbst aus hochwertigem Eiweiß, Ballaststoffen und Mikronährstoffen bestehen, gelten sie seit jeher, insbesondere in Afrika, Lateinamerika und Teilen Asiens, als normaler Teil der Nahrung.

Im alten Ägypten verehrten die Menschen den Heiligen Pillendreher, eine Käferart, die vom Kot größerer Tiere lebt. Tatsächlich ist die artenreiche Gruppe der Dungkäfer für den Menschen überlebenswichtig: Gemeinsam mit anderen Organismen sorgt er dafür, dass aus Mist fruchtbarer Boden wird.

Auch der Übergang zur Sesshaftigkeit – ein bedeutender Schritt in der Menschheitsgeschichte – war nur durch die Bestäubung wichtiger Kulturpflanzen durch Insekten möglich. Aktuelle Studien ergaben, dass der volkswirtschaftliche Nutzen durch Insektenbestäubung weltweit etwa 1.000 Milliarden US-Dollar jährlich entspricht.

Umgekehrt bieten Äcker und Lebensmittellager ein großes Nahrungsangebot für bestimmte Insektenarten, die als Nahrungskonkurrenten dem Menschen die Nahrung streitig machen. Heuschreckenschwärme galten bereits in der Antike als derart gewaltige Naturkatastrophen, dass sie nur Strafen Gottes sein konnten. Kartoffelkäferplagen hielt man noch im 20. Jahrhundert für eine vom Feind geschickte Biowaffe. Insekten fraßen nicht nur Teile der Ernte, sie übertrugen auch Pflanzenkrankheiten und schädigten so die Landwirtschaft. Verbreiten sich etwa Viren, sind zu 90 % die Pflanzensaft saugenden Zikaden und Blattläuse die Verursacher. Deshalb ist die Geschichte der Landwirtschaft auch eine Geschichte der Schädlingsbekämpfung.

Im 20. Jahrhundert brachten chemische Substanzen wie DDT durchschlagende Erfolge bei der Bekämpfung von Schadinsekten, schädigten gleichzeitig aber auch höher entwickelte Tiere wie Vögel und Säuger sowie ganze Lebensgemeinschaften. Das 1962 erschienene Buch «Der stumme Frühling» von Rachel Carson beschreibt diese Zusammenhänge. Es gilt als Geburtsstunde der modernen Umweltbewegung.

Insekten haben die Menschheit also tiefgreifend beeinflusst – und umgekehrt. Diese Schicksalsgemeinschaft wird auch in Zukunft bestehen. Mit der Zerstörung der Lebensräume, dem großflächigen Ausbringen von Insektengiften und anderen Chemikalien in der industriellen Landwirtschaft und dem vom Mensch verursachten Klimawandel ist dieser im Begriff, die natürliche Insektenvielfalt nachhaltig zu schädigen. Die Folgen für ihn selbst sind womöglich gravierend, einerseits wegen der sehr bedeutenden Rolle der Insekten in vielen Ökosystemen, andererseits wegen des Verlusts an noch unbekannten Substanzen und biologischen Eigenschaften der Gliederfüßer, die sich künftige Generationen zunutze machen könnten. Das leckere Honigbrot ist da sicherlich erst der Anfang.

Verzeichnisse

LITERATUR
UND
ABBILDUNGEN

Literatur

- AMELUNG, W., BLUME, H.-P., FLEIGE, H. et al. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. – Springer-Verlag.
- ANHALT, J. C., MOORMAN, T. B. & KOSKINEN, W. C. (2008): Degradation and sorption of imidacloprid in dissimilar surface and subsurface soils. – *Journal of Environmental Science and Health, Part. B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 43(3): 207–213.
- ANTHONY, M. A., BENDER, S. F. & VAN DER HEIJDEN, M. G. A. (2023): Enumerating soil biodiversity. – *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(33).
- ARZT, N., von HEBBERG, A., SHRESTHA, M. et al. (2023): Stehen bewirtschaftete Honigbienen und einheimische Wildbienen in Konkurrenz um Ressourcen? – *Naturschutz und Landschaftsplanung* 4/2023; <https://doi.org/10.1399/NuL.2023.04.02> (abgerufen am 30.03.2026).
- AUSTEN, K., MACLEAN, J., BALANZATEGUI, D. et al. (2022): Microplastic inclusion in birch tree roots. – *Science of the Total Environment* 808: 152085.
- BABIKOVA, Z., GILBERT, I., BRUCE, T. J. A. et al. (2013): Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. – *Ecology Letters*, 16(7): 835–843.
- BARDGETT, R. D., MOMMER, I. & VRIES, F. T. D. (2014): Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. – *Trends in Ecology & Evolution*, 29(12): 692–699.
- BAUCHHENß, J. (2004): Bodenfruchtbarkeit erhalten – Das Bodenleben schonen. – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 4. Aufl.: S. 10
- BAUMGARTEN, A., GEITNER, C. & HASLMAYR, H.-P. et al. (2014): Der Einfluss des Klimawandels auf die Pedosphäre. – Band 2, Kapitel 5.
- BAUMHAUER, R. (2023): Böden, Boden-erosion und Desertifikation. – *Die Physische Geographie Afrikas*. – Springer, Berlin, Heidelberg: 145–171.
- BERENDSEN, R. L., PIETERSE, C. M. J. & BAKKER, P. A. H. M. (2012): The rhizosphere microbiome and plant health. – *Trends in Plant Science*, 17(8): 478–486.
- BERNER, A., BÖHM, H., BRANDHUBER, R. et al. (2013): Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit – Die Beziehung zum Boden gestalten.
- BERTLING, J., ZIMMERMANN, T. & RÖDIG, L. (2021): Kunststoffe in der Umwelt: Emissionen in landwirtschaftlich genutzte Böden. – Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen: 220 S.
- BERTLING, J., ZIMMERMANN, T. & RÖDIG, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik.
- BFR (= BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, 2023): Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS). – Veröffentlichung des Vorschlags zur Beschränkung nach der REACH-Verordnung bei der Europäischen Chemikalienbehörde, aktualisierte Mitteilung 008 des BFR vom 07.02.2023.
- BLAKEMORE, R. (2018): Critical Decline of Earthworms from Organic Origins under Intensive, Humic SOM-Depleting Agriculture. – *Soil Systems* 2(2); <https://doi.org/10.3390/soilsystems2020033> (abgerufen am 30.03.2026).
- BLOUIN, M., HODSON, M. E., DELGADO, E. A. et al. (2013): A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. – *Scientific Reports*, 3(1): 1–12.
- BLUM, W. E. H. & SCHAD, P. (2024): Bodenkunde in Stichworten. – Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, ISBN: 978-3-44303-122-0.
- BLUME, H.-P., STAHR, K. & LEINWEBER, P. (2010): Bodenkundliches Praktikum. – Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- BLUME, H.-P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und -belastung – Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. – Ecomed.

- BMUB (= BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTOR-SICHERHEIT; 2015): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt – Kabinettsbeschluss vom 07.11.2007. – 4. Auflage, Publikationsversand der Bundesregierung; www.bmuv.de/themen/naturschutz/all-gemeines-/strategien/nationale-strategie (abgerufen am 30.03.2026).
- BMUV (= BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ; 2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. – Kabinettsbeschluss vom 29.03.2023.
- BOCKHOLT, K. (2017): Mykorrhiza: Was bringen Bodenhilfsstoffe? – www.agrarheute.com/pflanze/mais/mykorrhiza-bringen-bodenhilfsstoffe-534163 (abgerufen am 30.03.2026).
- BÖHLMANN, D. (1982): Ökophysiologisches Praktikum – Grundlagen des Pflanzenwachstums. – Parey.
- BOUCHON, D., ZIMMER, M. & DITTMER, J. (2016): The terrestrial isopod microbiome: an all-in-one toolbox for animal-microbe interactions of ecological relevance. – *Frontiers in microbiology*, 2016, 7. Jg.: S. 1.472
- BRAUNS, A. (1968): Praktische Bodenbiologie. – Verlag G. Fischer, Stuttgart; <https://doi.org/10.1002/jpln.19681200309> (abgerufen am 30.03.2026).
- BRÜHL, C. A., ENGELHARD, N. & BAKANOV, N. (2024): Widespread contamination of soils and vegetation with current use pesticide residues along altitudinal gradients in a European Alpine valley. – *Communications Earth & Environment*, 5(1): 1–9.
- BRUSSAARD, L. (1997): Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. – *Ambio*, 26(8): 563–570.
- BUCK, R. C., KORZENIOWSKI, S. H., LAGANIS, E. et al. (2021): Identification and classification of commercially relevant per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS). – *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(5): 1045–1055.
- BÜNEMANN, E. K., SCHWENKE, G. D. & ZWIETEN, L. (2006): Impact of agricultural inputs on soil organisms – a review. – *Soil Research*, 44(4): 379–406.
- CAMPBELL, N. A. (1997): *Biologie 1997*. – Heidelberg-Berlin-Oxford: S. 786.
- CESSNA, A. J., WOLF, T. M., STEPHENSON, G. R. et al. (2005): Pesticide movement to field margins: routes, impacts and mitigation – Field boundary habitats: implications for weed. – *Insect and Disease Management*, 1: 69–112.
- CHEMNITZ, C. & WEIGELT, J. (2015): Bodenpolitik: Mehr als ein Vehikel. – In: *Bodenatlas, Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Heinrich-Böll-Stiftung, IASS, BUND, Le Monde diplomatique: 42–43.
- CHI, M. T. H. & WYLIE, R. (2014): The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes – *Educational Psychologist*, 49(4): 219–243; <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823> (abgerufen am 30.03.2026).
- CHOUDHARY, P., GOSWAMI, S. & SINGH, V. (2018): Harmful effects of fungicides: current status. – *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*: 1011–1019.
- CHRISTIAN, E. & ZICSI, A. (1999): Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae). – *Die Bodenkultur Band 50 Heft 2*: 121–131; <https://diebodenkultur.boku.ac.at/volltexte/band-50/heft-2/christian.pdf> (abgerufen am 30.03.2026).
- CIAIS, P., SABINE, C., BALA, G. et al. (2013): Carbon and Other Biogeochemical Cycles. – Working Group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: 465–570.
- CITIZENS FORESTS E. V. (2024.): *Citizens Forests – Bäume pflanzen, um den Klimawandel zu stoppen*. – www.citizens-forests.org (abgerufen am 30.03.2026).
- CLEARWATER, R. L., MARTIN, T. & HOPPE, T. (2016): Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Agri-Environmental Indicator Report Series. – Report 4: S. 161.
- COLE, L., DROMPH, K. M., BOAGLIO, V. et al. (2004): Effect of density and species richness of soil mesofauna on nutrient mineralisation and plant growth. – *Biology and Fertility of Soils*, 39(5): 337–343.

- COX, P. M., BETTS, R. A., JONES, C. D. et al. (2000): Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. – *Nature*, 408(6809): 184–187.
- CRESSWELL, J. E. (2011): A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. – *Ecotoxicology* (London, England), 20(1): 149–157.
- DARWIN, C. (1881): Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Würmer.
- DIRZO, R., YOUNG, H., GALETTI, M. et al. (2014): Defaunation in the Anthropocene. – *Science* (New York), 345. 401–6. 10.1126/science.1251817.
- DOLTRA, J., GALLEJONES, P., OLESEN, J. E. et al. (2019): Simulating soil fertility management effects on crop yield and soil nitrogen dynamics in field trials under organic farming in Europe. – *Field Crops Research*, 233: 1–11.
- DOUGLAS, M. R., ROHR, J. R. & TOOKER, J. F. (2015): Neonicotinoid insecticide travels through a soil food chain, disrupting biological control of non-target pests and decreasing soya bean yield. – *Journal of Applied Ecology*, 52(1): 250–260.
- DRÖSLER, M., FREIBAUER, A. & ADELMANN, W. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis: Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt «Klimaschutz – Moornutzungsstrategien» 2006–2010. – Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- EISENHAEUER, N., LANOUE, A., STRECKER, T. et al. (2017): Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. – *Scientific Reports*, 7(1): S. 44641.
- ESPARTERO, L., YAMADA, M., FORD, J. et al. (2022): Health-related toxicity of emerging per- and polyfluoroalkyl substances: Comparison to legacy PFOS and PFOA. – *Environmental Research*, 212: S. 113431.
- FENNER, K., CANONICA, S., WACKETT, L. P. et al. (2013): Evaluating Pesticide Degradation in the Environment: Blind Spots and Emerging Opportunities. – *Science*, 341(6147): 752–758.
- FiBL (= FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU): Regenwürmer – Baumeister fruchtbarer Böden. – www.fibll.org/fileadmin/documents/shop/1610-regenwuermmer.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- FLESSA, H., DON, A. & JACOBS, A. (2019): Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. – www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00075670 (abgerufen am 30.03.2026).
- FUCHS, G. (2021): Allgemeine Mikrobiologie von Georg Fuchs. – 11. Auflage, ISBN 978-3-13-243477-6, Thieme.
- GARIBALDI, L., STEFFAN-DEWENTER, I., WINFREE, R. et al. (2013): Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. – *Science Magazine Online*; www.science.org/doi/10.1126/science.1230200 (abgerufen am 30.03.2026).
- GEISEN, S., BRIONES, M. J. I., GAN, H. et al. (2019): A methodological framework to embrace soil biodiversity. – *Soil Biology and Biochemistry*, 136: S. 107536.
- GERKE, J. (2022): The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage – Soil Systems. – *Soil Fertility Management, Mitigating GHG Emissions and Sustainable Agriculture*.
- GERL, T. (2023): Einheimisch oder asiatisch? Die Populationsdichte von Marienkäfer-Arten auf dem Schulhof untersuchen. – *Unterricht Biologie*, 47 (485): 22–26.
- GERL, T. & AUFLEGER, M. (2022): Artenkenntnis – ein Fall für die Rote Liste? – *Unterricht Biologie*, 46 (473): 2–9.
- GERL, T., MAIR, L. & AUFLEGER, M. (2020): Bestimmungsmethoden 4.0: Mit digitalen Tools die Artenkenntnis erweitern. – *Unterricht Biologie*, 44(453): 44–47.
- GISI, U., SCHENKER, R. & SCHULIN, R. (1997): Bodenökologie. – Thieme, Stuttgart.
- GLÜGE, J., SCHERINGER, M. T., COUSINS, I. et al. (2020): An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). – *Science: Processes & Impacts*, 22(12): 2345–2373.

- GOULSON, D. (2013): An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. – *Journal of Applied Ecology*, 50(4): 977–987.
- GOULSON, D. (2022): *Stumme Erde*. – Hanser Verlag.
- GRÜNEBERG, E., RIEK, W., SCHÖNING, I. et al. (2017): Das Kohlenstoffspeichervermögen von Waldböden. – *AFZ-Wald*, 72: 23–25.
- GUNTERN, J. (2021): Pestizide: Auswirkungen auf Umwelt, Biodiversität und Ökosystemleistungen.
- HAGE-AHMED, K., ROSNER, K. & STEINKELLNER, S. (2019): Arbuscular mycorrhizal fungi and their response to pesticides. – *Pest Management Science*, 75(3): 583–590.
- HALLMANN, C. A., SORG, M., JONGEJANS, E. et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. – *PLoS ONE* 12(10): e0185809; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809> (abgerufen am 30.03.2026).
- HARTMANN, M. & SIX, J. (2023): Soil structure and microbiome functions in agro-ecosystems. – *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1): 4–18.
- HATFIELD, J. L., CRUSE, R. M. & TOMER, T. D. (2013): Convergence of agricultural intensification and climate change in the Midwestern United States: implications for soil and water conservation. – *Marine and Freshwater Research*, 64(5): 423–435.
- HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG, BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND & LE MONDE DIPLOMATIQUE (2020): *Insektenatlas – Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft*. – 2. Auflage, ISBN: 978-3-86928-215-2: 52 S.; www.boell.de/de/insektenatlas (abgerufen am 30.03.2026).
- HENRY, M., BÉGUIN, M. & REQUIER, F. et al. (2012): A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. – *Science*, 336(6079): 348–350.
- HEß, D. (2020): Stoffwechsel. – In: *Pflanzenphysiologie*, 11. Auflage, Ulmer: 87–200.
- HSWT (= HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIEDORF: Forschungseinrichtung PSC): *Die Moore erforschen, schützen und entwickeln*. – www.hswt.de/forschung/forschungseinrichtungen/institut-fuer-oekologie-und-landschaft/peatland-science-centre#c8487 (abgerufen am 30.03.2026).
- HUERTA, I., ESPERANZA, G., HENNIE, G. et al. (2016): Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). – *Environmental Science & Technology*, 50(5): 2685–2691.
- HUMANN-GUILLEMINOT, S., BINKOWSKI, Ł. J., JENNI, L. et al. (2019): A nation-wide survey of neonicotinoid insecticides in agricultural land with implications for agri-environment schemes. – *Journal of Applied Ecology*, Wiley Online Library.
- HUMBOLDT-UNIVERSITÄT BERLIN: CARLOS-CARbon Learning Online System: Methoden der Kohlenstoffmessung im Gelände und im Labor. – www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/carlos/B01haubenmessung.html (abgerufen am 30.03.2026).
- HUSEMANN, M. et al. (2022): *Facettenreiche Insekten – Vielfalt, Gefährdung, Schutz*. – Haupt Verlag, Bern: 270 S.
- HUSSON, O. (2013): Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. – *Plant and Soil*, 362(1): 389–417.
- IUCN (= INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE, 2022): *European Hoverflies: Moving from Assessment to Conservation Planning – A report to the European Commission by the IUCN SSC Conservation Planning Specialist Group (CPSG) and the IUCN SSC Hoverfly Specialist Group (HSG)*. – Conservation Planning Specialist Group, Apple Valley, MN, USA; www.cpsg.org/sites/default/files/2024-05/European%2520Hoverflies%2520Moving%2520from%2520Assessment%2520to%2520Conservation%2520Planning.pdf (abgerufen am 30.03.2026).

- JÄNSCH, S., FRAMPTON, G. K. & RÖMBKE, J. (2006): Effects of pesticides on soil invertebrates in model ecosystem and field studies: A review and comparison with laboratory toxicity data. – *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(9): 2490–2501.
- JESCHKE, P., NAUEN, R., SCHINDLER, M. et al. (2011): Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7): 2897–2908.
- KERNEY, M. P., CAMERON, R. A. D. & JUNGBLUTH, J. H. (1983): Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas. – Parey.
- KÖHLER, G. (2022): Müller/Bährmann Bestimmung wirbelloser Tiere.
- KOPATZ, V., WEN, K., KOVÁCS, T. et al. (2023): Micro- and Nanoplastics Breach the Blood-Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona's Role Revealed. – *Nanomaterials*, 13(8): S. 1404.
- KREUTER, T. & NITZSCHE, O. (2004): Bedeutet pfluglose Bodenbearbeitung gleichzeitig Förderung der Biodiversität? – *Landwirtschaftlicher Bodenschutz, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft*.
- KRUPKE, C. H., HUNT, G. J. & EITZER, B. D. (2012): Multiple Routes of Pesticide Exposure for Honey Bees Living Near Agricultural Fields. – *PLoS ONE*, 7(1).
- LAL, R. (2015): Klima: Der große Kohlen-speicher. – *Bodenatlas – Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Heinrich-Böll-Stiftung, Institute for Advanced Sustainability Studies, Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland und Le Monde diplomatique (Hrsg.).
- LEHRERFORTBILDUNG BADEN-WÜRTTEMBERG; www.lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bnt/gym/bp2016/fb2/2_mat/1_recycling/2_destruent/1_hinweise/ (abgerufen am 30.03.2026).
- LEIFELD, J. & MENICETTI, L. (2018): The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. – *Nature Communications*, 9(1): S. 1071.
- LESLIE, H. A., VAN VELZEN, M. J. M., BRANDSMA, S. H. et al. (2022): Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. – *Environment International* 163: 107199.
- LFL (= BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2023): Bodenerosion, Bodenverdichtung, Bodenwasserhaushalt. – www.lfl.bayern.de/bodenerosion (abgerufen am 30.03.2026).
- LFL (= BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT – INSTITUT FÜR PFLANZENSCHUTZ, 2020): Information zum Wirkstoff Glyphosat. – www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/189964/index.php (abgerufen am 30.03.2026).
- LI, L., LUO, Y., LI, R. et al. (2020): Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. – *Nature Sustainability* 3: 929–937.
- LI, L., ZHOU, Q. & YIN, N. (2019): Uptake and accumulation of microplastics in an edible plant. – *Chinese Science Bulletin*, 64(9): 928–934.
- LI, S., WANG, Z. & STUTZ, H. H. (2023): State-of-the-art review on plant-based solutions for soil improvement. – *Biogeotechnics*, 1(3): S. 100035.
- LIBOHOVA, Z., SEYBOLD, C., WYSOCKI, D. et al. (2018): Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. – *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(4): 411–421.
- LIEDTKE, C. (2020): Der größte Organismus. – Helmholtz Institut; www.helmholtz.de/newsroom/artikel/der-groesste-organismus/ (abgerufen am 30.03.2026).
- LYMBERY, P. (2015): Futtermittel: Viel Land für viel Vieh. – *Bodenatlas – Daten und Fakten über Acker, Land und Erde*, Heinrich-Böll-Stiftung, Institute for Advanced Sustainability Studies, Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland und Le Monde diplomatique (Hrsg.); www.boell.de/de/2015/01/08/futtermittel-viel-land-fuer-viel-vieh (abgerufen am 30.03.2026).

- MARTÍNEZ-GARCÍA, L. B., DE DEYN, G. B., PUGNAIRE, F. I. et al. (2017): Symbiotic soil fungi enhance ecosystem resilience to climate change. – *Global Change Biology*, 23(12): 5228–5236.
- MARZARO, M., VIVAN, L., TARGA, A. et al. (2011): Lethal aerial powdering of honey bees with neonicotinoids from fragments of maize seed coat. – *Bulletin of Insectology*, 64: 119–126.
- MEDWEDSKI, S. (2022): Die Stimme des Bodens: Alles über unseren sonst so stillen Nachbarn. – Springer, Berlin, Heidelberg.
- MENSCHING, H. (1990): Desertifikation: Ein weltweites Problem der ökologischen Verwüstung in den Trockengebieten. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- MOMMAERTS, V., REYNDERS, S., BOULET, J. et al. (2010): Risk assessment for side-effects of neonicotinoids against bumblebees with and without impairing foraging behavior. – *Ecotoxicology*, London, 19(1): 207–215.
- MÜLLER, E. (2006): Zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf ausgewählte Elemente – www.boden.sachsen.de/download/Zum_Einfluss_der_Bodenbearbeitung_auf_ausgewaehlte_Elemente_des_Bodenlebens.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- MÜLLER, J., HOTHORN, T., YUAN, Y. et al. (2024): Witterung und Witterungsanomalien erklären den Rückgang und Anstieg der Insektenbiomasse in Deutschland über 34 Jahre. – *Anliegen Natur* 46(1): 41–44, Laufen; <https://doi.org/10.63653/bbdi0396>
- NESTROY, O., AUST, G., BLUM, W. E. H. et al. (2011): Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. – In: JOISTEN, H. et al.: Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. – Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- NETTLES, R., WATKINS, J., RICKS, K. et al. (2016): Influence of pesticide seed treatments on rhizosphere fungal and bacterial communities and leaf fungal endophyte communities in maize and soybean. – *Applied Soil Ecology*, 102: 61–69.
- NICKL, T. (2021): Biologie 9. Klasse im LehrplanPLUS. – Biodiversität bei Wirbellosen – Variabilität und Anpasstheit. – 30 S.; www.bio-nickl.de/wordpress/wp-content/uploads/2021/08/DM_B9_Didaktik_LP_04_Wirbellose_N1.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- NIGGLI, C. (2010): Biodiversität und Klimafarming – Pilze als Partner: Mykorrhiza im Weinbau. – *Journal für Ökologie, Weinbau und Klimafarming*.
- NYFFELER, M. & BIRKHOFFER, K. (2017): An estimated 400–800 million tons of prey are annually killed by the global spider community. – *The Science of Nature* 104: 1–30; <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1440-1>.
- OECD (= ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2018): Toward a New Comprehensive Global Database of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (pfass): Summary Report on Updating the OECD 2007 List of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (pfass) ENV/JM/MONO7. – Series on Risk Management.
- OLLERTON, J., PRICE, V., SCOTT ARMBRUSTER, W. et al. (2012): Overplaying the role of honey bees as pollinators: a comment on AEBI and NEUMANN (2011). – *Trends in Ecology & Evolution* 27(3): 141–142; www.cell.com/trends/ecology-evolution/home (abgerufen am 30.03.2026).
- PAUL, E. & FREY, S. (2023): *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (5th edition). – Elsevier.
- PEREIRA, P., BOGUNOVIC, I., MUÑOZ-ROJAS, M. et al. (2018): Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. – *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5: 7–13.
- PÉREZ-MORENO, J., GUERIN-LAGUETTE, A., RINALDI, A. C. et al. (2021): Edible mycorrhizal fungi of the world: What is their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change? – *Plants, People, Planet*, 3(5): 471–490.
- PIMENTEL, D. (2006): Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. – *Environment, Development and Sustainability*, 8(1): 119–137.

- PLAAS, E., MEYER-WOLFARTH, F., BANSE, M. et al. (2019): Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. – *Ecological Economics*, 159: 291–300.
- POWLSON, D. S., BHOGAL, A., CHAMBERS, B. J. et al. (2012): The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: A case study. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1): 23–33.
- PRASAD, S., MALAV, L. C., CHOUDHARY, J. et al. (2021): Soil Microbiomes for Healthy Nutrient Recycling. – In: *Current Trends in Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture*. – Springer, Singapore: 1–21.
- PUHLMANN, H. (2023): Waldböden und ihre Wirkung auf den Wasserhaushalt. – *Wasserwirtschaft*, 113(11): 16–19.
- RADER, R., BARTOMEUS, I., GARIBALDI, L. A. et al. (2016): Non-bee crop pollination. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 146–151; www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.1517092112 (abgerufen am 30.03.2026).
- REHM, R. & FIENER, P. (2020): Der unsichtbare Plastikmüll – Wie viel Mikroplastik steckt in unseren Böden? – *Geographische Rundschau* 7/8.
- RIAH, W., LAVAL, K., LAROCHE-AJZENBERG, E. et al. (2014): Effects of pesticides on soil enzymes: a review. – *Environmental Chemistry Letters*, 12(2): 257–273.
- RIEDO, J., WETTSTEIN, F. E., RÖSCH, A. et al. (2021): Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils – the Ghost of a Conventional Agricultural Past? – *Environmental Science & Technology*, 55(5): 2919–2928.
- RILLIG, M. C., ZIERSCH, L. & HEMPEL, S. (2017): Microplastic transport in soil by earthworms. – *Scientific Reports*, 7(1): S. 1362.
- RÖHLER, K., HALUSKA, A. A., SUSSET, B. et al. (2021): Long-term behavior of PFAS in contaminated agricultural soils in Germany. – *Journal of Contaminant Hydrology*, 241: S. 103812.
- ROMANÍ, A. M., FISCHER, H. & MILLE-LINDBLOM, C. (2006): Interactions of Bacteria and Fungi on Decomposing Litter: Differential Extracellular Enzyme Activities. – *Ecology*, 87(10): 2559–2569.
- ROSE, M. T., CAVAGNARO, T. R., SCANLAN, C. A. et al. (2016): Impact of Herbicides on Soil Biology and Function. – In: SPARKS, D. L. (Hrsg.): *Advances in Agronomy*, Bd. 136, Academic Press: 133–220.
- SABATIER, P., POULENARD, J., FANGET, B. et al. (2014): Long-term relationships among pesticide applications, mobility, and soil erosion in a vineyard watershed. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(44): 15647–15652.
- SÁNCHEZ-BAYO, F. & WYCKHUYS, K. (2019): Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. – *Biological Conservation*: 232. 10.1016/j.biocon.2019.01.020.
- SASSE, J., MARTINOIA, E. & NORTHERN, T. (2018): Feed Your Friends: Do Plant Exudates Shape the Root Microbiome? – *Trends in Plant Science*, 23(1): 25–41.
- SÄUMEL, I. (2011): Schadstoffe im Stadtgemüse. – In: RASPER, M. (Hrsg.): *Vom Gärtnern in der Stadt. Die neue Landlust zwischen Beton und Asphalt*. – Oekom Verlag, München: 96–97.
- SÄUMEL, I., KOTSYUKA, I., HÖLSCHER, M. et al. (2012): How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. – *Environmental Pollution* 165: 124–132.
- SCHMIDT, W., STAHL, H., NITZSCHE, O. et al. (2001): Konservierende Bodenbearbeitung – die zentrale Maßnahme eines vorbeugenden und nachhaltigen Bodenschutzes. – *Mitteilung Deutscher Bodenkundlicher Gesellschaft*: 771–772.
- SCHROEDER, T., BOND, D. & FOLEY, J. (2021): PFAS soil and groundwater contamination via industrial airborne emission and land deposition in SW Vermont and Eastern New York State, USA. – *The Royal Society of Chemistry: Environmental Science: Processes & Impacts* 23(2): 291–301.
- SCHRUMPF, M. & TRUMBORE, S. (2021): Unser wichtigster Kohlenstoffspeicher: Wie der Boden als dünne Haut der Erde globale Stoffkreisläufe und das Klima beeinflusst. – *Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften*.

- SCHWAAB, J., DAVIN, E. L., BEBI, P. et al. (2020): Increasing the broad-leaved tree fraction in European forests mitigates hot temperature extremes. – *Scientific Reports*, 10(1): S. 14153.
- SCHWARZER, S. & SCHEUB, U. (2023): Aufbäumen gegen die Dürre. – Oekom Verlag.
- SCHWEIZER BAUERNVERBAND (2018): FOKUS – Warum unsere Nutzpflanzen Schutz brauchen. – www.sbv-usp.ch/de/schlagworte/pflanzenschutz (abgerufen am 30.03.2026).
- SEIFERT, B. (2018): The Ants of Central and North Europe. – Lutra Verlag, Boxberg.
- SEIBOLD, S., GOSSNER, M. M., SIMONS, N. K. et al. (2019): Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. – *Nature* 574: 671–674; www.nature.com/articles/s41586-019-1684-3?app=true (abgerufen am 30.03.2026).
- SELIM, H., JEONG, J. & ELBANA, T. (2010): Transport of Imidacloprid in Soils: Miscible Displacement Experiments. – *Soil Science*, 175: S. 375–381.
- SILVERTOWN, J., COOK, L., CAMERON, R. et al. (2011): Citizen Science Reveals Unexpected Continental-Scale Evolutionary Change in a Model Organism. – *PLOS ONE* 6(4): e18927.
- SIX, J. (2012): Fungal friends against drought. – *Nature Climate Change*, 2(4): 234–235.
- SMITH, S. E. & READ, D. J. (2010): Mycorrhizal Symbiosis. – Academic Press.
- SOLAIMAN, Z. M. & MICKAN, B. (2014): Use of Mycorrhiza in Sustainable Agriculture and Land Restoration. – In: SOLAIMAN, Z. M., ABBOTT, L. K. & VARMA, A. (Hrsg.): Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration. – Springer, Berlin, Heidelberg: 1–15.
- SPARMANN, A. (2020): Insektensterben in Deutschland – abwärts im Trend. – In: Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland & Le Monde Diplomatie: Insektenatlas. – 16–17.
- SPEKTRUM-LEXIKON DER BIOLOGIE; www.spektrum.de/lexikon/biologie/bioturbation/8851 (abgerufen am 30.03.2026).
- STÄGER, F., ZOK, D., SCHILLER, A. et al. (2023): Disproportionately High Contributions of 60 Year Old Weapons-137Cs Explain the Persistence of Radioactive Contamination in Bavarian Wild Boars. – *Environ. Sci. Technol.* 57: 13601–13611.
- STÖCKL, K. & COLLING, M. (2017): Stille Ureinwohner Bayerns: Muscheln und Schnecken. – *Anliegen Natur* 39(2): 105–110; <https://doi.org/10.63653/sujs9535>.
- STOLL, J. (2020 a): Kunststoffe in Böden: Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen. – Umweltbundesamt (Hrsg.).
- STOLL, J. (2020 b): PFAS in den Polargebieten. – Umweltbundesamt (Hrsg.); www.umweltbundesamt.de/pfas-in-den-polargebieten (abgerufen am 30.03.2026).
- STROUD, J. L. (2019) Soil health pilot study in England: Outcomes from an on-farm earthworm survey. – *PLoS ONE* 14(2): e0203909; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203909> (abgerufen am 30.03.2026).
- SUR, R. & STORK, A. (2003): Uptake, translocation and metabolism of imidacloprid in plants. – *Bulletin of Insectology*, 56: 35–40.
- SWELLER, J. & CHANDLER, P. (1991) Evidence for cognitive load theory. – *Cognition and Instruction*, 8, 4.
- TRESCH, S., FREY, D., Le BAYON, R.-C. et al. (2019): Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. – *Science of The Total Environment*, 658: 1614–1629.
- TUBIELLO, F. N., BIANCALANI, R., SALVATORE, M. et al. (2016): A Worldwide Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Drained Organic Soils. – *Sustainability*, 8(4): S. 371.
- UBA (= UMWELTBUNDESAMT, 2020): Kunststoffe in Böden – Derzeitiger Kenntnisstand zu Einträgen und Wirkungen; www.umweltbundesamt.de/publikationen/kunststoffe-in-boeden (abgerufen am 30.03.2026).
- UBA (= UMWELTBUNDESAMT, 2024): Tiny Forests: von nachhaltiger Bildung zu klimaresilienten Städten; www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/tiny-forests-von-nachhaltiger-bildung-zu (abgerufen am 30.03.2026).

URL 1: UBA (= UMWELTBUNDESAMT, 2015): Weltweit gehen jährlich 10 Millionen Hektar Ackerfläche verloren (2015); www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/weltweit-gehen-jaehrlich-10-millionen-hektar (abgerufen am 30.03.2026).

URL 2: Handreichung Lernort Boden (2006); www.stmuv.bayern.de/themen/boden/lernort_boden/index.htm (abgerufen am 30.03.2026).

URL 3: BLE (= BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, 2022): Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz; www.ble-medienservice.de/3614-3-gute-fachliche-praxis-bodenbewirtschaftung-und-bodenschutz.html (abgerufen am 30.03.2026).

URL 4: BMEL (= BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, 2020): Ackerbohne, Erbse & Co. – Die Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft zur Förderung des Leguminosenanbaus in Deutschland; www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Pflanzenbau/EiweisspflanzenstrategieBMEL.html (abgerufen am 30.03.2026).

URL 5: AMT FÜR VERÖFFENTLICHUNG DER EUROPÄISCHEN UNION (Hrsg., 2021): EU-Bodenstrategie für 2030: Gesunde Böden für die Menschen und den Planeten; <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/870413/Factsheet%20on%20Soil%20strategy%20DE.pdf> (abgerufen am 30.03.2026).

URL 6: UBA (= UMWELTBUNDESAMT, 2023): Siedlungs- und Verkehrsfläche; www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche (abgerufen am 30.03.2026).

URL 7: Heinrich-Böll-Stiftung (2015): Bodenatlas; www.boell.de/sites/default/files/bodenatlas2015_iv.pdf (abgerufen am 30.03.2026).

URL 8: LFU (= LANDESAMT FÜR UMWELT, 2025): PFOA-Problematik im Raum Gendorf; www.lfu.bayern.de/altlasten/pfoa_gendorf/index.htm (abgerufen am 30.03.2026).

URL 9: INVESTIGATE EUROPE (2022): Frans Timmermans Vizepräsident der EU-Kommission: Ohne Reduktion des Pestizideinsatzes droht Europa eine Lebensmittelkrise; www.investigate-europe.eu/de/posts/frans-timmermans-interview-pestizide (abgerufen am 30.03.2026).

URL 10: LFL (= LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2014): Leitfaden für Grund- und Oberflächenwasserschutz. – Blaues Heft, Stand 2024; www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/grund-und-oberflaechengewaesserschutz_lfl-information.pdf (abgerufen am 30.03.2026).

VAN GESTEL, C. A. M. & LOUREIRO, S. (2018): Terrestrial isopods as model organisms in soil ecotoxicology: a review. – ZooKeys, 801: 127–162.

VAN HOESSEL, W., TIEFENBACHER, A., KÖNIG, N. et al. (2017): Single and Combined Effects of Pesticide Seed Dressings and Herbicides on Earthworms, Soil Microorganisms, and Litter Decomposition. – Frontiers in Plant Science, 8.

VETTER, F. (1996): Regenwurm-Führer zur Sonderausstellung. – Veröff. Naturmuseum Luzern Nr. 8: 48 S.

VHE (= VERBAND DER HUMUS- UND ERDENWIRTSCHAFT E. V., 2020): Humusaufbau – Der Landwirt als Klimawirt. – HuMussLAND, 7; https://vhe.de/wp-content/uploads/2022/06/3-VHE_HuMussLAND_2020_Online.pdf (abgerufen am 30.03.2026).

VICARELLI, M., SUDMEIER-RIEUX, K., ALSADADI, A. et al. (2024): On the cost-effectiveness of Nature-based Solutions for reducing disaster risk. – Science of The Total Environment, 947: S. 174524.

VITOUSEK, P. M., MENGE, D. N. L., REED, S. C. et al. (2013): Biological nitrogen fixation: rates, patterns and ecological controls in terrestrial ecosystems – Philosophical Transactions of the Royal Society B. – Biological Sciences, 368(1621): S. 20130119.

WAKSMAN, S. A. (1930): Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum.

- WALKER, T. (2024): Zukunftsstrategie Wasser und Boden. – Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.); https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/Zukunftsstrategie-Wasser-und-Boden.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- WALSER, M., KÖCHLI, R., WALTHER, L. et al. (2021): Den Waldboden verstehen – Vielfalt und Funktion der Waldböden in der Schweiz. – Merkblatt Praxis.
- WALTER, R. & BURMEISTER, J. (2022): 35 Jahre Bodendauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern, Band 5: Regenwürmer. – LfL (Hrsg.).
- WALTER, R., BURMEISTER, J. & BRANDHUBER, B. (2015): Regenwürmer – aktuelle Gefahren und positive Entwicklungen in landwirtschaftlich genutzten Böden. – In: BMEL UND LfL (Hrsg.): Fachtagung: «Jahr des Bodens» – Schwere Maschinen, enge Fruchtfolgen, Gärreste – eine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit. – 13. Kulturlandschaftstag, Tagungsband; www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/jahr-des-bodens-2015_tagung_tagungsband.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- WIESE, V. (2016): Die Landschnecken Deutschlands: Finden – Erkennen – Bestimmen. – 2. Aufl., Quelle & Meyer Verlag.
- WIKIPEDIA: Bioturbation; <https://de.wikipedia.org/wiki/Bioturbation> (abgerufen am 30.03.2026).
- WILPERT, K. (2001): Waldböden – Grundlage für die Multifunktionalität von Wäldern; www.waldwissen.net/assets/wald/boden/fva_waldboden_multifunktion/download/fva_waldboden_multifunktion.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- WWF DEUTSCHLAND (= WORLD WIDE FUND FOR NATURE, Hrsg., 2016): Das Regenwurm-manifest. – Broschüre: 15 S.; www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Regenwurm-Manifest.pdf (abgerufen am 30.03.2026).
- YANG, E. C., CHUANG, Y. C., CHEN, Y. L. et al. (2008): Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). – Journal of Economic Entomology, 101(6): 1743–1748.
- YIN, R., SIEBERT, J., EISENHAEUER, N. et al. (2020): Climate change and intensive land use reduce soil animal biomass via dissimilar pathways. – Elife, 9: S. E54749.
- ZEHNER, S. & GÖTTFERT, M. (2015): Knöllchenbakterien: Helfer der Landwirtschaft. – Biologie in unserer Zeit, 45(5): 296–302.
- ZENTRALE FÜR UNTERRICHTSMEDIEN IM UNTERRICHT E. V.; https://unterrichtenzum.de/wiki/Wir_erforschen_den_Boden/Wir_beobachten_den_Regenwurm_bei_der_W%C3%BChlarbeit (abgerufen am 20.11.2024)
- ZINGG, S., DOLLE, P., VOORDOUW, M. J. et al. (2018): The negative effect of wood ant presence on tick abundance. – Parasite Vectors 11(1): 164; <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2712-0>.
- ZWÖLFER, H. (2010): Lehrbuch der Entomologie. – In: DETTNER, K. & PETERS, W. (2010); Heidelberg: 499–519.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1

Pedosphäre als Schnittstelle von Bio-, Hydro-, Litho- und Atmosphäre (nach BÖHLMANN 1982).

Abbildung 2-2

Bildung von Ton-Humus-Komplexen durch Bodenorganismen (nach BÖHLMANN 1982)

Abbildung 2-3

Gegenüberstellung einer Einzelkornstruktur (zum Beispiel Sandboden) und einer Krümelstruktur (zum Beispiel Humus, Schwarzerde) bei gleicher Bodenmenge (nach BÖHLMANN 1982)

Abbildung 2-4

Kationenaustauschkapazität von Böden: Obere Zeile: Pufferung von pH-Wertänderungen; untere Zeile: Nährsalzaustausch. Allgemein gilt: Je größer die Kationenaustauschkapazität (KAK), desto größer ist die Pufferwirkung sowohl für Oxoniumionen als auch für Nährsalze (URL 2).

Abbildung 2-5

Bild von Wald und Acker – Bodenaufbau unter einem Wald und einem gepflügten Acker (nach BÖHLMANN 1982)

Abbildung 2-6

Vergleich verschiedener Bodenprofile auf Granitgestein (nach BÖHLMANN 1982)

Abbildung 2-7

Bodenentwicklung in Abhängigkeit vom Ausgangsgestein

Abbildung 2-8

Feinbodenartendiagramm (auch Korngrößen- oder Bodenartendreieck) mit Klassifikation des Feinbodens

Abbildung 2-9

Die Korngrößen bestimmen die Bodenart und damit die Eigenschaften des Bodens (URL 2).

Abbildung 2-10

Die elf wichtigsten Bodenfunktionen, FAO

Abbildung 2-11

Kohlenstoffkreislauf und Humusaufbau (nach BÖHLMANN 1992)

Abbildung 2-12

Offener, stark erosionsgefährdeter Boden. Aufgrund der starken Verdichtung kann das Wasser nicht versickern und wird gestaut. Das Bodenleben und damit die gesamten Ökosystemfunktionen des Bodens werden dabei stark geschädigt (Foto: Franziska Hanko).

Abbildung 2-13

Nährstoff- und Wasserreichweite mit und ohne Mykorrhizapilzen (verändert nach BOCKHOLT 2017)

Abbildung 2-14

Mykorrhizierte Wurzel (Foto: Simon Egli, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL)

Abbildung 2-15

Auswirkungen des Klimawandels und der Nutzungsintensität von Böden durch die Landbewirtschaftung auf die Bodenbiologie (modellerte Hochrechnung für 2070 bis 2100; YIN et al. 2020; Grafik: Lisa Vogel/UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung).

Abbildung 2-16

Mikroplastik im Boden: Eine Einschätzung der Methodik, des Vorkommens, der Gründe und der potentiellen Risiken (nach YANG et al. 2008).

Abbildung 2-17

Auswirkungen von Pestiziden auf die Ökosysteme – schematische Darstellung nach GUNTERN (2021).

Abbildung 2-18

Ausbreitungswege von Pestiziden – Grafik nach CLEARWATER et al. (2016); Quelle: CESSNA et al. (2005)

Abbildung 2-19

Aufbau und Unterscheidungsmerkmale der Humusformen Mull, Moder und Rohhumus (nach «Handreichung Lernort Boden» 2006); vereinfachte Beschriftung mit Ol: Streu, Of: Auflagehumus, Ah: humoser Oberboden)

QR-Code 3-1

YouTube-Video:
(www.onezoom.org/life/@Arthropoda)

Tabelle 3-2

Artenvielfalt der Wirbellosen in Deutschland in Zahlen, Reihung nach Artenzahlen (nach HUSEMANN et al. 2022, ergänzt).

Abbildung 3-3

Wirbellose erfüllen zentrale Funktionen in Ökosystemen. Eine Reihe von Arten können jedoch für Kulturpflanzen schädlich sein oder Gesundheitsgefahren für Mensch und Nutztiere bergen. Bedeutende Gegenspieler sind in vielen Fällen räuberische Wirbellose, die eine regulierende Funktion haben (Grafik nach Josephine Jedicke; Quelle: www.lfu.bayern.de/natur/bayaz/artenschutz_tiere/insekten/index.htm).

Abbildungen 3-4 und 3-5

Insekten bestäuben Blütenpflanzen auf der Suche nach Nahrung. Blüten und Insekten haben sich deshalb im Laufe der Evolution aneinander angepasst. So erreicht beispielsweise das Taubenschwänzchen (*Macroglossum stellatarum*) mit seinem langen Saugrüssel den Nektar in tiefen Blütenröhren (links; Foto: Jerzy Strzelecki), während die offenen Scheibenblüten des Wiesen-Bärenklaus (*Heracleum sphondylium*) gerne von Fliegen und Käfern mit kurzen Mundwerkzeugen besucht werden (rechts; Foto: Andreas Zehm).

Abbildungen 3-6, 3-7 und 3-8

Neben der Honigbiene (Abbildung 3-6: *Apis mellifera*; Foto: Jürgen Tautz) sind viele weitere Insekten, wie die auch bei schlechtem Wetter fliegenden Hummeln (Abbildung 3-7; Foto: Josef Limberger) oder Schwebfliegen (Abbildung 3-8; Foto: Roland Günter), wichtige Bestäuber.

Abbildung 3-9

Anteil verschiedener Insektengruppen an Blütenbesuchen auf Nutzpflanzen. Die Beispiele zeigen, dass die Bedeutung der Honigbiene als Bestäuber der Nutzpflanzen gegenüber anderen Bestäubern wie Wildbienen, Fliegen oder Käfern oft überschätzt wird (nach RADER et al. 2016).

Abbildung 3-10

Im artenreichen Grünland macht im Spätsommer der Morgentau die hohe Spinnendichte mit einer Vielzahl kunstvoll gewebter Fangnetze sichtbar (Foto: Peter Sturm).

Abbildung 3-11

Die Wespenspinne (*Argiope bruennichi*) zählt mit ihrer auffälligen Zeichnung zu den bekanntesten Spinnenarten (Foto: Roland Günter).

Abbildung 3-12

Die Hauptnahrung von Marienkäfern (*Coccinella septempunctata*) sind Blattläuse (Foto: Herwig Winter)

Abbildung 3-13

Graue Fleischfliege (*Sarcophaga spec.*; Foto: Seaq68/Pixabay)

Abbildung 3-14

Der bis über 30 cm lange Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) gräbt bis zu drei Meter tiefe Gänge und zieht seine Nahrung aus noch nicht stark verwerten Pflanzenteilen in seine Wohnröhren, um diese dort zu verdauen (Foto: Johannes Bauchhenß).

Abbildung B 1-1

Die verschiedenen Bodenproben lassen sich auch lange aufbewahren, da es in diesem Modul weniger um die Bodenbiologie, sondern um die chemisch-physikalischen Eigenschaften geht (Foto: Florian Bernhard).

Abbildung B 1-2

Verschiedene Microscale-Aufbauten zur Wasserhaltefähigkeit beziehungsweise Filterfunktion von Böden; vorne links: Wasserfarbensuspension; sehr verdünnte Methylenblaulösung ($w < 0,1 \%$; Foto: Florian Bernhard)

Abbildung B 1-3

Korngrößendreieck (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 1-4

Abbau von Schadstoffen im Boden (aus: Lernort Boden)

Abbildungen B 1-5 bis B 1-8

Deckel mit Nagel durchgebohrt, Flasche ohne Boden kopfüber im Stativ mit verschiedenen Bodenhorizonten befüllt (Fotos: Franziska Hanko)

Abbildungen B 1-9 bis B 1-13

Versuchsaufbau Microscale-Variante (Fotos: Florian Bernhard)

Abbildungen B 1-14 und B 1-15

Vergleich der Wasserspeicherkapazität verschiedener Böden (Fotos: Franziska Hanko)

Abbildung B 1-16

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

Abbildung B 1-17

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

Abbildungen B 1-18 bis B 1-20

Versuchsaufbau Microscale-Variante: Wasserspeicherfunktion (Fotos: Florian Bernhard)

Abbildungen B 1-21 bis B 1-24

Schlammprobe (Fotos: Franziska Hanko)

Abbildung B 1-25

Die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton im Größenvergleich. Unterschiedliche Korngrößen führen zu unterschiedlichen Porengrößen.

Abbildungen B 1-26 bis B 1-28

Versuchsaufbau Microscale-Variante: Schlammprobe (Fotos: Florian Bernhard)

Abbildungen B 1-29 und B 1-30

Verschiedene Bodenproben (von links: Ufersand, Lehm aus einer Grube, Gartenerde und lehmiger Boden) nach 24 Stunden

Abbildungen B 1-31 bis B 1-34

Versuchsaufbau Wasserversickerung (Fotos: Franziska Hanko)

Abbildung B 1-35

Korngrößendreieck (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 2-1 (oben)

Aufschluss mit Profilwand in einer Kiesgrube Bobingen (Foto: LfU Bayern)

Abbildung B 2-2 (unten)

Dauerhaft ausgestelltes Eiszeitbodenprofil (Foto: LfU Bayern)

QR-Code B 2-3

Übersicht bayerischer Bodenlehrpfade und Bodenstationen:

Das Modul kann an einem bestehenden Bodenprofil (**Arbeitsblatt B 2.1**) oder in kleinerem Maßstab anhand der Spatenprobe durchgeführt werden (**Arbeitsblatt B 2.3**). Die Fingerprobe (**Anlage B 2.2**) wird in beiden Varianten benötigt. (www.lfu.bayern.de/boden/bodenlehrpfade/index.htm)

QR-Code B 2-4

Verknüpfung zur Bodenkarte im BayernAtlas: (<https://v.bayern.de/5gd7F>)

Abbildung B 2.2-1

Anleitung der Fingerprobe

Abbildung B 2.3-1

Anleitung zur Durchführung einer Spatenprobe (Skizze: Hochschule Geisenheim)

Abbildung B 3.1-1

Zersetzungsstufen eines Blatts und wer daran beteiligt ist (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 3.1-2

Schematische Darstellung des Kaliumionen-Flusses (Abbildung: Martin Eiblmaier)

Abbildung B 3.1-3

Schematische Darstellung des Kaliumionen-Kreislaufs (Abbildung: Martin Eiblmaier)

Tabelle B 3.1-4

Anzahl der Individuen der jeweiligen Bodenorganismen (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 3.1-5

Wurzel mit Knöllchenbakterien (aus: Lernort Boden)

Tabelle B 3.1-6

Bedeutung der unterschiedlichen Nähr-elemente für Pflanzen (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 3.1-7

Totengräber-Käfer im Nationalpark Berchtesgaden (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung B 3.1-8

Symbiose von Pilz und Baum (aus: Lernort Boden)

QR-Code B 4-1

Projekt Bodentier⁴ (<https://bodentierhochvier.de>)

QR-Code B 4-2

Bodentier⁴ für iOS (<https://apps.apple.com/de/app/BODENTIER-hoch-4/id1558879327>)

QR-Code B 4-3

Bodentier⁴ für Android (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kbs.idoapp>)

Abbildung B 4.1-1 Durchschnittliche Masse und Anzahl von Bodenlebewesen

Abbildung B 4.2-1

Versuchsaufbau eines Berlese-Apparats (aus: Lernort Boden)

Abbildung B 4.5-1

Bestimmungsschlüssel gängiger Waldbodentiere (Abbildung nach LbV e.V.)

QR-Code B 5-1

Aktionshandbuch «Tiere live – lebende Tiere im Schulunterricht» (www.anl.bayern.de/publikationen/unterrichtsmaterial/index.htm)

Abbildungen B 5-2 bis B 5-7

Woche 1
Woche 2
Woche 3
Woche 4
Woche 5
Woche 6

Tabelle B 5.1-1

Ernteerträge in Abhängigkeit von Regenwürmern (www.lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bnt/gym/bp2016/fb2/2_mat/1_recycling/2_destruent/3_einstieg/)

Abbildung B 6-1

Screenshot einer beispielhaften Excel-Auswertemappe

Abbildung B 6.1-1

Mit Küchenabfällen gefüllter Komposteimer (Foto: Thomas Gerl)

Abbildung B 6.1-2

Leerer Komposteimer
(Foto: Thomas Gerl)

QR-Code B 6.2-1

Datenbank «Expedition Erdreich»
(expedition-erdreich.bonares.de)

Tabelle B 7-1

Mögliche Reihenfolge von Versuchen zur
Stoffwechselaktivität des Bodens

QR-Code B 7-2

National Geographic
(www.nationalgeographic.de/umwelt/2022/05/warum-moore-die-besseren-waelder-sind)

QR-Code B 7-3

Max-Wissen der Max-Planck-Gesellschaft
(www.mpg.de/4705567/kohlenstoffspeicher-boden)

QR-Code B 7-4

YouTube: Kohlenstoffatomkreislauf
(https://youtu.be/KX0mpvA0g0c?si=zILMjLAI_JQpNV76)

Abbildung B 7.1-1

Einfacher Versuchsaufbau zur Messung der
Stoffwechselaktivität auf dem Schulgelände
(Foto: Florian Bernhard)

Abbildung B 7.1-2

CO₂-Sensor unter einer verdunkelten Haube/
Pappkarton (Foto: Florian Bernhard)

Abbildung B 7.1-3

Einfacher Versuchsaufbau zur
Messung der Stoffwechselaktivität
auf dem Schulgelände (nun ohne
Pflanzendecke; Foto: Florian Bernhard)

Abbildung B 7.1-4

Messung der Bildung von Kohlenstoffdioxid
in Bodenproben (Foto: Florian Bernhard)

Abbildung B 7.1-5

Versuchsaufbau zur Messung der
Kohlenstoffdioxid-Produktion
verschiedener Bodenproben
(Komposterde, Gartenerde und Sand),
hier Gartenerde (Foto: Florian Bernhard)

QR-Code B 8-1

Montagevideo für den Ständer
(<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-001.mp4>)

Abbildung B 8-2

Rhizobox DIN A4 (Foto: German Weber)

Abbildung B 8-3

Rhizobox – Frontansicht mit Abdeckung,
mit rund drei Wochen alten Bohnen-
pflanzen (Foto: German Weber)

Abbildung B 8-4

Rhizobox – Frontansicht ohne
Abdeckung mit Blick auf die
Wurzeln (Foto: German Weber)

Abbildung B 8-5

Wurzelkino mit Abdeckplatte
(Foto: German Weber)

Abbildung B 8-6

Wurzelkino, offen (Foto: German Weber)

QR-Code B 8-7

Ein kurzes Video, das den Bewuchs und
das Wurzelwachstum im ersten Jahr zeigt,
finden Sie auf dem YouTube-Kanal der
ANL oder zum direkten Download:
<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-002.mp4>

QR-Code B 8-8

Ein Montagevideo gibt es auf dem
YouTube-Kanal der ANL oder zum
direkten Download:
<https://moodle-files.alp.dillingen.de/oekologie/09/B08-003.mp4>

Abbildung B 8-9

Kartenausschnitt des BayernAtlas
(<https://geoportal.bayern.de/bayernatlases/?lang=de&topic=umwe&bgLayer=at&catalogNodes=110&layers=bb0343f9-43b6-450e-a1b5-019600eeb565&E=661908.07&N=5401001.57&zoom=8>)

Abbildung B 8-10

Wurzelkino mit regionaltypischem
Bodenprofil, hier die Nachbildung
einer Braunerde aus dem Illertal bei
Memmingen. Aus didaktischen Gründen
werden der B- und C-Horizont verkürzt
dargestellt (Foto: German Weber).

Abbildung B 10.2-1

Nitrophoska gibt es nicht nur in
Blau! (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung B 10.2-2

Folgen des zu hohen Einsatzes
von Düngemitteln (Grafik: aus
Lernort Boden, verändert)

Abbildung B 10.2-3

Schematische Darstellung der Er-
tragskurve (Bildquelle: Bayerische
Landesanstalt für Landwirtschaft)

Abbildung B 10.2-4

Grundwasser ist der Rohstoff für Trinkwasser
(Bildquelle: pnp/Landesamt für Umwelt)

Abbildung B 10.2-5

Phosphorverbrauch in der Landwirt-
schaft in Deutschland 1993–2018
(Datengrundlage: Destatis)

Abbildung B 10.2-6

Gülleausbringung auf einer Bergwiese (Bildquelle: Martin Eiblmaier)

Abbildung B 11-1

Verteilung des gebundenen Kohlenstoffes in Vegetation, Boden und Bodenbedeckung sowie Totholz im Vergleich der Kontinente (aus LAL 2015).

QR-Code B 11-2

Der Kompetenzbereich «bewerten» (www.lehrplanplus.bayern.de/sixcms/media.php/71/NT5_6_Info_Bewerten.3032.pdf)

Abbildung B 11.2-1

Am wichtigsten sind die Moore

Gespeicherter Kohlenstoff in verschiedenen Ökosystemen in Europa (LAL 2015)

Abbildung B 12-1

Schematischer Überblick der Spielanleitung

Abbildung B 12.1-1

Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt, verändert)

Abbildung B 12.1-2

Entscheidung in Brüssel zieht sich (Zeichnung: Luis Murschetz, auf sueddeutsche.de am 13.10.2023)

Abbildung B 12.1-3

Strukturformel von Tetraethylblei

Abbildung B 12.1-4

Schwermetalleintrag aus der Atmosphäre in naturnahe, waldfreie Ökosysteme (Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren 2024) www.liki.nrw.de/umwelt-und-gesundheit/c6-schwermetalleintrag

Abbildung B 12.1-5

Der hohe Anteil von Cs-135 in bayerischen Wildschweinen verrät den Ursprung der Radioaktivität (Ausgangsbild aus STÄGER et al. 2023, CC-by 4.0)!

Abbildung B 13-1

Möglichkeiten für Bodenschutz an Schulen

Abbildung B 13.1-1

S = Kompostsammelplatz, DK = Doppelkammer-Kompostbehälter, SK = Schnellkomposter

QR-Code B 13.1-2

YouTube-Video: <https://youtu.be/NIM3A12sViQ?si=uXSOQtancbkV1Nod>

Abbildung B 13.1-3

Aufbau der Kompostschichten

Abbildung B 13.2-1

Mitte 2023 gepflanzter Tiny-Wald in Darmstadt (Foto: MIYA-Forest)

Abbildung W 1-1

Kompetenzstrukturmodell der taxonomischen Bildung nach GERL (2022)

Abbildung W 1-2

Siebenpunkt-Marienkäfer (links, Foto: Jürgen/Pixabay) und Asiatischer Marienkäfer (rechts, Foto: JHenning/Pixabay)

Eine Übung zur Unterscheidung dieser beiden Marienkäfer-Arten findet sich auf der Homepage des BISA-Projekts:

www.bisa100.de/spielen/wirbellose-tiere/insekten/k%C3%A4fer/352-kannst-du-diese-marienk%C3%A4fer-arten-unterscheiden

Abbildung W 1-3

Prinzipielle Möglichkeiten der Bestimmung.

QR-Code W 1-4

Interaktive Bestimmungsübungen für Insekten auf der Webseite des BISA-Projektes (www.bisa100.de/lernen/insekten/biotopia-insektenkurs)

QR-Code W 1.1-1

BISA – Insekten fangen

Abbildung W 1 a.1-1

Schematischer Körperbau eines Regenwurms

Abbildung W 1 a-2

Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) (Quelle: Johann Bauchhenß, Tiere live)

Abbildung W 1 a-3

Kompostwurm (*Eisenia foetida*) mit gut erkennbaren gelben Furchen (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 a-4

Stellung der Borsten auf einem Regenwurmsegment (im Querschnitt) eng gepaart (nach: CHRISTIAN & ZICSI 1999)

Abbildung W 1 a-5

Stellung der Borsten auf einem Regenwurmsegment (im Querschnitt) eng gepaart (nach: CHRISTIAN & ZICSI 1999)

Abbildung W 1 a-6

Großer Ackerwurm (*Octolasion lacteum*; Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 b-1

Bänderschnecke (Foto: Tiere live)

Abbildung W 1 b-2

Variationen von Gehäusen der Garten-Bänderschnecke (Foto: Christian Anton)

Abbildung W 1 b-3

Eine Schneckenhaus-Mauerbiene legt ihre Eier in ein Schneckenhaus

Abbildung W 1 b-4

Körperbau der Landlungenschnecken

Abbildung W 1 b-5

Körperbau der Weinbergschnecke
(Zeichnung: Tiere live)

Abbildung W 1 b-6

Die Hain-Bänderschnecken (*Cepaea nemoralis*) überraschen durch ihre Ästhetik und Bänderungsvielfalt (Foto: AlGreer/UFZ).

Abbildung W 1 b.3-1

Übersicht der bekanntesten Gehäuse-schnecken (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 b.4-1

Übersicht der bekanntesten Nacktschnecken (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 c.2-1

Übersicht zu den Laubheuschrecken und Grillen (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 c.2-2

Übersicht zu den Laubheuschrecken und Grillen (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 c.3-1

Übersicht zu den Feldheuschrecken (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 c-4

Übersicht zu den Feldheuschrecken (Quelle: Tiere live)

Abbildung W 1 e-1

Nadelnest der Roten Waldameise (*Formica rufa*-Gruppe; Foto: Peter Sturm)

Abbildung W 1 e-2

Erdnest der Schwarzgrauen Wegameise (*Lasius niger*; Foto: Peter Sturm)

QR-Code W 1 e-3

Tiere live – Ameisen

(www.anl.bayern.de/projekte/tierelive/doc/tiere_live_ameisen.pdf)

Abbildung W 1 e-4

Körperbau einer Schuppenameise (Grafik: Kristel Kerler; Abbildung aus Tiere live – Kapitel Ameisen)

Abbildung W 1 f-1

Die biologische Systematik ordnet und klassifiziert Lebewesen in einem Rangsystem (Foto: Kathi Büscher/pixabay.com).

QR-Code W 1 f-2

BISA – Biotopia Insektenkurs

Abbildung W 2.2-1

Blick auf eine Ortschaft in den Alpen (Foto: Martin Jochner)

Abbildung W 2.1-2

Eine artenreiche Blumenwiese (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildungen W 2.3-1 bis W 2.3-18

Gelbbauchunke (Kathy Büschner, Pixabay);
Rotkehlchen (SusannP4, Pixabay);
Gorilla (m k, Pixabay);
Schnabeltier (Christin Ferdinand, CC by-sa 4.0);
Hai (Wildfaces, Pixabay);
Feuerfisch (n. n., Pixabay);
Skorpion (n. n., Pixabay);
Weinbergschnecke (Ralphs Fotos, Pixabay);
Schmetterling (Siegella, Pixabay);
Mistkäfer (onefox, Pixabay);
Krabbe (n. n., Pixabay);
Großer Oktopus (Edmondlafoto, Pixabay);
Seestern (Ursula Bodnar, Pixabay);
Zecke (Erik Karits, Pixabay);
Muschel (Alehandra12, Pixabay);
Qualle (Eddie K Photos, Pixabay);
Schwamm (Dimitris Vetsikas, Pixabay);
Regenwurm (Patricia Maine Degrave, Pixabay)

Abbildung W 2.5-1

Päckchen mit Geschenkkärtchen
(Foto: Martin Jochner)

Abbildung W 3-1

Das Diagramm zeigt die Bestandsentwicklung des Zitronenfalters (*Gonepteryx rhamni*), der Trend zeigt eine Zunahme.

Abbildung W 3-2

Das Diagramm zeigt die Bestandsentwicklung des Dunklen Wiesenknopf-Ameisenbläulings (*Phengaris nausithous*), der Trend ist nicht signifikant.

Abbildung W 3-3

Das Diagramm zeigt die Bestandsentwicklung des Schlüsselblumen-Würfelfalters (*Hamearis lucina*), der Trend zeigt eine Abnahme.

Abbildung W 3-4

Gelbling (*Colias hyale* oder *C. alfacariensis*) in einer Becherlupe (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-5

Kleines Wiesenvögelchen (*Coenonympha pamphilus*) in einem Druckverschlussbeutel (Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-6

Schematische Darstellung eines Transektabschnitts; dieser sollte insgesamt 50 × 5 × 5 Meter groß sein.

Rechts und links vom Weg beziehungsweise von der kartierenden Person sind jeweils 2,5 Meter nach Faltern abzusuchen.

QR-Code W 3-7

Link zur UFZ-Broschüre «Tagfalter macht ... Schule» (www.ufz.de/tagfalter-monitoring/index.php?de=46225)

Abbildung W 3-8

Kleines Wiesenvögelchen (*Coenonympha pamphilus*);
Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-9

Schwalbenschwanz

(*Papilio machaon*;
Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-10

Kleiner Eisvogel

(*Limenitis camilla*;
Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-11

Waldbrettspiel

(*Pararge aegeria*;
Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 3-12

Grafik mit Einzelzählungen von drei Falterarten zwischen April und September 2011 (Daten: Martin Eiblmaier; Fotos: Horst Röttschke).

Abbildungen W 3-13 und W 3-14

Tagfaltermonitoring am Naturdenkmal Siechenhalde in Schongau (Fotos: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 4.1-1

Insektennetz

(Foto: Florian Bernhard)

Abbildung W 4.1-2

Druckverschlussbeutel

(Foto: Florian Bernhard)

Abbildung W 4.1-3

Becher(-lupe)

(Foto: Florian Bernhard)

QR-Code W 4.1-4

Link zum NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel (<https://insektentrainer.nabu.de/insektenbestimmungsschluesel>)

QR-Code W 4.2-1

Link zum NABU-Online-Insektenbestimmungsschlüssel (<https://insektentrainer.nabu.de/insektenbestimmungsschluesel>)

Abbildungen W 4.3-1 bis W 4.3-7

Arbeiten mit einer Lupe auf einem mobilen Endgerät (Fotos: Florian Bernhard)

Abbildung W 5.1-1

5-Sterne-Bienenhotel – aber ohne Restaurant ... (Quelle: www.seppo.net/cartoons/displayimage.php?album=topn&cat=0&pid=1601)

Abbildung W 5.2-1

Strukturelemente einer Mikrohabitatinsel (Quelle: Insektenfreundliches Günztal, ein Biodiversitätsprojekt der Stiftung Kulturlandschaft Günztal, gefördert im Bundesprogramm Biologische Vielfalt durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und den Bayerischen Naturschutzfonds)

Abbildung W 6-1

Der Wiesen-Pippau (*Crepis biennis*) zieht viele Insektenarten an, wie hier den Gemeinen Rosenkäfer (*Cetonia aurata*; Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 6-2

Die offenen Scheibenblüten des Wiesen-Bärenklaus (*Heracleum sphondylium*) sind gute Nektarquellen für Insekten mit kurzen Mundwerkzeugen wie hier für Fliegen und Käfer (Foto: Tobias Fröhlich).

Abbildung W 6-3

Hummel (*Bombus spec.*) und Admiral (*Vanessa atalanta*) auf der Stängelloosen Silberdistel (*Carlina acaulis*; Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 6-4

Widderchen (Zygaenidae) auf der Acker-Witwenblume (*Knautia arvensis*; Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 6-5

Krabbenspinne mit erbeuteter Westlicher Honigbiene (*Apis mellifera*) auf einer Kugeligen Teufelskralle (*Phyteuma orbiculare*; Foto: Martin Eiblmaier)

Abbildung W 9-1

Schwarzmundige Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis*, Foto: AlGreer/UFZ)

Abbildung W 9-2

Vielfalt der Bänderung und Farben der Schwarzmundigen Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis*, Foto: Christian Anton)

Abbildung W 9.1-1

Die Schwarzmundige Hain-Bänderschnecke (*Cepaea nemoralis*) ist in unseren heimischen Ökosystemen weit verbreitet. Sie kommt von sonnigen Dünen über offenes Grünland, Gärten und Parks bis in Hecken und dunklen Wälder vor. Ihr Gehäuse kann gelb, rosa oder dunkelbraun gefärbt sein. Zudem überziehen entweder keine, wenige (1–4) oder viele (mehr als vier) auffällige Bänder die Schneckenhäuser dieser Art.

Tabelle W 9.1-2

Anteil der Schnecken mit Angabe der Signifikanz der Unterschiede (verein-facht nach SILVERTOWN et al. 2011)

Abbildung W 10-1

Blatt mit Lochfraß
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10-2

Fensterfraß einer Blattwespenlarve
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10-3

Skelettfraß, zum Beispiel von einer Raupe
(Foto: Tobias Fröhlich)

Tabelle W 10-4

Phytophage Insektengruppen, nach ihrer weltweiten Artenzahl geordnet

Abbildung W 10.3-1

Skelettfraß, zum Beispiel von einer Raupe
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10.3-2

Fensterfraß Blattwespenlarve
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10.3-3

Blattschneiderbiene beim Blätterschneiden
(Foto: Susanne Schulz, iStock)

Abbildung W 10.3-4

Randfraß vom Rüsselkäfer
(Foto: Wikimages/Pixabay)

Abbildung W 10.3-5

Ahornblatt mit Teerfleckpilz
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10.3-6

Fraßbild des Kartoffelkäfers
(Foto: Shannon Smith/Pixabay)

Abbildung W 10.3-7

Saugschäden von Blattläusen
(Foto: g1a1b1i1/Pixabay)

Abbildung W 10.3-8

Gallen der Buchengallwespe
(Foto: Tobias Fröhlich)

Abbildung W 10.3-9

Galle einer Rosengallwespe
(Foto: Rollstein/Pixabay)

Abbildung W 10.3-10

Fraßspur eines Borkenkäfers (Foto: Gyorgy Csoka, Forest Research Institute, Bugwood.org CC-NC 3.0)

Abbildung W 10.3-11

Verpacktes Schneckenhaus der Schneckenhaus-Mauerbiene (*Osmia aurulenta*, Foto: Sebastian Hopfenmüller)

Abbildung W 10.3-12

Larve des Apfelwicklers in einem Apfel
(Foto: Doug Wilson, Wikimedia.Commons, gemeinfrei)

Abbildung W 11-1

Versuchsaufbau, auf befeuchtetem Küchenpapier werden Scheiben von Karotten, das Blatt einer Haselnussstaude sowie Kartoffelscheiben ausgelegt. Die Versuchstiere sind noch nicht zum Ansatz hinzugegeben
(Foto: Florian Bernhard)

Abbildung W 11-2

Die geöffneten Kunststoffboxen elf Tage später: Nullprobe, nur Asseln, nur Regenwürmer, Asseln und Regenwürmer gemischt (von links; Foto: Florian Bernhard)

Abbildung W 11-3

Ein «Asselfang» aus Kompost im derweil umgedrehten Eierkarton (Foto: Florian Bernhard)

QR-Code W 11-4

Experimente und Versuche mit Asseln

Weitere Hinweise zu Asseln als Versuchstiere finden sich auf der Seite der Universität Münster unter: <https://hypersoil.uni-muenster.de/1/03/13.htm>

QR-Code W 12.1-1

Ameisenschutzware Bayern
(www.ameisenschutzware.de/ameisenschutzware/asw-bayern)

QR-Code W 13-1

Einstiegsvideo:
www.youtube.com/watch?v=Y3Db_1hZ1aQ

QR-Code W 13.2-1

Insektenkurs auf der Webseite des BISA-Projektes (www.bisa100.de/lernen/insekten/biotopia-insektenkurs)

Abbildung W 13.2-2

Fast überall Verluste: Rote Listen der Insekten in Deutschland, akute Trends bei den langfristig rückläufigen Insektengruppen, Verteilung in Prozent der Arten (Quelle: RIES 2020; Insektenatlas).

Abbildung W 13.3-1

Insektenarten sind weltweit in Gefahr; die einzelnen Bestandstrends sind prozentual angegeben (Quelle: DIERZO 2014; Science)

Abbildung W 13.4-1

Auf die Habitats kommt es an! Hauptursachen für das Insektensterben in Prozent (Quelle: SÁNCHEZ-BAYO & WYCKHUYS 2020; Insektenatlas)

Abbildung W 13.4-2

Ursachen für das Insektensterben weltweit in Prozent (Quelle: SÁNCHEZ-BAYO & WYCKHUYS 2019; Biological Conservation)