Biologie 9. Klasse im LehrplanPLUS
Ökosystem Boden

Thomas Nickl, März 2021

Inhalt:

Allgemeine Vorbemerkungen

Zeitplan

5 Ökosystem Boden
- 5.0 *Freiland-Arbeit*
- 5.1 Boden-Eigenschaften
  - 5.1.1 Pflanzenverfügbares Bodenwasser
  - 5.2.1 Filterwirkung des Bodens
  - 5.1.3 Dicke der Bodenschicht: Bodenabtrag
- 5.2 Nahrungsbeziehungen im Boden
  - 5.2.1 Wer frisst wen?
  - 5.2.2 Der Energiefluss
- 5.3 Ringelwürmer live
  - 5.3.1 Die Regenwurm-Küvette
  - 5.3.2 Praktikum mit Ringelwürmern
- 5.4 Humusbildung und Mineralisierung
  - 5.4.1 Bildung von Humus
  - 5.4.2 Die Mineralisierung
- 5.5 Der Kreislauf der Kohlenstoff-Atome
- 5.6 Mensch und Ökosystem Boden
  - 5.6.1 Nutzen für den Menschen
  - 5.6.2 Einflüsse des Menschen auf das Ökosystem
  - 5.6.3 Der Ökologische Fußabdruck

Allgemeine Vorbemerkungen

Das Ökosystem Boden ist für die Schüler nicht von vorneherein motivierend. Es wäre also kontraproduktiv, so zu tun, als wäre dieser Lebensraum für sie besonders spannend, oder bei der praktischen Arbeit wenig interessante, wenig anschauliche bzw. wenig durchblickbare Aufgaben durchführen zu lassen.

Vielmehr sollte zu Beginn dieses Lernbereichs klar gemacht werden, dass jetzt am Ende des Schuljahres die ökologischen Zusammenhänge zwischen Mikroorganismen, wirbellosen Tieren und Wirbeltieren bis hin zum Menschen auf den Punkt gebracht werden sollen, das Ökosystem Boden dafür als Schauplatz ausgewählt ist und dass dabei auch Praktika und ggf. Freiland-Arbeit vorgesehen sind. Der LehrplanPLUS stellt auch ganz klar die ökologischen Zusammenhänge in den Vordergrund und nicht die Bodenkunde.

Ich bringe in dieses Skript meine langjährigen Erfahrungen in Biologie und Geographie ein und gehe von durchschnittlich motivierten Klassen aus. Aspekte, von denen ich abrate, können in Einzelfällen bei entsprechend interessierten Klassen und charismatischen Lehrkräften durchaus auch funktionieren, aber das werden dann wohl Ausnahmen bleiben.

Der **Praktikumsordner** „Bio? – Logisch!“ enthält im Abschnitt 10.2 „Terrestrische Ökosysteme“ verschiedene Anleitungen für Boden-Untersuchungen. Ich möchte sie im Folgenden grob gewichten (Ampelsymbolik):

+/–	ALP 1_2_	Kurzbeschreibung	Kommentar
	V03	Bestimmung der Bodenart nach der Körnigkeit	Gelände oder Labor; wenig spannend, etliche Fachbegriffe, die nicht weiter führen; wenn das gemacht wird, unbedingt ökologisch auswerten (Wasserrückhalte-Vermögen)
	V04	pH-Wert, Nitrat- und Kalkgehalt verschiedener Böden	Gelände oder Labor; ökologische Bedeutung betonen; für Schüler uninteressant, wenn sich die verschiedenen Bodenproben in den Messwerten nicht unterscheiden; der pH-Wert ist den Schülern aus dem Chemieunterricht noch nicht bekannt
	V05	Pufferfunktion des Bodens	Labor; ggf. interessant im Zusammenhang mit Saurem Regen; Puffer aus Chemie noch nicht bekannt
	V06	pH-Wert von Totholz in Abhängigkeit vom Zersetzungsgrad	Gelände oder Labor; der chemische Hintergrund der Freisetzung saurer Produkte kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht erklärt werden
	V07	Fraktionierte Sedimentation	Labor; untersucht die Korngröße; vgl. V03
	V08	Bestimmung des Wassergehalts im Boden	Labor; untersucht eine wesentliche ökologische Größe; mittelspannend; problematisch nach längerer Trockenperiode
	V09	Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit im Boden	Labor, etwas aufwendiger Versuchsaufbau; sehr gutes Training für die Kompetenz Erkenntnisgewinnung; wesentliche ökologische Größe; thematisch mittelspannend
	V10	Filterwirkung des Bodens	Modellversuche mit echten Böden im Labor; gut verstehbar, Ergebnisse mit Aha-Momenten; Alltagsbezug: Bereitstellung von Trinkwasser
	V11	Humusgehalt im Boden	Labor, ziemlich zeitaufwendig; ggf. Aha-Effekt, dass Boden auch noch andere Stoffe enthält als Humus
	V12	Bodenabtrag	Modellversuch mit echtem Boden in Gelände oder Labor; Erosion als wesentlicher ökologischer Faktor (Einfluss des Menschen); viel Spaß beim „Pritscheln“
	V13	Tiere des Waldbodens (aus der Streuschicht mit der Hand gefangen)	Gelände; so macht Arbeiten an Horizonten Freude: Kleintiere werden in der Streuschicht gesucht und in Becherlupen beobachtet; Destruenten, Fleischfresser; Auswertung im ökologischen Zusammenhang absolut lehrplankonform
	V14	Bodenlebewesen und Berlese-Apparatur	Labor; negativ fototaktische Bodentiere fallen unten in einen Behälter; funktioniert oft nicht; aber wenn damit Tiere isoliert werden, ist die Untersuchung interessant
	V15	Bodentiere fangen (mit einem Boden versenkten Becher)	Gelände, aber nicht während eines Unterrichtsgangs, da mehrere Tage Laufzeit; mit Glück werden ein paar Tiere gefangen, die dann im Labor beobachtet werden
	V16	Bau einer Regenwurm-Küvette	Dauerversuch im Schaukasten der Schule: Regen- oder Kompostwürmer vermischen Schichten aus Sand und Kompost und ziehen auf die Oberfläche gelegte Nahrung in den Boden hinein; für Schüler interessant und lehrreich

	V17	Zellatmung von Bodenorganismen	Labor; geht auch im Schaukasten; passt zu den Lerninhalten der 9. Klasse
	V18	Versuche zur Kompostierung unterschiedlicher Stoffe	dargestellt ist die Labor-Variante, die mehrere Wochen dauert; geht auch als Langzeitversuch im Freiland (2-3 Monate); Destruenten
	V19	Tiere am und im Totholz (mit der Hand gefangen)	Gelände; kommt gut bei Schülern an; ökologische Zusammenhänge gut herstellbar (Destruenten)
	V20	Untersuchung von Totholz (hier liegt der Schwerpunkt auf Pilzen)	Gelände oder Labor; Bündel aus Pilzhyphen sind weit verbreitet und schnell entdeckt; ökologische Zusammenhänge gut herstellbar (Destruenten)

Zu den Themen „Nahrungsbeziehungen im Boden“ und „Nutzen des Ökosystems für den Menschen“ lohnt sich ein Besuch in der 2022 neu gestalteten Ausstellung „Landwirtschaft“ im **Deutschen Museum München**. Auf einem ausführlichen Dokument sind allgemeine Hinweise zum Deutschen Museum, konkrete Aufgabenstellungen und Lösungshinweise zusammengestellt: [word] [pdf]

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 6 „Ökosystem Boden“ ca. 6 Unterrichtsstunden vor. Wenn praktische Arbeiten und eine etwas tiefergehende Behandlung der ökologischen Probleme geplant sind, genügt dieser Zeitumfang nicht. Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan:

Nummer	Abschnitte	Stunden
5.0	*Freilandarbeit*	x
5.1	Boden-Eigenschaften	1
5.2	Nahrungsbeziehungen	1
5.3	Ringelwürmer live *(ist ggf. bereits gemacht)*	2
5.4	Humusbildung und Mineralisierung	
5.5	Der Kreislauf der Kohlenstoff-Atome	1
5.6	Mensch und Ökosystem Boden	2-3
	Summe	**7-8 (+ x)**

Im Rahmen des Lernbereichs Boden sollten die Schüler möglichst eine Freilandarbeit durchführen. Die Zeit dafür ist in der Tabelle nicht näher bestimmt.

5 Ökosystem Boden

Man hat die Artenvielfalt im Boden lange Zeit völlig unterschätzt. Obwohl die Organismen im Boden nach wie vor nicht umfassend erforscht sind, weiß man heute, dass etwa zwei Drittel alles Lebewesen auf der Erde im Boden leben. 90 Prozent der Pilze leben im Boden, gefolgt von 86 Prozent der Pflanzen mit ihren Wurzeln. Bei den Tieren sind es v. a. Regenwürmer, Schnecken und Gliedertiere. Über den Anteil der Mikroorganismen im Boden – wie Bakterien, Viren, Archaeen, Pilze und Einzeller – gibt es bislang noch keine Schätzungen. Dabei spielen sie nicht nur bei der Mineralisierung eine bedeutende Rolle.
[Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. M. A. Anthony et al., 2003: Enumerating soil biodiverstiy. Bericht im vbio newsletter 8.8.2023]

5.0 Freilandarbeit

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
Bodeneigenschaften: z. B. Wasserkapazität, Korngröße, Horizontbildung	untersuchen Boden, protokollieren die Ergebnisse ggf. mithilfe digitaler Medien und erkunden so das Biotop und die Biozönose des Bodens. *führen einfache selbstgeplante oder komplexe angeleitete naturwissenschaftliche Untersuchungen durch. Dabei nehmen sie die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten bei bekannten Sachverhalten selbständig und bei unbekannten mit Hilfestellung (ggf. auch mit digitalen Hilfsmitteln) vor. (Lernbereich 1)* *beobachten Lebewesen und ihre Lebenserscheinungen auch in der natürlichen Umgebung anhand von vorgegebenen und eigenen Kriterien. Sie dokumentieren überwiegend selbständig ihre Beobachtungen, werten sie aus und veranschaulichen sie. (Lernbereich 1).* *verwenden ein Lichtmikroskop oder Binokular, um Präparate zu betrachten, und erstellen selbständig beschriftete Zeichnungen der betrachteten biologischen Strukturen (Lernbereich 1).*

Vorwissen:	***Weiterverwendung:***
Jgst. 5 Biologie*, Lernbereich 2.5: Ökosystem Grünland* ***Jgst. 6 Biologie****, Lernbereich 1.5: Ökosystem Gewässer* ***Jgst. 7 Geographie****, Lernbereich 4: Ländliche Räume Europas* ***Jgst. 8 Biologie****, Lernbereich 6: Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen*	***Oberstufe****: Ökologie und Biodiversität*

Ideal sind mehrere zusammenhängende Stunden für einen Unterrichtsgang; dafür kann der **Wandertag**, ein Tag im **Schullandheim**-Aufenthalt oder ein **Projekttag** dienen. (Eine Zusammenarbeit mit Geographie ist nicht möglich, denn in den Jahrgangsstufen 8 und 9 fällt dieses Fach weg.) Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe von Umweltstationen für den Schullandheim-Aufenthalt, die ein Labor für Bodenuntersuchungen anbieten.

Es sind die üblichen Vorschriften und Gepflogenheiten zu beachten wie Anmeldung bei der Schulleitung, rechtzeitige schriftliche Elterninformation, Transport, Zeckenschutz, Sonnenschutz, Zusammenstellung der nötigen Hilfsmittel, klar formulierte Arbeitsaufträge (die durchaus mit den Schülern im Vorfeld zusammen erarbeitet werden können, was deren Motivation steigert), sinnvolle Auswertung der Untersuchungs-Ergebnisse usw.

Wie stets kommt es bei der **Wahl des Biotops** nicht darauf an, die Schüler an einen Ort von besonderem wissenschaftlichen Interesse zu führen (denn das können sie gar nicht wertschätzen), sondern die Kriterien sind: gute Zugänglichkeit, Schutz vor dem Straßenverkehr, gute Einsehbarkeit bezüglich der Aufsichtspflicht, hinsichtlich der Untersuchungen optimale Bodenverhältnisse, Beschattung (v. a. an heißen Sommertagen) usw.

Gerade bei unangenehmen Wetterlagen kann es sinnvoll sein, draußen nur rasch **Bodenproben** zu nehmen, die danach in der Schule untersucht werden. Am besten sind wie immer Vergleiche wie z. B.: Boden von einer Wiese vs. Moorboden.

Fast alle Anleitungen für Untersuchungen zum Thema Boden enthalten die Aspekte Körnigkeit und Bodenprofil (als „Korngröße, Horizontbildung“ stehen sie auch im LehrplanPLUS). Davon rate ich ab:

- **Bodenkörnigkeit**
  Es ist für die Schüler nicht interessant und für ihr Leben nicht lehrreich, die Begriffe der Abfolge Ton – Schluff – Sand – Kies kennenzulernen oder gar zu lernen, die durch Intervalle des Durchmessers der Bestandteile (die Korngröße) definiert sind. Die Untersuchungen dazu lassen sich zwar recht zuverlässig durchführen, sind aber nicht spektakulär und erzeugen kaum emotionale Nähe. Sinnvoll wäre das auch nur, wenn die ökologische Bedeutung diskutiert wird, also das Wasserrückhalte-Vermögen (was in manchen Anleitungen wegfällt). Wer es trotzdem nicht lassen kann, sei verwiesen auf ALP 10_2_V03: Bestimmung der Bodenart nach der Körnigkeit.

- **Horizonte im Bodenprofil**
  Es ist nicht ganz einfach, Stellen zu finden, an denen ein klassisches Bodenprofil mit Gesteinsuntergrund, B-Horizont, A-Horizont und Streuauflage deutlich zu erkennen ist. Dafür ist eigentlich nur ein entsprechender Hanganschnitt tauglich, denn durch Grabungen im ebenen Boden lässt sich kein Profil freilegen, das für Unterrichtszwecke verwendbar wäre. Zudem sind diese Bezeichnungen und ihre Definitionen für die Schüler zu alltagsfern, um Interesse zu wecken. Wenn an einem Bodenprofil im Freiland Erklärungen abgegeben werden (und das ist nicht vermeidbar), dann dürfen nur sehr wenige Schüler davor stehen; das Profil müsste also eine von mehreren Stationen darstellen, womit sich das Problem stellt, wie der Rest der Klasse beaufsichtigt wird.
  Statt also die Schüler im Freiland mit Horizonten zu langweilen, sollte in der Schule über etliche Wochen eine Regenwurm-Kuvette im Schaukasten beobachtet werden, in der die Würmer die vorgegebene Schichtung (abwechselnd Sand und Humus) vermischen und auf die Oberfläche gelegtes Futter in den Boden verfrachten.
  Vgl. ALP 10_2_V16.

Dagegen empfehle ich folgende Tätigkeiten im Gelände:

- **Der Boden als Lebensraum für Tiere** (Vorwissen: Wirbellose Tiere):
  Bodentiere entdecken (in Totholz, in der Streuschicht, auf dem Boden herumlaufend. Diese Tiere fangen, in der Becherlupe betrachten, ggf. fotografieren (Smartphone), die Tiere möglichst weit systematisieren (Vorwissen, einfache Bestimmungshilfen mit Bildern, ggf. Bestimmungs-App), den Fundort protokollieren und knapp charakterisieren. Spätere Auswertung: Einordnung der gefundenen Tiere in den Nährstoff-Kreislauf.
  ALP 10_2_V13 und V19

- **Der Boden als Lebensraum für Pilze** (Vorwissen: Mikroorganismen):
  Die weißen Bündel von Pilzhyphen in Totholz, aber auch im Wurzelbereich von Bäumen entdecken (mit einer kleinen Handschaufel den Boden bei einer Baumwurzel aufgraben; die meisten Wald- und Parkbäume leben in Symbiose mit Mycorrhiza-Pilzen, deren Hyphenbündel sich leicht entdecken lassen.) Auswertung: Bodenpilze als Destruenten und Symbionten. ALP 10_2_V20

- **Eigenschaften des Bodens** (ggf. Vorwissen aus Lebensraum Wasser, 6. Klasse):
  Geruch, Feuchtigkeit, ggf. pH mit Indikatorstäbchen messen und in Verbindung bringen mit dem Kalkgehalt (Probe mit 1-molarer Salzsäure in 50 mL-PE-Tropffläschchen: Je stärker die Bläschenbildung ausfällt, desto höher der Kalkgehalt). ALP 10_2_V04

Modellexperiment zum Bodenabtrag:
bei unterschiedlich dichter Vegetation (Wiesenstück, das vor Ort entnommen wird; vegetationsloser Boden; Boden mit schütterer Vegetation, vor Ort entnommen): Je dichter der Bewuchs, desto geringer der Bodenabtrag. ALP 10_2_V12

Entnahme von Bodenproben:
von möglichst unterschiedlichen Standorten und von möglichst unterschiedlicher Konsistenz zur nachträglichen Untersuchung in der Schule (z. B. bei den Projekttagen; vgl. Tabelle oben). Transport z. B. in 0,5- oder 1 L-PE-Schraubgefäßen.

5.1 Bodeneigenschaften (1 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
Bodeneigenschaften: z. B. Wasserkapazität, Korngröße, Horizontbildung	untersuchen Boden, protokollieren die Ergebnisse ggf. mithilfe digitaler Medien und erkunden so das Biotop und die Biozönose des Bodens. *führen einfache selbstgeplante oder komplexe angeleitete naturwissenschaftliche Untersuchungen durch. Dabei nehmen sie die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten bei bekannten Sachverhalten selbständig und bei unbekannten mit Hilfestellung (ggf. auch mit digitalen Hilfsmitteln) vor. (Lernbereich 1)*

Für diesen Abschnitt wird 1 Unterrichtsstunde angesetzt, aber ohne praktische Untersuchungen ist weniger Zeit nötig, je nach Umfang praktischer Untersuchungen und deren Auswertung ggf. auch mehr.

Die Auswahl der Bodeneigenschaften überlässt der LehrplanPLUS vollständig der Lehrkraft, er macht nur Vorschläge. Ich halte es nicht für sinnvoll, Definitionen und nackte Fakten zu Wasserkapazität, Korngrößen und Bodenhorizonten zum Lernstoff zu machen. Das nützt weder der Wissenschaft noch den Schülern. Vielmehr sollten in diesem Abschnitt Zusammenhänge erarbeitet werden, insbesondere im Hinblick auf das Gedeihen von Pflanzen; dazu mache ich exemplarisch Vorschläge. Wurde bereits ein Unterrichtsgang veranstaltet, fließen dessen Ergebnisse hier ein, ggf. gestützt durch Fotos der Schüler.

Die Beispiele im LehrplanPLUS weisen darauf hin, dass in diesem Abschnitt abiotische Faktoren zu betrachten sind, also das Biotop.

Hierbei sollte mindestens ein Versuch durchgeführt werden, außer das wurde bereits im Rahmen des Unterrichtsgangs bereits vorgenommen. Im Folgenden werden mehrere Möglichkeiten genannt, aus denen auszuwählen ist. Im Vordergrund stehen praktische Untersuchung und die Formulierung von Zusammenhängen.

Materialbeschaffung: Bodenproben aus dem Wald, aus der Wiese, aus dem Beet bzw. Blumenerde aus dem Sack (darauf achten, dass sie keinen Torf enthält, um die Moore zu schonen!). Ton hat vielleicht die Fachschaft Kunst vorrätig, den gibt es aber auch im Baumarkt, ebenso wie kleine Mengen Sand.

5.1.1 Pflanzenverfügbares Bodenwasser

Versuch zur **Wasserdurchlässigkeit** verschiedener Bodenarten wie Waldboden, Sand, Lehm, Ton: ALP 10_2_V09. In senkrechte Glasröhren werden gleich hoch Bodenproben gegeben, auf die die gleiche Menge Wasser geschüttet wird (z. B. 70 mL). Die Menge des ablaufenden Wassers wird gemessen und zwar entweder nur nach 5 Minuten oder in der aufwendigen Variante nach 0,5, 1, 2, 3 und 5 Minuten (=> Diagramme erstellen).
Beobachtung: Bei Sand läuft das Wasser sehr schnell ab. Lehm speichert das Wasser und zwar besser als Ton, der das Wasser staut. Waldboden steht zwischen Lehm und Sand.

Auswertung: In Sandböden steht den Pflanzen nur wenig Wasser zur Verfügung, in Böden mit hohem Lehm- oder Tongehalt besteht bei längeren Niederschlagsereignissen die Gefahr der Staunässe, bei der die Wurzeln faulen. Waldboden verhindert Trockenheit, indem er Wasser speichert, und Staunässe, indem er überschüssiges Wasser durchlässt.
Bedeutung für Land- und Forstwirtschaft: wenig Ertrag von spezialisierten Pflanzenarten auf Sand- und Lehmböden.

5.1.2 Filterwirkung des Bodens

Versuch: ALP 10_2_V10. Am besten im Vergleich durchführen, z. B. Waldboden, mit Sand angereicherter Boden, Sand. Die Proben werden in senkrecht gestellte Gefäße gegeben und mit deutlich gefärbtem Wasser gegossen. Zum Färben eignen sich Lebensmittelfarbe oder Ostereierfarbe (Kupfersulfat geht auch sehr gut, verursacht aber Entsorgungsprobleme bei den verseuchten Bodenproben). Das durchgelaufene Wasser wird aufgefangen.
Beobachtung: Der Waldboden entlässt ganz oder fast farbloses Wasser, der sandige Boden schwach und der Sand ursprünglich gefärbtes Wasser.
Auswertung: Im Boden bleiben Stoffe hängen, die z. B. der Regen oder Schwemmwasser in den Boden einbringen. Das durch den Boden gesickerte Wasser wird gereinigt. (Hinweis: Schmutzpartikel werden mechanisch zurück gehalten, viele gelöste Stoffe werden an die Huminstoffe des Bodens gebunden.)
Bedeutung für den Menschen: Grundwasser, das bereits durch eine Bodenschicht gesickert ist, eignet sich meist direkt als Trinkwasser.

5.1.3 Dicke der Bodenschicht: Bodenabtrag

Modellversuch zum Bodenabtrag: ALP 10_2_V12. Flache Schalen (z. B. 20 mal 30 cm) werden vollständig mit der Bodenprobe gefüllt (z. B. nackter Boden, spärlich bewachsener Boden, dicht bewachsener Boden) und unter einer Neigung von 20-30° in eine große Schale gestellt. Mit einer kleinen Gießkanne wird der obere Teil der Bodenprobe beregnet. Tipp: Am besten im Freien durchführen, damit der Fußboden nicht nass wird.
Variante: Mit flachen Steinen oder Fliesen Barrieren quer einbauen.
Beobachtung: Das Gießwasser versickert zunächst und läuft dann oberirdisch ab. Beim stark bewachsenen Boden ist das ablaufende Wasser klar, beim spärlich bewachsenen Boden leicht trüb und beim nackten Boden stark trüb.
Variante: Die Barrieren verringern die Trübung nur zum Teil.
Auswertung: Bewuchs hält den Boden zurück, fehlender Bewuchs bewirkt Bodenerosion (linienhafter Abtrag) bzw. Bodendenudation (flächenhafter Abtrag). Der abgetragene Boden ist unwiederbringlich verloren.
Bedeutung für Land- und Forstwirtschaft: Boden sollte nie nackt sein. Deshalb lässt man bei Feldfrüchten wie dem Mais meist die Stoppeln 10 cm hoch stehen und vermeidet Kahlschlag im Forst.
(Der Bewuchs ist zwar ein biotischer Faktor, aber der zentrale Gedanke ist hier die Dicke der Bodenschicht.)

5.2 Nahrungsbeziehungen im Boden (1 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
Nahrungsbeziehungen im Boden: Nahrungsnetz, Energiefluss; biologische Vielfalt	stellen den Stoff- und Energiefluss innerhalb der Biozönose des Bodens dar.
Vorwissen: ***Jgst. 6****, Lernbereich 1.5 Ökosystem Gewässer: Nahrungsbeziehungen im Ökosystem (Nahrungsnetz)*	

5.2.1 Wer frisst wen?

Wiederholung des Vorwissens zu Nahrungsbeziehungen im Ökosystem Gewässer (6. Klasse), am besten mit den Bildern, die damals verwendet wurden: Nahrungskette, Nahrungsnetz.

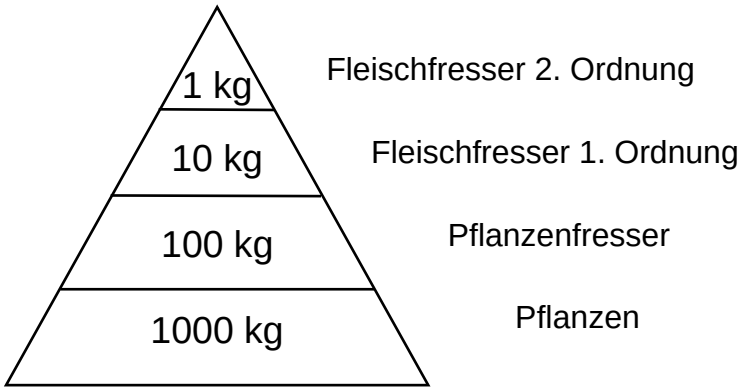
Ggf. präsentieren die Schüler ihre Fotos von Bodentieren, die sie bei der Freilandarbeit gemacht haben; Ergänzung durch weitere Arten z. B. in Form von wenigen Kurzreferaten (dadurch wird die Forderung nach Thematisierung der biologischen Vielfalt abgedeckt).

Erarbeitung eines Nahrungsnetzes als Pfeildiagramm. Ggf. erneute Erklärung der beiden Begriffe:

- Nahrungskette: Pflanze → Pflanzenfresser → Fleischfresser 1. Ordnung → Fleischfresser 2. Ordnung (ggf. Einführung des Fachbegriffs: **Trophie-Ebene**)
- Nahrungsnetz: komplexere Nahrungsbeziehungen z. B. bei einem Allesfresser

Ein artenreiches Beispiel für ein Nahrungsnetz steht auf Seite 128 (= Blatt 16) der Handreichung „Lernort Boden“, Modul B, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz BStMUV:
https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/lernort_boden/doc/modul_b.pdf

Als neuer Gesichtspunkt wird der quantitative Aspekt besprochen in Form der Faustregel, dass für 1 kg Biomasse in der höheren Trophie-Ebene grob 10 kg Biomasse aus der darunter befindlichen Trophie-Ebene benötigt werden. Darstellung in Form einer **Nahrungspyramide**:



Diese Erkenntnis wird weiter unten benötigt, wenn es um den Nutzen des Ökosystems Boden für den Menschen geht (ökologischer Fußabdruck).

5.2.2 Der Energiefluss

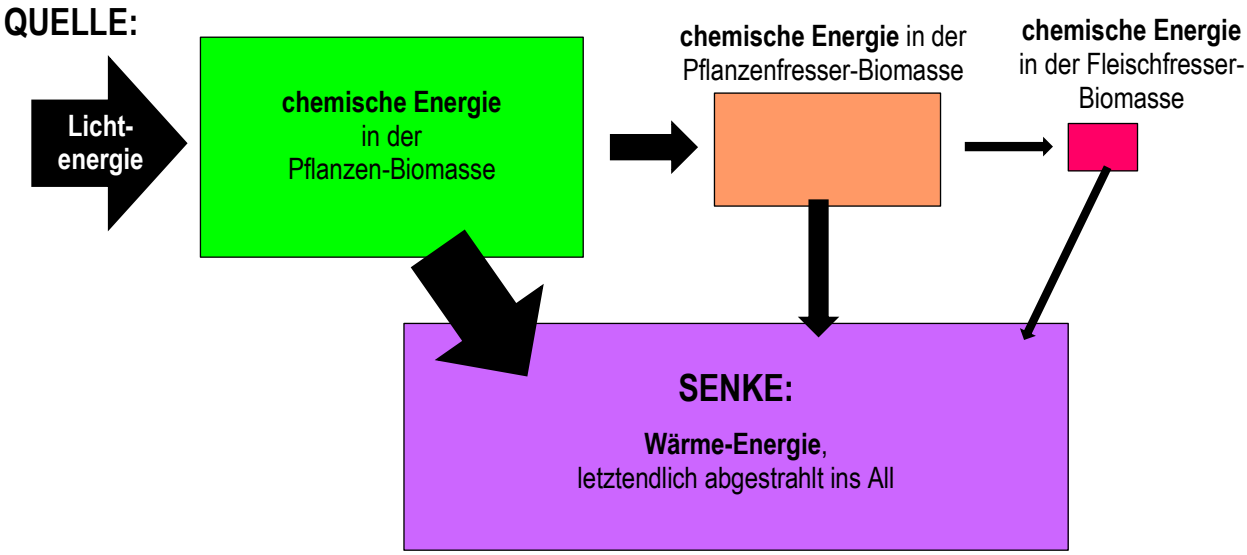
Dieser Begriff ist für die Schüler neu. Der Wortbestandteil „Fluss“ bedeutet, dass es einen Ursprung, eine **Quelle** gibt und eine sogenannte **Senke** (das ist beim echten Fluss die Mündung). Das bedeutet, dass hier kein Kreislauf dargestellt wird.

Die Energiequelle ist das Sonnenlicht (und zwar die Lichtenergie, nicht die Wärmeenergie von der Sonne). Pflanzen nehmen mit Hilfe des Chlorophyll die Lichtenergie auf und wandeln sie in chemische Energie* um, die zuerst im Traubenzucker steckt, der bei der Photosynthese entsteht. Aus dem Traubenzucker entstehen sämtliche Stoffe, aus denen die Pflanze besteht:

Die chemische Energie steckt in der gesamten Pflanzen-Biomasse. Bei der Verwertung der Pflanzenbiomasse durch die Pflanzenfresser geht ein kleiner Teil der Energie (grob: ein Zehntel) in chemische Energie der Pflanzenfresser-Biomasse über, der wird in Form von Wärme-Energie an die Umwelt abgegeben bzw. steckt in der toten Biomasse. Ebenso verhält es sich bei den nächsten Trophie-Ebenen.

* In NTG-Klassen ist zu überlegen, ob stattdessen der chemisch-fachsprachlich korrekte Ausdruck „Innere Energie“ verwendet wird.

Darstellung als Fluss-Diagramm (Flächeninhalte und Pfeilstärken nicht maßstäblich):



5.3 Ringelwürmer live (zusammen mit Abschnitt 5.4: 2 h)

1.1 Erkenntnisse gewinnen – kommunizieren – bewerten
Kompetenzerwartungen: *Die Schülerinnen und Schüler ...*
führen einfache selbstgeplante oder komplexe angeleitete naturwissenschaftliche Untersuchungen durch. Dabei nehmen sie die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten bei bekannten Sachverhalten selbständig und bei unbekannten mit Hilfestellung (ggf. auch mit digitalen Hilfsmitteln) vor. (Lernbereich 1) *beobachten Lebewesen und ihre Lebenserscheinungen auch in der natürlichen Umgebung anhand von vorgegebenen und eigenen Kriterien. Sie dokumentieren überwiegend selbständig ihre Beobachtungen, werten sie aus und veranschaulichen sie. (Lernbereich 1).*

Die Untersuchungen an Ringelwürmern (Regenwurm oder Kompostwurm) können im Rahmen des Lernbereichs „Wirbellose Tiere“ stattfinden oder im Rahmen des Lernbereichs „Ökosystem Boden“. Im zweiten Fall werden die Erkenntnisse über wirbellose Tiere kumulativ auf die Ringelwürmer angewendet.

5.3.1 Die Regenwurm-Küvette

Die Untersuchung sollte bereits seit mehreren Wochen laufen und wird jetzt ausgewertet.

Die Küvette ist ein schmales, hohes Gefäß mit durchsichtiger Vorderwand. Es wird abwechselnd mit Schichten aus Sand, Humus und Streu befüllt. Dann werden Ringelwürmer dazu gegeben: Entweder selbst gesammelte **Regenwürmer** (*Lumbricus terrestris*) aus dem Boden (sie lassen sich in feuchter Gartenerde leicht beim Umgraben finden) oder die sehr ähnlichen **Kompostwürmer** (*Eisenia fetida*), die es im Tierhandel zu kaufen gibt (auch online). Auf

keinen Fall Angelwürmer verwenden, denn die sind nicht einheimisch und dürften nach Beendigung des Projekts nicht in die Umwelt entlassen werden.
Etwa alle drei Tage wird auf die Oberfläche das Futter gelegt, eine Mischung z. B. aus Kaffeesatz, zerkleinerten Apfel- oder Karottenschalen, Laub, Gras, Stroh. Der Inhalt der Küvette darf nicht zu trocken werden, aber auch nicht zu feucht, damit sich kein Schimmel bildet.

Beobachtungsaufgaben:

- Veränderungen an der Oberfläche: Das Futter dort wird immer weniger.
- unterirdische Gänge der Würmer: In den oberen Bereichen steckt das in den Untergrund gezogene Futter.
- Bewegung der Würmer in den Gängen

Eine detaillierte Anleitung dazu finden sie in ALP 10_2_V16.

5.3.2 Praktikum mit Ringelwürmern

Arbeitsblatt: Praktikum mit Ringelwürmern [word] [pdf]
Hierbei werden Bau und Verhalten von Ringelwürmern (Regenwürmer oder Kompostwürmer) untersucht. Die auf dem Arbeitsblatt aufgeführten Untersuchungen nehmen mehr als eine Unterrichtsstunde in Anspruch, wenn sie vollständig durchgeführt werden. Hierbei sollten die Schüler Vergleiche zu anderen wirbellosen Tieren ziehen.

Die Tiere sind pfleglich zu behandeln: Sie dürfen nicht austrocknen und nicht zu grellem Licht ausgesetzt werden (also nicht auf dem Overhead-Projektor geben!). Nach dem Praktikum können die Würmer in die Küvette gesetzt oder im Freien an geeigneter Stelle ausgesetzt werden.

Die Erkenntnisse aus der Beobachtung an der Wurm-Küvette und aus dem Praktikum werden im folgenden Abschnitt eingebracht.

5.4 Humusbildung und Mineralisierung (zusammen mit Abschnitt 5.3: 2 h)

Lernbereich 6: Ökosystem Boden	
Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
Humusbildung und Mineralisierung: Bedeutung von Lebewesen (u. a. Regenwurm, Stoffwechselvielfalt bei Bakterien)	beschreiben die Humusbildung und Mineralisierung als zeitliche Veränderung.

Eine große Vielfalt von Destruenten ist an den Prozessen von Bildung, Umbau und Abbau des Humus beteiligt: Ein Kilogramm gesunder Oberboden enthält das Tausendfache an Individuen als es Menschen auf der Welt gibt (da sind freilich alle Bakterien mitgezählt).

Die Angaben in folgender Tabelle stammen von Seite 115 (= Blatt 3) der Handreichung „Lernort Boden“, Modul B, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz BStMUV:
https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/lernort_boden/doc/modul_b.pdf

Bodenorganismus	Anzahl der Individuen	Biomasse bis 30 cm Tiefe ca.
Bakterien	10.000.000.000.000	160 g/m²
Pilze	12.000.000.000	380 g/m²
Algen	1.000.000.000	90 g/m²
Einzeller	650.000.000	115 g/m²
Fadenwürmer (z. B. Nematoden)	1.800.000	1,4 g/m²
Regenwürmer	130	145 g/m²
kleine Borstenwürmer	10.000	2 g/m²
Springschwänze (Urinsekten)	28.000	11 g/m²
sonstige Insekten (Käfer und ihre Larven, Fliegenlarven, Ameisen)	1.360	46 g/m²
Tausendfüßer	550	20 g/m²
Asseln (Krebstiere)	300	4 g/m²
Milben (Spinnentiere)	18.000	10 g/m²
Spinnen	230	2 g/m²
Schnecken	50	25 g/m²
	Gesamtbiomasse	**1.014 g/m²**

Die Zahlen sollen nur dem Zweck dienen, Erstaunen über die Vielfalt und die Menge an Boden-Lebewesen zu erzeugen und zu Fragen bzw. Hypothesen anzuregen wie: Warum sind ausgerechnet Bakterien und Pilze so häufig im Boden?

5.4.1 Bildung von Humus

Der Humus besteht aus fein zersetzter organischer Substanz und ist wesentlicher Bestandteil im Oberboden (A-Horizont) neben Wasser, gelösten Mineralien und festen Gesteinsanteilen in unterschiedlichen Korngrößen (wie Ton oder Sand).

Stationen des zeitlichen Ablaufs der Humusbildung:

- Totes organisches Material wie z. B. abgeworfenes Laub, Kot und Leichen von Tieren häufen sich auf dem Boden an und bilden dort die Streuschicht.
- Ein Teil der in ihnen befindlichen organischen Stoffe löst sich im Regenwasser bzw. wird chemisch verändert (Oxidation durch Luftsauerstoff, Hydrolyse bei feucht-warmer Witterung*) und damit zugänglich für Mikroorganismen, v. a. Bakterien.
- Größere Bodentiere wie Insekten, Tausendfüßer, Spinnen oder Ringelwürmer zerkleinern das Material der Streuschicht mechanisch, fressen es teilweise und scheiden es meist unvollständig verdaut wieder aus. Weil sich diese Tiere bewegen bzw. das Material aktiv in den Boden einziehen (Regenwürmer), wird das zuvor auf der Bodenoberfläche abgelagerte Material in den Boden eingearbeitet.
- Das eingearbeitete Material steht damit kleineren im Boden lebenden Tieren (Urinsekten, Milben, winzigen Bodenwürmern) zur Verfügung.

* Die Oxidation ist den NTG-Schülern bereits bekannt, die Hydrolyse noch nicht.

5.4.2 Die Mineralisierung

In sehr unterschiedlichem Tempo werden die organischen Stoffe durch Verdauung und Zellatmung chemisch umgewandelt:

- Aus zucker- und fettartigen Stoffen entstehen dabei letztendlich Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O).
- Andere Stoffe enthalten noch weitere chemische Elemente. Bei ihrem vollständigen Abbau werden neben Kohlenstoffdioxid und Wasser auch **Mineralstoffe** wie Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-) oder Phosphat (PO_4^{3-}) freigesetzt. (Die Formeln haben hier nur informellen Charakter, denn auch die NTG-Schüler kennen noch keine Molekül-Ionen. Sie dürfen also keinesfalls zum Lernstoff gemacht werden, weil die Schüler sie nicht verstehen.)
- Die Zellulose (Zellstoff), der Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwand und die flexible Komponente im Verbundwerkstoff Holz, kann nur von wenigen darauf spezialisierten Mikroorganismen (Pilze, Einzeller, Bakterien) abgebaut werden.
- Das Lignin (Holzstoff), die „harte“ Komponente im Verbundwerkstoff Holz, kann ebenfalls nur von Spezialisten abgebaut werden, z. B. Weißfäulepilzen. Das geht langsam vor sich, so dass ältere Bodenschichten einen größeren Lignin-Anteil haben als jüngere Bodenschichten (zeitliche Veränderung der Bodenzusammensetzung).
- Bakterien spielen bei den Abbauvorgängen im Boden eine besondere Rolle, weil es unter ihnen viele Spezialisten gibt, die z. B. bestimmte schwer abbaubare Stoffe chemisch umwandeln können oder die bei Sauerstoff-Armut (tiefe Schichten in verdichtetem Boden, Staunässe) anaeroben Abbau betreiben können.

5.4.3 Der Tea-Bag-Index

Mit dem Tea-Bag-Index wird die Zersetzungsrate im Boden bestimmt. Dazu werden im April pro Untersuchungs-Stelle je 3 Teebeutel mit Rooibos- bzw. Grün-Tee 8 cm tief im Boden vergraben und dort für 90 Tage belassen. Gemessen wird das Trockengewicht vor dem Vergraben und nach dem Ausgraben und Säubern. Wichtig: Übliche Teebeutel-Hüllen verrotten in dieser Zeit; für die Untersuchung müssen deshalb Kunststoff-Teebeutel verwendet werden, nicht nicht abgebaut werden.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF hat für das Wissenschaftsjahr 2020/21 mit diesem Thema ein Projekt ins Leben gerufen, für das es Schulen einen Untersuchungskoffer (mit Tee in Kunststoffbeuteln), Informations- und Arbeitsmaterialien zur

Verfügung stellt. Die Informationen unter expedition-erdreich.de sind viel zu ausführlich und für eine konkrete Planung wenig hilfreich.
Ergiebiger ist: https://www.expedition-erdreich.de/files/EE_AH_barr.pdf. Das ist eine 32-seitige Broschüre; der Tea-Bag-Index steht auf Seite 10-13 (= Blatt 12-15). Ein Problem dabei ist, dass nicht bekannt ist, wie lange das Ministerium den Untersuchungskoffer noch zur Verfügung stellen wird (v. a. wegen der Kunststoffbeutel interessant), ein anderes, dass das Ministerium die Vorschriften zur Auswertung nicht bekannt gibt, sondern dass die Messdaten online eingegeben werden müssen und daraus ein Ergebnis berechnet wird.

5.5 Der Kreislauf der Kohlenstoff-Atome

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
einfacher Kohlenstoffatomkreislauf: atmosphärisches Kohlenstoffdioxid, Produzenten, Konsumenten (auch Destruenten)	stellen einen einfachen Kohlenstoffatomkreislauf als Wechselwirkungen zwischen Organismen und zwischen Organismen und unbelebter Materie dar.

Der Kohlenstoffatom-Kreislauf war im NTG bereits Thema in der 8. Klasse Chemie (Lernbereich 3), in den übrigen Zweigen des bayerischen Gymnasiums wurde er im laufenden Schuljahr angesprochen (Lernbereich 3). Eine Absprache mit der jeweiligen Chemie-Lehrkraft ist deshalb dringend anzuraten.

Zur Begrifflichkeit: In früheren Lehrplänen wurden Begriffe wie „Kohlenstoffkreislauf“ verwendet. In der Chemie wird inzwischen sehr viel Wert auf sprachliche Trennung von Stoff- und Teilchenebene gelegt. „Kohlenstoff“ ist ein Begriff der Stoffebene und bezeichnet elementaren Kohlenstoff, der als Graphit, Fulleren, Graphen oder Diamant vorliegen kann. Diese ausschließlich aus Kohlenstoff-Atomen bestehenden Stoffe sind nicht Teil der organischen Welt. Deshalb sollte in Biologie korrekt vom „Kohlenstoffatomkreislauf“ gesprochen werden oder, um das sehr lange Kompositum etwas handlicher zu gestalten, vom „Kreislauf der Kohlenstoff-Atome“. Das ist nicht nur wichtig, damit die Naturwissenschaften mit einer Zunge sprechen, sondern weil die genaue Bezeichnung hilft, Missverständnisse zu vermeiden. (Ich habe wiederholt erlebt, wie Schüler behaupten, der Mensch atme Kohlenstoff aus.)

Es kommt hier nicht auf weitgehende Vollständigkeit aller möglichen Kohlenstoffdioxid-Quellen an, auch nicht auf das Jonglieren mit ohnehin kaum fassbaren globalen Zahlen, sondern auf ein Verständnis dieses Kreislaufs, ohne dessen Kenntnis man kaum fundiert in der Klima-Diskussion mithalten kann (Kohlenstoffdioxid einfach als „böse“ zu brandmarken, wäre extrem zu kurz gegriffen! Und Pflanzen sehen das ohnehin ganz anders...).

Wesentliche Lerninhalte:

- In jedem Ökosystem gibt es einen geschlossenen Kreislauf der Stoffe. (Das Leben auf der Erde hätte auf Dauer keine Chance, wenn es die dafür nötigen Ressourcen nicht ständig erneuern würde.)
- Die organischen Stoffe basieren auf einem Gerüst aus Kohlenstoff-Atomen (das ist den Schülern aus der Chemie noch nicht bekannt!). Die Schüler kennen aber solche Stoffe: Kohlenhydrate, Proteine, Fette, Nukleinsäuren oder Sonderstoffe wie Chlorophyll.
- Produzenten: In der Photosynthese findet mit Sonnenlicht als Energiequelle eine Stoffumwandlung statt, bei der u. a. aus dem anorganischen Stoff Kohlenstoffdioxid der organische Stoff Traubenzucker entsteht. Ein Traubenzucker-Molekül enthält sechs Kohlenstoff-Atome.
- Der Traubenzucker stellt den Rohstoff für die Herstellung aller anderen Stoffe in den Organismen dar.

- Konsumenten: In der Nahrungskette werden organische Stoffe – und damit die in ihnen enthaltenen Kohlenstoff-Atome – an die Organismen der nächsten Trophie-Ebene weiter gegeben.
- Beim vollständigen Abbau in der Zellatmung findet eine Stoffumwandlung statt, bei der sich alle Kohlenstoff-Atome aus den organischen Stoffen mit Sauerstoff verbinden, so dass Kohlenstoffdioxid entsteht.
- Destruenten: Sie unterziehen die organischen Stoffe, die von den Konsumenten nicht oder nicht vollständig abgebaut wurden, dem vollständigen Abbau. Alle darin befindlichen Kohlenstoff-Atome sind am Ende Bestandteil von Kohlenstoffdioxid-Molekülen.
- Das von den Organismen abgegebene gasförmige Kohlenstoffdioxid entweicht in die Luft und bildet dort das atmosphärische Kohlenstoffdioxid. Es steht den Produzenten zur Photosynthese zur Verfügung, womit sich der Kreislauf schließt. Sein Anteil in der Luft beträgt etwa 0,04 %.

Weitere Kohlenstoffdioxid-Quellen wie Vulkanismus und -Senken wie Entstehung fossiler Brennstoffe sind an dieser Stelle ebenso wenig Thema wie eine umweltpolitische Diskussion.

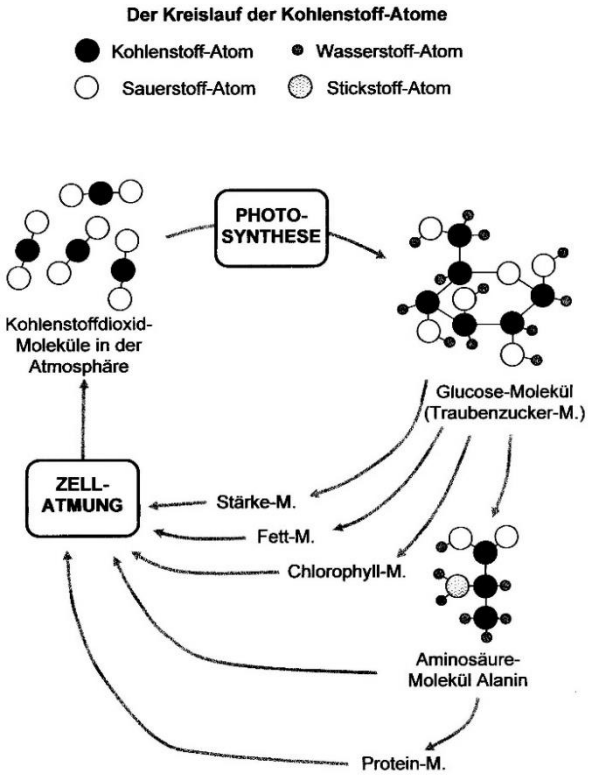
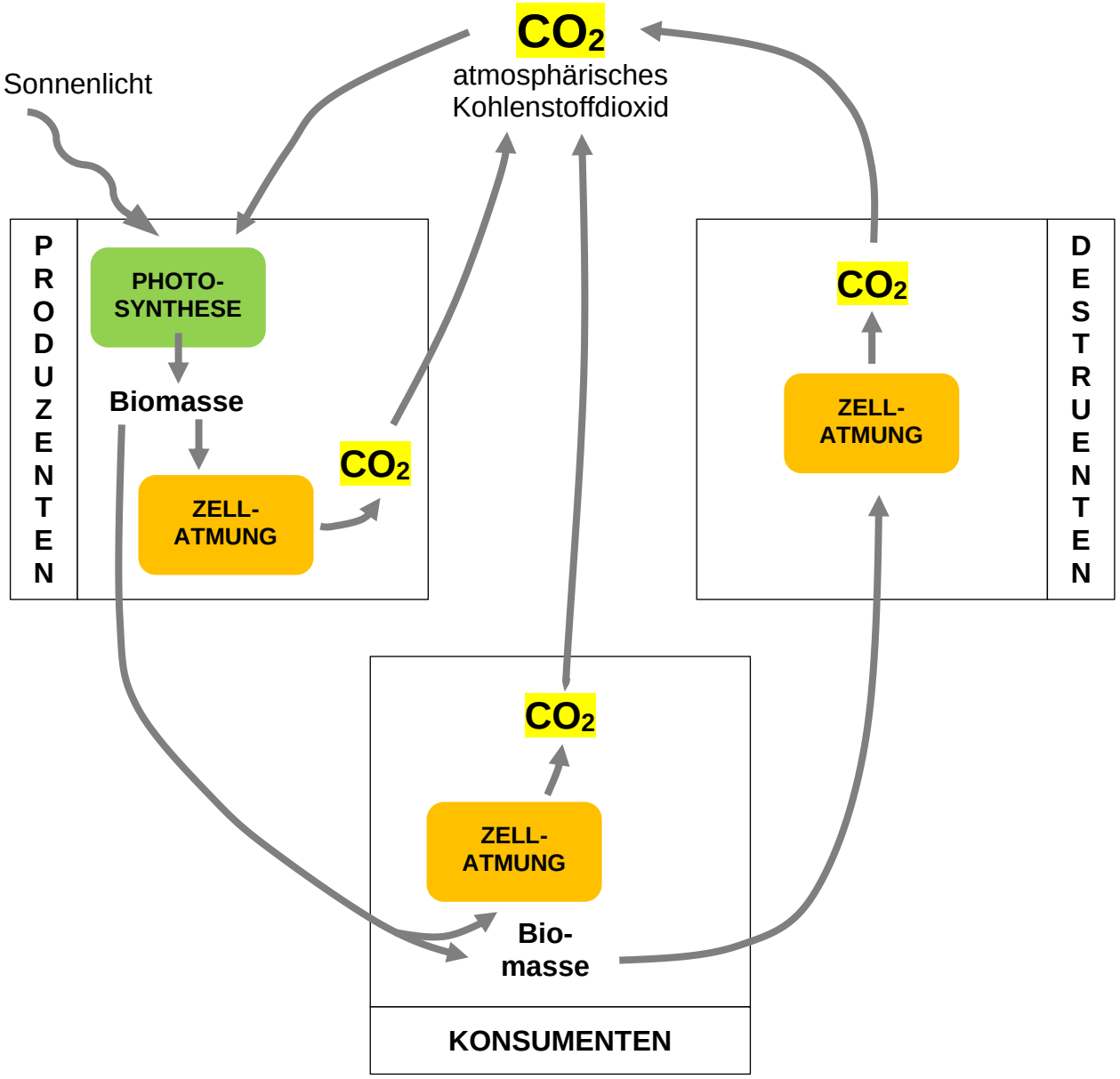


Abbildung zur Stoffumwandlung im Kreislauf der Kohlenstoff-Atome:
[word] [pdf] [jpg]

Mit dem Begriff „Kohlenstoff“ wird spontan in der Regel Kohle assoziiert, ein schwarzer Feststoff. Deshalb ist es nicht einfach für die Schüler, ein tragfähiges mentales Bild von den „Abenteuern“ der Kohlenstoff-Atome in diesem Kreislauf zu erhalten, weil weder ein unsichtbares Gas noch Stoffe wie Zucker mit einer Vorstellung von Kohle vereinbar sind. Ich habe dafür die nebenstehende Abbildung entwickelt, die chemisch korrekt ist, aber keine größeren Kenntnisse in Chemie voraussetzt. Sie stellt keinen Lernstoff dar, sondern eine Lernhilfe.

Aus dem Unterrichts-Ergebnis sollte ein Pfeildiagramm entwickelt werden, z. B.:



Diese Abbildung setzt voraus, dass die Schüler die Stoffumwandlungen verstanden haben. Sie zeigt den Kreislauf der Kohlenstoff-Atome in der Biomasse im Wechsel der Trophie-Ebenen und im (anorganischen) atmosphärischen Kohlenstoffdioxid. Nicht dargestellt ist der Kreislauf der Atome bei den anderen Elementen.
Das Sonnenlicht kann auch weggelassen werden, weil auch sonst keine Angaben zum Energiefluss gemacht werden. Aber meist wollen die Schüler diese Angabe drin haben.
Mengenangaben werden nicht berücksichtigt.

5.6 Mensch und Ökosystem Boden (2-3 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:*** *Die Schülerinnen und Schüler ...*
Nutzen des Ökosystems für den Menschen (z. B. Anbau- und Weidefläche, Trinkwasser), Einflüsse des Menschen auf das Ökosystem (z. B. Düngung, Schadstoffeintrag, Verdichtung, Versiegelung, Erosion, Möglichkeiten einer nachhaltigen Bodenbewirtschaftung)	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. *bewerten selbständig 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 (Lernbereich 1).*

5.6.1 Nutzen für den Menschen

Der LehrplanPLUS nennt hier nur Vorschläge und lässt der Lehrkraft freie Hand bei Auswahl und Umfang der konkreten Lerninhalte.

Katastrophenbilder, die zeigen, was passiert, wenn der Boden seine Aufgaben nicht richtig erfüllt, können dem Einstieg sowie der Erarbeitung dienen, z. B. Flächenbrand, Überschwemmung, abgeschwemmter Boden, Erdrutsch.

Inhalte z. B.:

- Anbau pflanzlicher Nahrungsmittel (Obst, Gemüse)
- Anbau von Futtermitteln für Nutztiere
- Weidefläche für Nutztiere (v. a. wenn der Ackerbau nicht profitabel ist)
- Wasserrückhaltung: Boden hält eine bestimmte Menge Wasser zurück, bevor er sie wieder abgibt, und vermindert so die Gefahr von Überschwemmungen durch stark angestiegene Wasserspiegel in Flüssen.
- Trinkwassergewinnung: Boden filtriert Feststoff-Partikel, die mit dem Regen oder durch Einschwemmungen eingebracht werden, und bindet gelöste Stoffe wie Mineralsalze.

5.6.2 Einflüsse des Menschen auf das Ökosystem

Anregungen, aus denen wohl ausgewählt werden muss. Weil gerade die umweltrelevanten Aspekte vielen Schülern sehr wichtig sind, sollte entsprechend viel Zeit eingeplant werden, am besten ein Projekttag (auch wenn es für die Referate usw. dann keine zeugnisrelevanten Noten mehr gibt).

Wesentliche Aspekte z. B.:

- Versiegelung: Nutzung von zuvor bewachsenem Boden als Bauland, für Verkehrswege usw. (dadurch nach wie vor sehr große Verluste von Naturflächen und landwirtschaftlichen Nutzflächen trotz der inzwischen reduzierten staatlichen Vorgaben)
- Umwandlung von Naturfläche in landwirtschaftliche Nutzfläche; dadurch Verlust von Lebensraum für viele Pflanzen und Tiere (Beispiel: Vernichtung von Regenwald in Brasilien für den Anbau von Soja; Vernichtung von Regenwald in Malaysia und Indonesien für den Anbau von Ölpalmen)
- Schadstoffeintrag durch das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pestiziden), die auch ins Erdreich gelangen; Streusalz wird neben stark gestreuten Straßen eingeschwemmt

- Grundwasser-Belastung durch Überdüngung bzw. weil die Mineraldünger sehr gut wasserlöslich sind und deshalb schnell ins Grundwasser gespült werden; immer wieder Probleme beim Trinkwasser wegen zu hohem Gehalt an Nitrat aus der Düngung
- Bodenabtrag durch Wind und Regen außerhalb der Vegetationsperiode, wenn der Boden „nackt“ ist (vgl. Abschnitt 5.1.3)
- Bodenverdichtung: Vollbeladene Erntemaschinen wie Mähdrescher drücken den Boden zusammen; dadurch starke Verengung der Bodenspalten, durch die Wasser nach unten sickert, aber auch Luft eindringt, um die unterirdischen Pflanzenteile (die nur Zellatmung, aber keine Photosynthese betreiben) mit Sauerstoff zu versorgen; außerdem wachsen hier die feinen Pflanzenwurzeln ein bzw. leben hier Bodentiere. Bodenverdichtungen bis zu 2 Meter Tiefe sind in Deutschland keine Seltenheit; maschinelle Lockerung ist danach nicht mehr möglich.

5.6.3 Der Ökologische Fußabdruck

Der ökologische Fußabdruck bedeutet die Fläche auf der Erde, die nötig ist, um den Lebensstil und Lebensstandard eines Menschen dauerhaft zu ermöglichen. Ein Wert von 1,0 würde bedeuten, dass genau so viele Ressourcen verbraucht wie neu geschaffen werden. Das ist auch beim besten Willen in Deutschland derzeit nicht zu verwirklichen.
Besonders Flugreisen erhöhen den Wert dramatisch, aber auch hoher Fleischkonsum gegenüber einer vegetarischen bzw. veganen Ernährung. Rückgriff auf die Nahrungspyramide (vgl. Abschnitt 5.2.1): Zur Herstellung von 1 kg Fleisch ist 7-10 mal mehr Fläche nötig als zur Herstellung von 1 kg hochwertiger pflanzlicher Lebensmittel. Und der Fleischkonsum hat sich in Deutschland zwischen 1970 und 2020 etwa verfünffacht!
Im Internet gibt es eine Reihe von Programmen, mit denen die Schüler ihren persönlichen ökologischen Fußabdruck bestimmen können. Sie zeigen erfahrungsgemäß großes Interesse, sind meist sehr erstaunt bis schockiert über das Ergebnis und probieren aus, wie der Fußabdruck aussieht, wenn sie ihr Verhalten dramatisch verändern würden.
Das Modell ist sehr grob und sehr stark vereinfachend. Diese Schwächen sollten im Sinne einer Modellkritik diskutiert werden.
ALP 10_2_v33

Beispiele für interaktive Webseiten zur Ermittlung des persönlichen Fußabdrucks (Stand: Oktober 2020):

- https://www.umweltbildung.enu.at/methode-oekologischer-fussabdruck (Energie- und Umweltagentur Niederösterreich)
- http://www.fussabdruck.de (Brot für die Welt)
- http://www.footprint-deutschland.de (BUND-Jugend)
- http://www.mein-fussabdruck.at (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreich)

Einige konkrete Daten sowie in Literaturhinweis zur Kohlenstoffdioxid-Belastung:
[word] [pdf]

5.6.4 Nachhaltige Bodenbewirtschaftung

Hier gilt es aufzupassen, dass die Argumentation nicht in billige Bauern-Schelte ausartet! (Echte) Landwirte haben durchaus großes Interesse an nachhaltiger Bewirtschaftung, aber der Hungerlohn, den sie oft für ihre Produkte bekommen (zu billige Milch, zu billige Eier, viel zu billiger Weizen, extrem zu billiges Fleisch!), lässt ihnen keinen Spielraum. Dazu passt das Lied von Stofferl Well: „Fifty Cent“, in dem er fordert, dass der Milchbauer 50 Cent für einen Liter Milch bekommen sollte.

Anregungen inhaltlicher Art finden Sie der Handreichung „Lernort Boden“, Modul E, herausgegeben vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz BStMUV: https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/lernort_boden/doc/modul_e.pdf

Ein paar Beispiele:

- Bewirtschaftung mit kleineren und damit leichteren Ackergeräten, um Bodenverdichtung gering zu halten; möglichst seltene Befahrung der landwirtschaftlichen Nutzfläche
- Mischkulturen, um den Einsatz von Pestiziden stark bzw. ganz einzuschränken
- Feldgehölze, um Vögeln und Insekten Lebensraum zu schaffen, die unerwünschten Befall mit Nahrungskonkurrenten eindämmen („biologische Schädlingsbekämpfung“)
- organische statt mineralischer Düngung, weil die organische Stoffe nur allmählich abgebaut werden und die dadurch entstehenden Mineralien nur allmählich freigesetzt werden
- dauerhafter Bewuchs (Stoppeln stehen lassen, Mulchsaat), um Erosion zu vermeiden