Biologie Jahrgangsstufe 13 im LehrplanPLUS
VI Ökologie und Biodiversität
3 Ökologie der Biosphäre

Thomas Nickl, Dezember 2024, überarbeitet September 2025, Juli 2026
(Hinweis auf den Begriff „Beikräuter“ ergänzt nach dem Abitur 2026 im Oktober 2026)

Bitte lesen Sie meine allgemeinen Anmerkungen zur Jahrgangsstufe 13 zu den Aspekten: Materialien, didaktisch-methodische Hinweise, Kompetenzen, Berufsbilder. [docx] [pdf]

Zeitplan

VI Ökologie und Biodiversität

3 Ökologie der Biosphäre
- *3.1 Wechselwirkungen von Biomen (nur eA-Kurs)*
  - *3.1.1 Einfluss von Ökosystemen auf das Klima*
  - *3.1.2 Auswirkungen auf die Biodiversität*
- *3.2 Anthropogene Einflüsse auf die Biosphäre (nur eA-Kurs)*
  - *3.2.1 Hormonartig wirkende Substanzen in der Umwelt*
  - *3.2.2 Mikroplastik*
  - *3.2.3 Invasive Arten*
- 3.3 Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen
- 3.4 Ethische Bewertung

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 4.3 „Ökologie der Biosphäre“ im grundlegenden Anforderungsniveau (gA) ca. 4 und im erweiterten Anforderungsniveau (eA) ca. 8 Unterrichtsstunden vor (alle Formulierungen für den gA-Kurs gelten auch für den eA-Kurs). Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan:

Nummer	Abschnitte	Stunden gA	Stunden eA
1	Wechselwirkungen von Biomen	–	2
2	Anthropogene Einflüsse auf die Biosphäre	–	2
3	Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen	2	2
4	Ethische Bewertung	2	2
	Summe	**4**	**8**

Bei Zeitnot am Ende des Schuljahres bzw. wenn bei der Stoffwechsel-Biologie Stunden von der Ökologie „ausgeliehen“ worden sind, kann nach meinem Dafürhalten in den Abschnitten 3.3 und 3.4 insgesamt um etwa 2 Stunden gekürzt werden, im eA-Kurs auch mehr (vgl. Anmerkungen am Anfang der jeweiligen Abschnitte).

VI Ökologie und Biodiversität

3 Ökologie der Biosphäre

Im gA-Kurs erscheint mir die Überschrift „Ökologie der Biosphäre" allein für die beiden Unterpunkte „Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen" und „Ethische Bewertung" nicht sinnvoll. Es ist wohl besser, diese beiden Unterpunkte im gA-Kurs als 2.6 und 2.7 an den Lernbereich 4.2 (bei mir: Kapitel 2) „Anthropogene Einflüsse und der Wert der Biodiversität" anzuhängen.

3.1 Wechselwirkungen von Biomen (nur eA-Kurs)

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
Wechselwirkungen von Biomen: Einfluss von Ökosystemen auf das globale Klima (Kohlenstoffdioxidsenken, Wasserevaporation); Auswirkung von Veränderungen in Ökosystemen auf die Biodiversität (Nietenhypothese, Passagierhypothese)	beschreiben abiotische Wechselwirkungen, mit denen sich Biome gegenseitig beeinflussen, um ihre weltweite Vernetzung zu erläutern und die Auswirkungen von Störungen auf die Biodiversität zu modellieren.

Wenn Sie sich zuvor Stunden von der Ökologie „geborgt" haben, ist es im Abschnitt 3.1 leicht möglich, eine Stunde einzusparen.

ISB-Handreichung (LIS): Wechselwirkungen zwischen Biomen (1 Seite)
[Link]
sehr knappe Erläuterungen zum Begriff Biom sowie menschliche Einflüsse auf Biome

Erklärvideo ***Biotop*** (4:32)
https://studyflix.de/biologie/biotop-2440
Einsatz: für den Unterricht weniger sinnvoll, gut geeignet aber zur Wiederholung bzw. zum ergänzenden Selbststudium der Kursteilnehmer
Inhalt: viele Fachbegriffe werden kurz vorgestellt und in einen Kontext gestellt (u. a. Biozönose, Ökosystem, Biom, Biosphäre); Unterschied von Biotop und Habitat; Biotop-Typen; Biotopverbund

Der Begriff Biom ist nicht eindeutig definiert: Mal ist nur die Lebensgemeinschaft (Biozönose) gemeint, mal das gesamte Ökosystem (mit Biotop und Biozönose). Klar ist allerdings, dass es sich um einen weit ausgedehnten Bereich der Erdoberfläche handelt. (Im deutschsprachigen Raum hat sich das System nach Heinrich Karl Walter und Siegmar-Walter Breckle durchgesetzt, in dem neben den typischen Vegetationsformen auch der Bodentyp ausschlaggebend ist.)

Beispiele für Land-Biome sind:

- tropischer Regenwald
- Savanne
- subtropische Wüsten
- mediterrane Hartlaubgehölze
- immergrüner Wald der gemäßigten Zonen
- borealer Nadelwald
- baumfreie Tundra

3.1.1 Einfluss von Ökosystemen auf das Klima

Das Thema scheint im Teilabschnitt 2.2.1 „Treibhauseffekt“ bereits auf.

Die Veränderungen im Klima beeinflussen Ökosysteme durch den Anstieg der globalen Lufttemperatur, öftere und heftigere Sturm- wie Niederschlags-Ereignisse sowie Dürren. Umgekehrt beeinflussen aber auch Ökosysteme (Biome) das Klima, indem sie z. B. als Barrieren für Winde wirken, Niederschläge speichern, die Luftfeuchtigkeit erhöhen oder Kohlenstoffdioxid speichern und damit der Erderwärmung entgegen wirken.

a) Kohlenstoffdioxid-Senken

Vgl. k) im Teilabschnitt 2.2.1 „Treibhauseffekt“.

Ein anschauliches Diagramm mit Kohlenstoff-Quellen und -Senken von 1850 bis 2000 finden Sie in Bioskop, Seite 285, Abbildung 2.

Orte der Freisetzung eines Stoffes oder einer Energieform nennt man Quelle, Orte der Bindung (Aufnahme) eines Stoffes oder einer Energieform nennt man Senke. Zunächst sollte eine kurze Übersicht zu den natürlichen Senken für Kohlenstoffdioxid erstellt werden (vgl. Tabelle in Teilabschnitt 2.2.1, bei k):

- Photosynthese: Während im Energiestoffwechsel die durch Photosynthese entstandenen organischen Stoffe schnell wieder in Kohlenstoffdioxid und Wasser umgewandelt werden, bleiben sie im Baustoffwechsel längere Zeit erhalten, z. B. in Form von Baumstämmen und -ästen, nach dem Einschlag auch als Bauholz* in menschlichen Bauten, als Torf in Mooren oder als fossile Brennstoffe, die vor vielen Millionen Jahren aus Biomasse entstanden sind. Die organischen Stoffe im Mutterboden stellen den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher dar, sind aber gleichzeitig auch die größte natürliche Quelle für Kohlenstoffdioxid.
  *) US-amerikanische Forscher haben Pappeln mit Hilfe der CRISPR/Cas-Methode genetisch so verändert (durch Ausschaltung des Gen 4CL1), dass sie ligninarmes Holz erzeugen, das sich leicht verdichten und dann sehr gut im Häuserbau einsetzen lässt. (Frank Schubert: Genetisch modizifierte Pappeln erleichtern Herstellung von Superholz. In Spektrum der Wissenschaft 11.2024, Seite 28)

- Ozeane: „In den zurückliegenden Jahrzehnten haben alle Meere zusammen etwa 25 Prozent der menschengemachten CO_2-Emissionen aus der Atmosphäre aufgenommen.“ [1)] Bei der Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasser entsteht Kohlensäure, die zwar eine sehr schwache Säure ist, aber in dieser Menge deutlich zur Versauerung der Meere beiträgt (der pH-Wert sinkt). Je saurer das Wasser ist, desto stärker werden Kalkskelette von Tieren (z. B. die Schalen von Muscheln, Schnecken oder die Gehäuse von Kalkkorallen) angegriffen (Korallenriffe stellen Lebensräume für sehr viele Wassertiere dar, sie sind durch Übersäuerung der Meere stark gefährdet). Entscheidend für die Kapazität als Kohlenstoffdioxid-Senke ist das Ausmaß der Durchmischung des Wassers: Je weiter nach unten die Kohlensäure befördert wird, desto mehr Kohlenstoffdioxid kann vom Meer insgesamt aufgenommen werden. Mit 40.000 Milliarden Tonnen speichern die Ozeane etwa 50 mal mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre.

  Bestimmte Wale wie z. B. der Pottwal nehmen in großer Tiefe Nahrung auf. Zum Atmen kommen sie an die Oberfläche und entlassen dort ihren Kot, der als Dünger für Phytoplankton wirkt. Somit befördern diese Wale Mikronährstoffe aus den Tiefen des Ozeans an die Oberfläche (Lift). Das Phytoplankton nimmt Kohlenstoffdioxid auf und bildet damit Biomasse; nach ihrem Absterben sinkt diese Biomasse in große Tiefen ab.

[1)] Katharina Menne: Das Meer als Verbündeter. In Spektrum der Wissenschaft 1.2025, Seite 15.

- Gesteinsbildung: Viele Tiere, v. a. im Meer, erzeugen Kalkskelette. Das dafür nötige Calciumcarbonat bildet sich aus im Wasser gelösten Calcium-Ionen und Carbonat-Ionen (die sich beim Lösen von Kohlenstoffdioxid in Wasser bilden*). Nach ihrem Tod sinken die Skelette auf den Boden, werden mechanisch zerkleinert und im Laufe der Zeit zu Kalkstein verpresst. Nur 0,05 % des auf der Erde vorkommenden Kohlenstoffs steht der Biosphäre zur Verfügung, 99,95 % sind in Form von Gesteinen (v. a. Kalk) gebunden. Nur wenig davon wird durch vulkanische Tätigkeit wieder freigesetzt.

  *) Die Gleichgewichtsreaktionen dazu stellen keine Lerninhalte dar:

  Bildung von Kohlensäure: $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$

  erste Protolyse mit Bildung von Hydrogencarbonat: $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HCO_3^-$

  zweite Protolyse mit Bildung von Carbonat: $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CO_3^{2-}$

Wenn Wälder oder Moore vernichtet werden, gehen wichtige Kohlenstoffdioxid-Senken verloren. Deshalb sind Aufforstung wie auch Wiedervernässung von Mooren Maßnahmen, durch die zusätzliches Kohlenstoffdioxid gebunden werden kann.

Darüberhinaus gibt es Konzepte für künstliche Senken für Kohlenstoffdioxid:

- Verpressung von Kohlenstoffdioxid in unterirdische Speicherräume bzw. im Meeresboden: CCS = *Carbon Dioxide Capture and Storage* (sehr hoher Energieaufwand, Gefahr des nachträglichen Ausgasens); für Deutschland seit 2024 gesetzlich erlaubt
- Forcierung der Gesteinsbildung im Ozean, indem große Mengen fein gemahlener basischer Mineralien (z. B. Brucit, der v. a. aus Magnesiumhydroxid besteht) auf dem Meer ausgebracht werden, die mit Kohlenstoffdioxid reagieren und dadurch schwer lösliche Carbonate bilden, die auf den Meeresboden absinken (dagegen gibt es ökologische, finanzielle und energetische Bedenken) [2)]

  (Magnesiumhydroxid dissoziiert im Meerwasser und setzt Magnesium-Ionen (Mg^{2+}) frei, die sich mit Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}) zu praktisch unlöslichem Magnesiumcarbonat ($MgCO_3$) verbinden. Die freigesetzten Hydroxid-Ionen neutralisieren einen Teil der Oxonium-Ionen, die beim Eintrag von Kohlenstoffdioxid freigesetzt werden. Keine Lerninhalte im Biologiekurs.)
- Ozeandüngung: Einbringen von Mineralien ins Meer, die dort Mangelware sind (Minimumfaktoren wie z. B. Eisen-Ionen), um das Algenwachstum zu beschleunigen. Ein Teil der abgestorbenen Algen sinkt dann auf den Meeresboden (geringe Kosten, relativ hohe Wirkung) [2)]
- Künstlicher Lift: Tiefenwasser im Ozean, das mit Mikronährstoffen angereichert ist, wird in die oberen Wasserschichten gepumpt, um dort das Algenwachstum zu beschleunigen (relativ hohe Kosten bei niedrigem Wirkungspotential) [2)]

[2)] nach Katharina Menne: Das Meer als Verbündeter. In Spektrum der Wissenschaft 1.2025, Seite 23.

b) Wasserevaporation

Evaporation im engeren (meteorologischen) Sinne bedeutet Verdunstung von Wasser auf unbewachsenem Land bzw. über Wasserflächen. Im Sinne des LehrplanPLUS ist darunter ein etwas weiter gefasster Begriff zu verstehen: Die Verdunstung von Wasser insgesamt, d. h. sowohl ohne wie auch mit Einwirkung von Lebewesen (letztere wird als Transpiration bezeichnet). Die wesentliche Komponente der Evaporation auf bewachsenem Gebiet stellt in der Regel die Verdunstung durch die Spaltöffnungen (Stomata) der Pflanzenblätter dar.

Besonders stark ist dieser Effekt in einem Biom, in dem durchgehend warme Temperaturen herrschen und in dem die Blattfläche pro Hektar besonders groß ist: im tropischen Regenwald.

Ein großer Teil des Regens, der auf tropischen Regenwald niedergeht, verdunstet relativ schnell und sorgt für eine sehr hohe Luftfeuchtigkeit. Man schätzt, dass über dem südamerikanischen Regenwald jeder Liter Wasser auf seinem Weg vom Atlantik zum Pazifik fünf bis sechs Mal verdunstet und erneut herab regnet. Durch die hohe Evaporationsrate über die Blätter ist es der Regenwald selbst, der für eine sehr hohe Jahresniederschlagssumme sorgt (über 2000 mm/a; z. B. 3000 mm/a in Manaus, das ist etwa drei Mal so viel wie in München). Modellberechnungen zeigen, dass dieser Effekt verloren geht, wenn der Bestand eines Regenwaldgebiets auf 20-25 % verringert wird. Damit wäre ein Kipp-Punkt erreicht, weil der Regenwald für seinen Fortbestand eine hohe Niederschlagssumme benötigt.

Durch die Vernichtung von tropischem Regenwald verringern sich diese Effekte global sehr deutlich. Dies hat noch nicht ganz absehbare Folgen für das globale Klima (Wind-, Temperatur- und Niederschlagssysteme). Was mit dem Regenwald geschieht, hat also auch Auswirkungen auf weit davon entfernte Gebiete wie Europa. Das ist ein Beispiel für eine globale Auswirkung eines regionalen menschlichen Eingriffs in die Biosphäre.

In Buchner, Seite 223, M2, ist der Wasserkreislauf im tropischen Regenwald dargestellt.

Der Umfang des Verlusts von tropischem Regenwald und dessen Auswirkungen auf das Klima sind in Buchner, Seite 223, M3, aufgezeigt.

3.1.2 Auswirkung auf die Biodiversität

Die Eingriffe von Menschen in Ökosysteme verursachen einen rasanten Rückgang bei der Biodiversität, der in seinem Ausmaß mit den fünf größten historischen Massenaussterben durchaus vergleichbar ist wie dem am Übergang von der Kreidezeit zur Erdneuzeit, als ein Asteroid vor 66 Millionen Jahren im Gebiet des heutigen Golf von Mexiko einschlug, wobei unter anderem alle Dinosaurier und alle Ammoniten ausstarben.

zu den Vorzeit-Massenaussterben vgl. z. B. Buchner, Seite 224, M1

Als Ursachen für das derzeitige Artensterben gelten folgende Mechanismen:

- Klimawandel: zu schnell, als dass bestimmte Arten durch natürliche Selektion darauf reagieren könnten, bzw. zu wenig Rückzugsgebiete mit kühleren Temperaturen
- chemische Veränderungen: Einsatz von Pestiziden, Überdüngung, Freisetzung von hormonartig wirkenden Substanzen (z. B. über Kunststoffe oder Medikamente; vgl. Teilabschnitt 3.2.1)
- Zerstörung natürlicher Lebensräume, um Nutzflächen für den Menschen zu schaffen
- übermäßige Entnahme von Süßwasser aus Flüssen, Seen, Grundwasser (v. a. ein Problem in ariden Gebieten, mittlerweile aber auch in Deutschland)

zu Ursachen und Auswirkungen des Artensterbens vgl. z. B. Buchner, Seite 225, M3

Wenn Ökosysteme vom Menschen verändert werden, hat dies Auswirkungen auf alle Ebenen der Biodiversität (vgl. Teilabschnitt 2.1.1):

- Die Variabilität innerhalb der einzelnen Populationen sinkt, wenn die Individuenzahl durch Einschränkungen des Lebensraums kleiner wird. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass Allele fehlen, die sich in einer veränderten Umweltsituation als vorteilhaft erweisen könnten.
- Die Vielfalt der Arten im Ökosystem sinkt, wenn aufgrund der Veränderungen bestimmte ökologische Nischen nicht mehr existieren.

- Die Vielfalt der Lebensräume (Biotope) sinkt. Dadurch ist es für bedrohte Arten schwieriger, ein Ausweichquartier zu finden.

In der Diskussion um geplante Maßnahmen, bei denen Ökosysteme verändert werden, muss berücksichtigt werden, welchen Einfluss das Fehlen bzw. der Rückgang bestimmter Arten auf die jeweiligen Ökosysteme haben wird. Dabei stehen sich u. a. folgende Modelle zur Funktion der Biodiversität gegenüber:

- **Nieten-Hypothese**: Rumpf, Flügel und Leitwerke eines Flugzeugs werden mit Nieten zusammengehalten. Jede Niete hat dabei ungefähr die gleiche Bedeutung für die Stabilität des Flugzeugs. Je mehr Nieten fehlen, desto instabiler wird das Flugzeug (linearer Zusammenhang; jede Niete zählt). Je mehr Nieten von vorneherein angebracht wurden, desto stabiler ist das Flugzeug bzw. desto mehr Nieten können fehlen, bevor es gefährlich wird. (Jede Niete steht dabei für eine Art.)
- **Passagier-Hypothese**: Hier entspricht jeder Mensch im Flugzeug einer Art. Von Bedeutung für die Sicherheit des Flugzeugs sind Piloten, Begleitpersonal, Mechaniker, nicht aber Passagiere. Übertragen auf die Ökologie bedeutet das: Es gibt Arten, die für die Stabilität des Ökosystems entscheidend sind, neben Arten, die im Ökosystem leben, dort aber auch fehlen können, ohne dass dies dessen Stabilität beeinträchtigen würde.

Naturschutzverbände neigen zur Nieten-Hypothese, Industrie-Konzerne eher zur Passagier-Hypothese. Umfassende wissenschaftliche Untersuchungen zur Bedeutung der einzelnen Arten in großen Ökosystemen stehen allerdings noch aus.

vgl. Buchner, Seite 225, M2

ISB-Handreichung (LIS): Nieten- und Passagierhypothese (1 Seite)
[Link]
sehr knappe Erläuterung beider Hypothesen für die Lehrkraft

3.2 Anthropogene Einflüsse auf die Biosphäre (nur eA-Kurs)

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	*Kompetenzerwartungen:* **Die Sch. …**
Auswirkungen anthropogener Einflüsse auf die Biosphäre: hormonartig wirkende Substanzen in der Umwelt, Mikroplastik, invasive Arten	erklären an konkreten Beispielen die globalen Auswirkungen lokaler menschlicher Eingriffe auf die Biosphäre.

Auch bei diesem Abschnitt kann bei Zeitnot leicht auf eine Stunde verkürzt werden. Andererseits eignen sich bei genügend Zeitreserve die Themen des Abschnitts 3.2 gut für Recherchen und Kurzreferate durch die Kursteilnehmer.

3.2.1 Hormonartig wirkende Substanzen in der Umwelt

Hormonpräparate zur Empfängnisverhütung gelangen teilweise über das Abwasser in die Umwelt. Andere Stoffe haben hormonartige Wirkung, obwohl sie für ganz andere Zwecke produziert werden (s. u.). Wenn solche Stoffe von Lebewesen über die Nahrung oder über die Haut aus der Umwelt aufgenommen werden, können sie den Hormonhaushalt mehr oder weniger stark schädigen. Dies kann negative Auswirkungen auf die Gesundheit, die individuelle Entwicklung bzw. die Fortpflanzungsfähigkeit haben. So beobachtet man in Deutschland seit Jahrzehnten eine sinkende Fruchtbarkeit beim Menschen.

Neben natürlichen Hormonen aus Pflanzen und Tieren sowie Hormonpräparaten in der Human- und Tiermedizin wirken in der Umwelt synthetische Substanzen, bei denen die Hormonwirkung nicht beabsichtigt ist, z. B.:

- Weichmacher wie Bisphenol A (Verbot in Deutschland ab 2025) oder Phthalate, die dafür sorgen, dass Kunststoff nicht spröde ist, sondern elastisch
- Flammschutzmittel wie bromierte Diphenyle und Diphenylether, die dafür sorgen, dass Kunststoffe oder andere brennbare Stoffe nicht entflammen bzw. nicht heftig brennen
- einige Herbizide (gegen bestimmte Pflanzen; im Abitur 2026 wird der Begriff „Beikräuter“ für unerwünschte Pflanzen verwendet) und Insektizide (gegen Insekten)
- Abbauprodukte des Insektizids DDT (Dichlor-diphenyl-trichlorethan), das zwar seit den 1970er-Jahren in Europa verboten ist, von dem aber noch Altbestände in Ökosystemen verteilt sind
- polychlorierte Biphenyle (PCBs), die bis zu ihrem Verbot in Deutschland 1989 z. B. in Isolierölen von Transformatoren oder als Weichmacher in Kunststoffen und Dichtungsmassen eingesetzt wurden, stehen im Verdacht, bei männlichen Tieren für Unfruchtbarkeit zu sorgen

Eine gute und kurze Zusammenfassung wird auf der Webseite des Ökotoxzentrums gegeben, welche die Merkmale einer zuverlässigen Quelle zeigt (Autoren werden genannt, sind erreichbar; Quellen werden genannt und verlinkt; wissenschaftlicher Sprachduktus) und sich für die Bearbeitung durch Kursteilnehmer eignet:
https://www.oekotoxzentrum.ch/media/2235/2012_hormonaktive_stoffe_de.pdf

vgl. Buchner, Seite 228 f. (Abschnitt 4.26)

3.2.2 Mikroplastik

Am Beispiel Mikroplastik lässt sich sehr gut zeigen, wie lokale menschliche Eingriffe (z. B. wenn der Müll einer Insel in eine Bucht geschüttet wird) zu globalen Auswirkungen führen (vgl. die Formulierung bei den Kompetenzerwartungen).

Erklärvideo von explainity: ***Mikroplastik einfach erklärt*** (4:06)
https://www.youtube.com/watch?v=NjGdeeCVa9c
Einsatz: im Unterricht und zum Selbststudium hervorragend geeignet
Inhalt: umfassende, klar dargestellte Information
Gegenstände mit oder aus Plastik; nicht abbaubar; Zerfall in Mikro- und Nanoplastik (sekundäres Mikroplastik, Beispiel Reifenabrieb); primäres Mikroplastik: kleine Pellets als Rohmaterial bei der Herstellung von Kunststoffartikeln sowie Granulate in Produkten; Verteilung und Zerkleinerung an Land und im Wasser; an der Oberfläche lagern sich Krankheitserreger und Giftstoffe an; Verwechslung mit Nahrung, Nahrungskette; Folgen der Aufnahme von Mikroplastik in den Körper; alternative Materialien und Recycling

Lied: *Tartaruga de Plastica* (Plastikschildkröte) von der Gruppe Ganes
Video [Link], Text auf Ladinisch und Deutsch [Link]
Es geht um eine Fahrt ans Meer ohne Gedanken an Plastikmüll, der am Strand dann aber nicht mehr übersehen werden kann. Zwar wird nicht speziell stark zerkleinerter Plastikmüll thematisiert, aber das Lied kann – ganz oder ausschnittsweise – einen Einstieg ins Thema bilden.
Die Schwestern Elli und Marlene Schuen bilden den Kern der jetzigen Besetzung. Sie stammen aus La Val im Gadertal, Südtirol, wo noch ladinisch gesprochen wird, und singen vor allem in ihrer Muttersprache.

So kann das Lied auch das Tor zu einer Minderheitensprache öffnen, die in der Römerzeit von Regensburg bis zum Bodensee und zum Gardasee verbreitet war, bis sie in der Völkerwanderung fast völlig verdrängt wurde.

Ein Kreisdiagramm mit Mengenangaben zur Herkunft von Mikroplastik finden Sie in Biologie heute, Westermann 2025, Seite 212 in Aufgabe 8.
Eine detaillierte Darstellung zum Eintrag von Mikroplastik in Ökosysteme mit Mengenangaben finden Sie in Bioskop, Seite 299, in Abbildung 2.

Als Mikroplastik bezeichnet man Kunststoff-Objekte zwischen 5 mm und 0,001 mm (1 µm). Ihre Herkunft in der Umwelt ist unterschiedlich:

- Mikroplastik-Partikel, die als solche für den Gebrauch produziert wurden (primäres Mikroplastik) z. B. als Zusatz in Peeling, Duschgel, Shampoo, Zahnpasta oder Babywindel
- Faserabrieb von Kunstfasern in Fleece-Jacken, Sportkleidung oder T-Shirts (sekundäres Mikroplastik)
- Bruchstücke aus Kunststoffartikeln, v. a. Verpackungsmaterial wie Getränkeflaschen oder Plastiktüten (sekundäres Mikroplastik)
- Abrieb von Autoreifen (mit etwa einem Drittel der größte Anteil bei Mikroplastik an Land; sekundäres Mikroplastik)

Der Transport in den Boden erfolgt v. a. durch Wind, der Transport ins Meer v. a. über Abwasser und Flüsse.

Die Zerkleinerung erfolgt durch Abrieb, Wellenschlag bzw. Brüchigwerden durch Sonneneinstrahlung.

In Deutschland werden nach einer Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik von 2018 jährlich rund 446.000 Tonnen Kunststoffe in die Umwelt freigesetzt, davon ca. 330.000 Tonnen in Form von Mikroplastik. Das sind etwa 4 kg pro Person (im weltweiten Vergleich ein extrem hoher Wert). Der größte Anteil des Mikroplastik im Meer stammt aus der Fischerei: Bruchstücke von Fangnetzen und Reusen.

Makroplastik im Meer wird von Strömungen zusammengetrieben, z. B. durch den Nordpazifikwirbel, der den *Großen Pazifischen Müllteppich* (Great Pacific Garbage Patch) mit einer Ausdehnung von 1,6 Millionen Quadratkilometern gebildet hat. Er besteht neben Makro- auch aus Mikroplastik.

Problematik:

- Kunststoffe sind sehr schwer abbaubar und verbleiben deshalb über Jahrzehnte und Jahrhunderte in der Umwelt. (Allerdings gibt es in unseren Böden Mikroorganismen, die Polyethen (PE) verstoffwechseln können, und es wurden bereits Mikroorganismen entdeckt, die Polyethen-terephthalat (PET) abbauen können)
- Kunststoff-Partikel werden praktisch überall in der Biosphäre nachgewiesen, selbst in Krebsen, die isoliert in Tiefseegräben leben.
- Mikroplastik wird von Lebewesen im Boden bzw. im Meer mit Nahrung verwechselt und verzehrt. Bei einer Untersuchung im Nordatlantik wurde 2015 festgestellt, dass der Verdauungstrakt bei 73 % der gefangenen Fische Mikroplastik enthielt. Auch in vielen anderen Wassertieren wurden mit großer Häufigkeit Mikroplastik-Partikel gefunden.
- Kunststoffe enthalten oft Zuschlagstoffe wie Weichmacher u. a., die hormonartig bzw. giftig wirken. Dazu kommt, dass sich freie unpolare Giftmoleküle (wie polyzyklische

aromatische Kohlenwasserstoffe) an unpolare Kunststoff-Partikel aus Polyethen oder Polypropen anheften.

- Menschen nehmen sehr kleine Plastik-Partikel (Nanoplastik: unter 1 µm) mit der Nahrung auf bzw. atmen sie ein (v. a. Textil- und Reifenabrieb).
- Mikroplastik kann das Wachstum bei Pflanzen beeinflussen und bei Tieren zu Entzündungen, Veränderungen im Stoffwechsel und Verhaltensänderungen führen. Zudem können am oder im Plastik-Partikel befindliche Giftmoleküle freigesetzt werden.
- Eine abschließende gesundheitliche Risikobewertung für die Auswirkungen von Mikroplastik auf den Menschen kann derzeit noch nicht erfolgen.

Eine gute Quelle zu diesem Thema, auch für Kursteilnehmer, ist der Wikipedia-Artikel „Mikroplastik".

3.2.3 Invasive Arten

*Hier kommt es zu Überschneidungen mit Teilabschnitt 1.6.4. „Neobiota". Dort finden Sie didaktische Hinweise und viele **Beispiele für Neobiota**, wie invasive Arten auch genannt werden. Ich nenne hier deshalb nur Kriterien für die Auswahl an möglichen Aspekten:*

- Herkunft der Neobiota
- Konkurrenz zwischen Neobiota und einheimischen Arten mit gleicher ökologischer Nische
- Zurückdrängen einheimischer Arten, wenn Neobiota eine höhere Fortpflanzungsrate haben, resistent gegen Parasiten oder Krankheitserreger sind, keine (effektiven) Fressfeinde haben bzw. als Nahrung einheimische Arten nutzen, die dagegen keine effektiven Strategien besitzen
- Gefahr des Aussterbens von einheimischen Arten, die anderswo nicht vorkommen (endemische Arten)

Zur Begriffsdefinition: Nicht alle eingewanderten Arten gelten als invasiv, sondern nur solche, die sich in der Natur ausbreiten und einheimische Arten in ihrem Bestand gefährden.

Bei 60 Prozent der in den letzten Jahrzehnten weltweit ausgestorbenen Arten bildeten vom Menschen eingeführte nichtheimische Arten eine Hauptursache für deren Aussterben.

Auch hier lässt sich gut zeigen, wie ein lokaler menschlicher Eingriff (z. B. durch Aussetzen einer jagdbaren Tierart oder eines Fressfeindes an einem einzigen Ort) zu überregionalen Auswirkungen führen kann (durch massive Vermehrung und Ausbreitung der invasiven Art). Besonders gefährdet sind die vergleichsweise primitiven Beuteltiere in Australien und Neuseeland, weil sie in der Regel nicht mit den „High-Tech"-Entwicklungen der höheren Säugetiere mithalten können.

vgl. Buchner, Seite 227, M3

Neueste Forschung (2024):
Forschungsteams an der Universität Wien und der La Sapienza Universität in Rom stellten 2024 fest, dass von den weltweit derzeit 230 nichtheimischen Säugetier-Arten, die in Gebiete eingeführt worden sind, in denen sie zuvor nicht vorkamen, 36 Arten in ihrer ursprünglichen Heimat vom Aussterben bedroht sind (die meisten davon durch Zerstörung des Regenwalds bzw. Überjagung). Das führt zu einem Naturschutz-Paradoxon: Sollen invasive Arten, die in ihrem Ursprungsgebiet bedroht sind, im neuen Verbreitungsgebiet bekämpft oder geschützt werden?

Beispiele:

- Der Bestand der Schopfmakaken ist in deren Heimat auf Sulawesi seit 1978 um 85 Prozent zurückgegangen, während sie sich auf anderen Inseln Indonesiens ausbreiten.
- Während sich das europäische Wildkaninchen in Australien stark vermehrt, ist es in Europa bedroht.

[Tedeschi et al.: Threatened mammals with alien populations: distribution, causes, and conservation. Conservation Letters (2024), DOI: 10.1111/conl.13069]
https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/conl.13069

3.3 Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
Zusammenwirken unterschiedlicher (natur)wissenschaftlicher Disziplinen bei der Untersuchung globaler Veränderungen von Ökosystemen	ggf.: analysieren aus verschiedenen Perspektiven Dilemmata, die sich durch Interessenkonflikte aus der persönlichen Lebenswelt zwischen ökonomischen und ökologischen Erfordernissen ergeben und leiten durch eine individuelle Wertehierarchisierung Handlungsoptionen für eine nachhaltige Lebensweise auf persönlicher und gesellschaftlicher Ebene ab.

Weil im gA-Kurs die Abschnitte 3.1. und 3.2 entfallen, müssen die Teilüberschriften 3.3 und 3.4 im gA-Kurs entsprechend anders nummeriert werden. Vielleicht hängen Sie sie als 2.6 und 2.7 an den Lernbereich 4.2 (bei mir Kapitel 2) an.
Auch an dieser Stelle kann problemlos auf eine Unterrichtsstunde eingekürzt werden. Die Thematik kann alternativ auch in den vorhergegehenden Unterricht integriert werden. Den Kursteilnehmern muss nur klar sein, dass das Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen einen eigenen Lerninhalt darstellt.

Am besten wird am Beispiel eines konkreten Falles globaler Veränderungen von Ökosystemen aufgezeigt, welche naturwissenschaftlichen Disziplinen an deren Untersuchung beteiligt sind, welche Arbeitsweisen sie einsetzen und zu welchen (vielleicht auch widersprüchlichen) Ergebnissen sie kommen. Wichtig erscheint mir hierbei nicht so sehr neues Detailwissen, sondern vielmehr die Erkenntnis, dass viele Disziplinen zusammen arbeiten müssen, um zu einem tragfähigen Ergebnis zu gelangen. Bei einem in einer Prüfung vorgegebenen Fall sollen die Kursteilnehmer zugehörige Disziplinen benennen und deren Beitrag umreißen können.

Buchner, Seite 232, zeigt in M1 verschiedene Aufgabenbereiche sowie die zugehörigen Disziplinen, die von den Kursteilnehmern zugeordnet werden sollen.

Beispiel: Klimawandel

- Meteorologie: Auswertung von Satellitendaten zu Wolkenbildung, Bewuchs, Vereisung usw.; Auswertung von Messdaten aus stationären Einrichtungen zu bodennaher Lufttemperatur, Konzentration an Treibhausgasen, Windgeschwindigkeiten usw.
- Hydrologie: Messung von Temperaturen und Strömungen in den Ozeanen; Abflussverhalten von Bächen und Flüssen
- Glaziologie: Auswertung von Eisbohrkernen zu Lufttemperatur, Konzentration an Treibhausgasen in früheren Zeiten; Messung des Gletscherschwunds
- Botanik, Forstwissenschaften: Veränderungen am Baumbestand bzw. Schadbilder an Bäumen
- Zoologie: Veränderungen der Populationsgrößen bzw. der globalen Verbreitung bestimmter Tierarten

- Informatik: Erstellen von Klimamodellen, mit denen unterschiedliche Szenarien durchgespielt werden können

Beispiel: Algenblüte
Buchner, Seite 233, gibt in M2 Informationen zu chinesischen Untersuchungen großflächiger Algenblüten, die von den Kursteilnehmern ausgewertet werden können.

Beispiel: Globales Waldsterben
Buchner, Seite 233, gibt in M3 Informationen zum globalen Waldsterben, die von den Kursteilnehmern ausgewertet werden können.

3.4 Ethische Bewertung

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
ethische Bewertung verschiedener Handlungsoptionen durch eine Priorisierung von Werten	analysieren aus verschiedenen Perspektiven Dilemmata, die sich durch Interessenkonflikte aus der persönlichen Lebenswelt zwischen ökonomischen und ökologischen Erfordernissen ergeben und leiten durch eine individuelle Wertehierarchisierung Handlungsoptionen für eine nachhaltige Lebensweise auf persönlicher und gesellschaftlicher Ebene ab.

Auch an dieser Stelle kann problemlos auf eine Unterrichtsstunde eingekürzt werden. Die Thematik kann alternativ auch in den vorhergegehenden Unterricht integriert werden. Den Kursteilnehmern muss nur klar sein, dass die ethische Bewertung bezüglich ökologischer Handlungsoptionen einen eigenen Lerninhalt darstellt.

Eigentlich beschreibt die Formulierung bei den Inhalten ein Unterrichtsprinzip, dass sich durch den gesamten Biologieunterricht ziehen sollte, vor allem in der Kursphase. Zum Abschluss der Schullaufbahn könnte am Ende aber noch ein Fall stehen, in dem ein weiteres Mal das Schema der ethischen Bewertung angewandt wird:

- Beschreibung der Fakten
- Nennung der relevanten Werte (und Normen): verschiedene Handlungsoptionen
- Priorisierung (Gewichtung) der Werte (und Normen)

Am besten wählen die Kursteilnehmer selbst so einen Fall aus oder sie befassen sich arbeitsteilig in Gruppen mit mehreren selbst ausgewählten Fällen.

Bioskop zeigt auf Seite 288 f sehr detailliert die Kriterien für die ökologische Bewertung einer Kursfahrt.

„Wertehierarchisierung und Kosten-Nutzen-Analysen“ in Bioskop, Seite 300-301

„Handlungsoptionen für eine nachhaltige Lebensweise“ in Biologie heute, Seite 218-219