

Biologie Jahrgangsstufe 13 im LehrplanPLUS

VI Ökologie und Biodiversität

1 Dynamische Prozesse in Ökosystem

Thomas Nickl, Dezember 2024

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

[Allgemeine Vorbemerkungen zur Ökologie](#)

[Zeitplan](#)

VI Ökologie und Biodiversität

1 Dynamische Prozesse in Ökosystemen

1.1 Biotop: abiotische Faktoren

1.1.1 Abiotische Faktoren und Messverfahren

1.1.2 Untersuchungen

1.2 Biozönose: biotische Faktoren

1.2.1 Biotische Faktoren

1.2.2 Erfassung von Arten und Populationen

1.2.3 Untersuchungen im Rahmen des Kursunterrichts

1.2.4 Nahrungsbeziehungen

1.2.5 Stoffkreislauf und Energiefluss

1.3 Einfluss abiotischer Faktoren auf Individuen

1.3.1 Untersuchungen zu abiotischen Faktoren

1.3.2 Toleranzkurven der physiologischen Potenz

1.3.3 Generalisten und Spezialisten

1.3.4 Ökogramme (fakultativ im eA-Kurs)

1.4 Einfluss biotischer Faktoren auf Individuen

1.4.1 Konkurrenz

1.4.2 Ökologische Potenz

1.4.3 Koexistenz

1.4.4 Symbiose

1.4.5 Prädation

1.5 Konkurrenzvermeidung und ökologische Nische

1.5.1 Konkurrenzvermeidung

1.5.2 Ökologische Nische

1.6 Populationsentwicklung

1.6.1 Exponentielles Populationswachstum

1.6.2 Reale Wachstumsphasen einer Population

1.6.3 Regulation der Populationsgröße

1.6.4 Neobiota

1.6.5 Populationsentwicklung des Menschen

1.6.6 K- und r-Strategie (nur eA-Kurs)

1.7 Methoden der Populationsabschätzung (nur eA-Kurs)

Hinweise zu Buchner
Q13 beziehen sich auf
die Prüfversion.

Allgemeine Vorbemerkungen zum Lernbereich 4 „Ökologie und Biodiversität“

In meinen Skripten zur Ökologie in Q13 sind viele Beispiele aufgeführt, viele Hintergrund-Informationen, ebenso an mehreren Stellen fakultative Abschnitte. Sie müssen für den Unterricht daraus eine kleine Auswahl treffen, denn sonst läuft Ihnen die Zeit davon.

Bei studyflix gibt es sehr viele Lehrvideos zur Ökologie. Viele davon habe ich kommentiert, aber nur die Kommentare zu denjenigen Filmen in das vorliegende Skript aufgenommen, deren Einsatz in der Oberstufe nahe liegen könnte. Alle Kommentare zu studyflix-Filmen für die Q13 sind im folgenden Dokument zusammengestellt:

Informationsblatt Kommentare zu studyflix-Filmen in Q13 [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Unterschiede zum Vorgänger-Lehrplan:

Auch wenn sich das eine oder andere alte Arbeitsblatt zur Ökologie auch im Kursunterricht nach LehrplanPLUS einsetzen lässt, so muss dennoch ein gänzlich neues Unterrichtskonzept entwickelt werden, weil viele Zusammenhänge und Begriffe neu aufgenommen worden sind und der gesamte Lernbereich völlig neu aufgebaut ist.

Problematik des LehrplanPLUS im Lernbereich 4:

Während der Lernbereich 4.1 direkt umsetzbar ist, erscheinen die Formulierungen in den Lernbereichen 4.2 und 4.3 an manchen Stellen redundant und lassen eine klare Gliederung vermissen. Auch in den Schulbüchern findet man eher eine Ansammlung von Kurzdarstellungen ohne echten roten Faden. Ich habe versucht, das Beste draus zu machen.

Grundwissen:

Zur Wiederholung des Grundwissens zur Ökologie aus der Mittelstufe können Arbeitsblätter bzw. bestimmte Erklärvideos z. B. von studyflix dienen.

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 4.1 „Dynamische Prozesse in Ökosystemen“ im grundlegenden Anforderungsniveau (gA) ca. 11 und im erweiterten Anforderungsniveau (eA) ca. 19 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	Biotop: abiotische Faktoren *	2	3
2	Biozönose: biotische Faktoren *	2	5
3	Einfluss abiotischer Faktoren auf Individuen *	2,5	3,5
4	Einfluss biotischer Faktoren auf Individuen	2,5	2,5
5	Ökologische Nische	1	1
6	Populationsentwicklung *	1	2
7	Methoden der Populationsabschätzung (nur eA)	–	2
	Summe	11	19

**) Einige Teile in diesem Abschnitt betreffen nur den eA-Kurs, u. a. praktische Untersuchungen.*

VI Ökologie und Biodiversität

1 Dynamische Prozesse in Ökosystemen

Das Kapitel 10 im Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“ (**ALP**) enthält viele Anleitungen zu praktischen Arbeiten; lassen Sie sich davon anregen und treffen Sie Ihre Auswahl (für die Teilabschnitte 1.1.2 und 1.2.3):

Inhaltsübersicht	
10_1 Aquatische Ökosysteme	
V01 Sichttiefe im See (Secchi-Sichtscheibe)	1
V02 Bestimmung der Temperatur	2
V03 Bestimmung des pH-Werts	3
V04 Chemische Wasseruntersuchungen mit Schnelltests	4
V05 Entnahme von Wasserproben (Meyersche Schöpfflasche)	5
V06 Modellversuch zur Temperaturschichtung und Wasserzirkulation im See	7
V07 Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit	9
V08 Bestimmung des Querprofils eines Fließgewässers	10
10_2 Terrestrische Ökosysteme	
V01 Abiotische Faktoren: Licht	1
V02 Abiotische Faktoren: Temperatur	2
V03 Bestimmung der Bodenart nach der Körnigkeit	3
V04 pH-Wert, Nitrat- und Kalkgehalt verschiedener Böden	5
V05 Pufferfunktion des Bodens	7
V06 pH-Wert von Totholz	9
V07 Fraktionierte Sedimentation	10
V08 Bestimmung des Wassergehalts	11
V09 Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherfähigkeit verschiedener Böden	13
V10 Filterwirkung verschiedener Böden	15
V11 Humusgehalt	17
V12 Bodenabtrag durch Wasser	18
V13 Tiere des Waldbodens	19
V14 Bodenlebewesen und Berlese-Apparatur	21
V15 Bodentiere fangen	23
V16 Bau einer Regenwurmküvette	25
V17 Zellatmung von Bodenorganismen	27
V18 Versuche zur Kompostierung	28
V19 Tiere am und im Totholz	29
V20 Untersuchung von Totholz	30
V21 Aufbau des Pilzkörpers	31
V22 Mikroskopie von Pilzsporen	32
V23 Kohlenstoffdioxidproduktion von Pilzkörpern	33
V24 Wasserspeicherkapazität von Moosen	34
V25 Bestimmung von Baumschäden	35
V26 Bergmannsche Regel (Faktor Temperatur mit Wasser)	37
V27 Bergmannsche Regel (Faktor Temperatur mit Kartoffeln)	38
V28 Allen-Regel (Faktor Temperatur)	39
V29 Gruppenbildung als Schutz vor Kälte	40
V30 Pinky-Maden – das große Rennen	41
V31 Regenwürmer – das große Rennen	42
V32 Tiere im Temperaturgradienten	43
V33 Der ökologische Fußabdruck	44
V34 Räuber und Beute (Rollenspiel)	45

Wiederholung und Einführung:

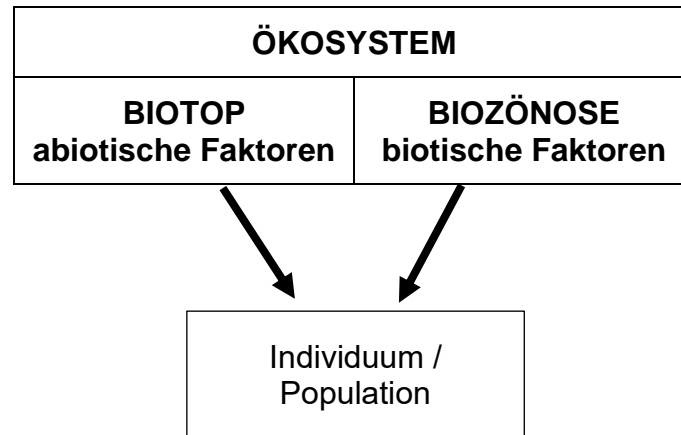
Ein Ökosystem besteht aus einem abgegrenzten Gebiet, dem Biotop (= Lebensraum), und einer darin lebenden Lebensgemeinschaft (= Biozönose). Das Biotop ist durch verschiedene abiotische Faktoren charakterisiert, die auf die im Ökosystem lebenden Individuen einwirken. Auf die Individuen wirken aber auch Einflüsse ein, die von den anderen Lebewesen im Ökosystem ausgehen, die biotischen Faktoren.

(Einführung der Fachbegriffe: 5. Klasse: Ökosystem aus Lebensraum und Lebensgemeinschaft; 9. Klasse: Ökosystem aus Biotop und Biozönose, wobei die letzten beiden Begriffen nur bei den Kompetenzen angeführt sind, nicht bei den Inhalten zu den Kompetenzen)

Eine schöne und sehr informative **Abbildung** zu abiotischen und biotischen Faktoren, die auf Korallenpolypen einwirken, finden Sie in Markl: Biologie Oberstufe. Klett 2010, Seite 312

Die wichtigsten Begriffe zu Ökosystemen sollten den Kursteilnehmern bekannt sein. Am besten werden sie mit Hilfe eines Arbeitsblatts wiederholt, bevor der Kursunterricht zu diesen Thema einsetzt:

Arbeitsblatt 1 Basiswissen Ökologie [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)



Graphik *Ökosystem* [\[jpg\]](#)

vgl. **Aufgabe 1.1** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Erklärvideo Ökologie (4:55)

<https://studyflix.de/biologie/okologie-2924>

Einsatz: gut geeignet zur Wiederholung der Lerninhalte aus der Mittelstufe (Selbststudium der Kursteilnehmer), wenn klar gemacht wird, welche Begriffe verlangt werden und welche nicht

Inhalt: Forschungsgegenstände der Ökologie. Begriffsklärung: Biosphäre, Ökosystem aus Lebensraum (Biotop) und Lebensgemeinschaft (Biozönose), biotische und abiotische Umweltfaktoren, ökologische Nische; ab 2:04 Teildisziplinen der Ökologie: Autökologie, Synökologie (mit Nahrungskette, -netz, -pyramide; Produzenten, Konsumenten, Destruenten), Populationsökologie (*die Namen dieser drei Teilgebiete werden vom LehrplanPLUS nicht verlangt*)

Erklärvideo Biotop (4:32)

<https://studyflix.de/biologie/biotop-2440>

Einsatz: für den Unterricht weniger sinnvoll, gut geeignet aber 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

Erklärvideo Biozönose (5:06)

<https://studyflix.de/biologie/biozonose-2441>

Einsatz: Beispiel Teich (ab 3:40) ist für den Unterricht gut geeignet; der ganze Film allenfalls zum Selbststudium der Kursteilnehmer

Inhalt: Abgrenzung zum Biotop; als Elemente der Biozönose werden Tiere, Pilze und Pflanzen genannt (aber auch die nicht genannten Mikroorganismen gehören dazu); inter- und intraspezifische Wechselwirkungen mit Beispielen; ökologisches Gleichgewicht; ab 2:32 Untergliederung einer Biozönose (dabei für den Schulunterricht überflüssige Fachbegriffe); ab 3:40 Biozönose und Biotop am Beispiel Teich

(Erklärvideo Biosphäre (4:38)

<https://studyflix.de/biologie/biosphaere-2903>

Einsatz: anschaulich, aber wenig geeignet für den Unterricht

Inhalt: Einteilung der irdischen Biosphäre a) vertikal: Atmosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre (jeweils genauer betrachtet) bzw. b) horizontal: Biome (tropischer Regenwald, Steppe, Wüste)

1.1 Biotop: abiotische Faktoren

(ca. 2 Stunden im gA-Kurs; ca. 3 Stunden im eA-Kurs)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Biotop: abiotische Faktoren (Temperatur, Licht, Wasser, ggf. weitere), geeignete Messverfahren	charakterisieren ein Biotop, indem sie abiotische Faktoren messen und analysieren.

Im Abschnitt 1.1 werden die abiotischen Faktoren und Messverfahren zu ihrer Erfassung vorgestellt, im Abschnitt 1.3 werden die Einflüsse abiotischer Faktoren auf Lebewesen betrachtet.

Abiotische Faktoren kennen die Kursteilnehmer seit der Unterstufe. Neu – auch für die Lehrkraft – ist, dass sie diese selbst messen und analysieren sollen (vgl. Formulierung bei den Kompetenzerwartungen!). Nicht verlangt wird dagegen eine (erneute) ausführliche Diskussion vorgegebener Diagramme. Der Abschnitt 1.1. kann die Rolle eines Zeitpuffers übernehmen: Wenn es eng wird, kann hier eine kurze Übersicht über abiotische Faktoren gegeben werden, zu denen einige schnelle Freiland-Messungen und Beobachtungen gemacht werden (z. B. Temperatur), die miteinander abgeglichen und damit analysiert werden. Ist noch viel Zeit zur Verfügung, können ausführlichere Messungen und tiefer gehende Analysen unternommen werden.

Wenn an der Schule noch nicht vorhanden, sollten entsprechende Messgeräte angeschafft werden (ggf. gibt es schon welche in der Fachschaft Physik). Faktoren wie Feuchtigkeit oder pH-Wert können ggf. auch mit Teststreifen erfasst werden. Manche Umweltfaktoren können über entsprechende Apps mit dem Smartphone erfasst werden.

Ein Problem besteht darin, dass dieses Kapitel für einige Arten von Untersuchungen an Freiland-Pflanzen etliche Wochen zu früh im Jahr kommt. Aber das lässt sich später nachholen.

Ggf. Rückgriff auf Vorkenntnisse aus der Mittelstufe:

- 8. Klasse Biologie, Lernbereich 6: Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen
- 9. Klasse Biologie, Lernbereich 6: Ökosystem Boden.

***Freilanduntersuchungen** sollten möglichst auf dem Schulgelände durchgeführt werden, denn dann können Sie im Rahmen der Biologie-Stunden stattfinden. Sie benötigen dann dafür keine Stunden von anderen Fächern und können sehr flexibel auf die Witterungsverhältnisse reagieren. Halb- oder Ganztags-Exkursionen finde ich im zweiten Halbjahr von Q13 dagegen problematisch, weil auch in anderen Fächern die Zeit besser dafür genutzt werden sollte, den Unterrichtsstoff rechtzeitig zu bewältigen bzw. Übungsaufgaben im Hinblick auf das Abitur zu bearbeiten. Auch wenn Ihre Schule kein besonderes Biotop wie einen Teich oder eine belebte Steinmauer besitzt, so eignen sich auf jedem Schulgelände verschiedenste von Organismen besiedelte Winkel, um deren abiotische Faktoren zu messen (auch Trittflora-Biotope).*

Erklärvideo Abiotische Faktoren (4:33)

<https://studyflix.de/biologie/abiotische-faktoren-2453>

Einsatz: gut geeignet zur Wiederholung der Lerninhalte aus der Mittelstufe (Selbststudium der Kursteilnehmer)

Inhalt: Abgrenzung von biotischen Faktoren; die Auswirkungen der Faktoren Licht, Wasser und Temperatur auf Pflanzen und Tiere werden an Beispielen dargestellt; Wechselwirkungen der abiotischen Faktoren untereinander

1.1.1 Abiotische Faktoren und Messverfahren

Beim wiederholenden Aufzählen von Beispielen abiotischer Faktoren können die zugehörigen Messverfahren angesprochen werden. Ich führe im Folgenden eine Menge an Informationen auf, um Ihnen langwieriges Nachschlagen zu ersparen. Das bedeutet aber nicht, dass alle diese

Details in den Unterricht einfließen müssten. Allerdings sollten die Kursteilnehmer einen Überblick über geeignete Messverfahren und -größen haben (die sollte man nicht einfach voraussetzen, sondern explizit ansprechen).

vgl. **Aufgabe 1.2** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Vgl. Hinweise zu Messverfahren in den Lehrbüchern, z. B. in Buchner, Seite 179, M2

a) Temperatur

Boden-, Luft-, Wassertemperatur usw.; wesentlich für alle Lebewesen, weil nach der RGT-Regel (bio-)chemische Prozesse bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C doppelt bis dreifach so schnell ablaufen. Obergrenze: Die meisten Enzyme werden bei Temperaturen zwischen 40 und 45 °C irreversibel zerstört. (Es gibt allerdings auch thermophile Prokaryoten mit Proteinen, deren Optimum um die 100 °C liegt.)

Messung: z. B. mit Alkohol-Thermometer (Flüssigkeit dehnt sich bei Erwärmung aus); Thermofühler (Thermoelektrizität nach dem Seebeck-Effekt: Temperaturdifferenz erzeugt elektrische Spannung; geeignet für digitale Datenverarbeitung)

Einheiten:

- absolute Temperatur in Kelvin [K] ohne Gradzeichen; Einteilung wie auf der Celsiusskala), Nullpunkt am absoluten Nullpunkt bei $-273,16\text{ °C}$;
- Celsius-Skala [°C] mit Leerzeichen zwischen Zahl und Gradsymbol, Nullpunkt 0 °C beim Schmelzpunkt und 100 °C beim Siedepunkt von reinem Wasser auf mittlerer Meereshöhe
- Fahrenheit-Skala [°F], v. a. in den USA; Schmelzpunkt des Wasser bei 32 °F ; 96 °F wurde als Körpertemperatur eines gesunden Menschen festgelegt (dieser Wert liegt mit $35,6\text{ °C}$ allerdings ein wenig zu tief)

Einflussgrößen: Sonneneinstrahlung bzw. Beschattung, Wassertiefe, Tages- und Jahreszeit, Höhe über dem Meeresspiegel usw.

b) Licht

Wichtig ist v. a. die Beleuchtungsstärke (vgl. Teilabschnitt 1.2.2 im Lernbereich Stoffwechsel), also die Intensität der Strahlung im sichtbaren Bereich, die auf ein Objekt wie z. B. ein Laubblatt fällt (Lichtstärke bezeichnet dagegen die Intensität der Strahlung an einer Lichtquelle). Sie ist insbesondere für photo-autotrophe Lebewesen, aber auch für Tiere, die sich vor allem mit dem Sehsinn orientieren, von existentieller Bedeutung.

Messung: Mit einem Luxmeter wird der einfallende Lichtstrom pro beleuchteter Fläche gemessen. Als Sensor dient eine Silicium-Photodiode, die eine lichtabhängige Spannung erzeugt (digitale Datenverarbeitung). Viele Smartphones verfügen über ein Luxmeter und können deshalb für Untersuchungen durch die Kursteilnehmer eingesetzt werden.

Einheit: lux

Einflussgrößen: Tageszeit, Jahreszeit, Breitengrad, Beschattung

c) Wasser

Hierbei können sehr unterschiedliche Werte von Belang sein, z. B.:

- durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Monat bzw. pro Jahr, gemessen in mm Niederschlagshöhe (1 mm entspricht 1 Liter pro Quadratmeter)
- Niederschlags-Minimum bzw. -Maximum
- Aridität bzw. Humidität: Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung, das entspricht der für Pflanzen verfügbaren Wassermenge

- Luftfeuchtigkeit, angegeben in Prozent (bei 100 % Sättigung enthält die Luft die maximal mögliche Menge an gasförmigem Wasser = Wasserdampf); stark abhängig von der Temperatur
- Bodenfeuchtigkeit
- Strömungsgeschwindigkeit in einem Gewässer

Wesentlich für das Pflanzenwachstum, weil mit dem Bodenwasser Mikronährstoffe (Mineral-salze) von den Wurzeln nach oben in alle Pflanzenteile transportiert werden; die Verdunstung an den Spaltöffnungen erzeugt den dafür notwendigen Sog.

Messung der Luftfeuchtigkeit: meist mit einem Absorptions-Hygrometer (ein wasseranziehendes = hygroskopisches Material saugt sich mehr oder weniger mit Wasser voll und verändert dabei regelhaft eine Eigenschaft, z. B. seine Länge; das kann Auswirkungen auf elektrische Eigenschaften – wie z. B. den elektrischen Widerstand – haben und eignet sich somit für digitale Datenverarbeitung).

Zur Ermittlung der Bodenfeuchtigkeit wird eine Bodenprobe abgewogen, bei entsprechend hoher Temperatur vollständig getrocknet und anschließend erneut gewogen. Die Differenz entspricht etwa der Wassermenge in der ursprünglichen Probe (und weiteren Substanzen, die sich bei der hohen Temperatur verflüchtigt haben). Es gibt aber auch Feuchte-Sensoren für den Boden.

Einflussgrößen auf die Bodenfeuchte: Niederschlags-Verhältnisse, Durchlässigkeit der Bodenmaterialien (sehr hoch bei Geröll und Sand, sehr gering bei Ton, was zur Staunässe führen kann), Wasserhalte-Vermögen der Bodenmaterialien (hoch bei Huminstoffen)

d) Mineralsalzgehalt (fakultativ)

In Binnengewässern und im Boden entscheidend sind v. a. Anionen wie Phosphat, Nitrit und Nitrat, Metallkationen wie Mg^{2+} oder Ca^{2+} usw.

Messmethoden: Als grobe Messmethode eignen sich Teststreifen, etwas genauer sind Methoden mit einem Farbvergleich wie z. B. Aquatest; sehr genau sind Titrationsen; daneben gibt es ionensensitive Elektroden (geeignet für digitale Datenverarbeitung).

Einheiten: Bei Wasserproben in mg/L oder mmol/L.

1.1.2 Untersuchungen zu abiotischen Faktoren

Der LehrplanPLUS verlangt in seinen Kompetenzerwartungen sowohl im gA- als auch im eA-Kurs praktische Untersuchungen durch die Kursteilnehmer: Sie „charakterisieren ein Biotop, indem sie abiotische Faktoren messen und analysieren.“

Den Begriff „analysieren“ muss man nicht überinterpretieren, er sagt vor allem aus, dass es nicht beim bloßen Sammeln von Messdaten bleiben darf (wie das in vielen Praktikums-Anleitungen der Fall ist), sondern dass die Daten tabellarisch bzw. graphisch dargestellt und kurz diskutiert werden.

Vgl. Hinweise zu Untersuchungen finden Sie in den Lehrbüchern, z. B. in Buchner, Seite 179, V3 und V4

Vgl. Anleitungen in **ALP**, Kapitel 10 (Übersicht: s. o.)

Eine umfassende ökologische Analyse eines Biotops ist im Rahmen der Schule nicht möglich, die Schüler werden also lediglich Einblicke gewinnen. Wichtige Aspekte dabei sind:

- vergleichende Untersuchung: zwei oder drei unterschiedliche Biotope oder Bereiche innerhalb eines Biotops (Entscheidung durch die Lehrkraft); ggf. auch Messungen am selben Ort zu unterschiedlichen Tageszeiten bzw. im Abstand von einigen Wochen
- Zeitspanne für Untersuchungen: Das Thema Ökologie beginnt etwa im Zeitraum Februar/März, so dass es sinnvoll sein kann, die praktischen Freilanduntersuchungen etwas

nach hinten zu verschieben, wenn die Witterung besser passt. (Entscheidung durch die Lehrkraft)

- genaues Protokoll: Ort, Datum und Tageszeit der Messung; ggf. Wetter; tabellarische Auflistung der Messwerte (in einer Tabelle auf dem Arbeitsblatt oder in einer Excel-Tabelle)
- anschauliche Darstellung der Messwerte: z. B. als Diagramm oder thematische Karte (Vergleiche müssen „augenfällig“ dargestellt sein)
- Diskussion: z. B. Begründungen für die Unterschiede der Messwerte zwischen den verschiedenen Bereichen, ggf. auch über vermutete Auswirkungen

1.2 Biozönose: biotische Faktoren

(ca. 2 Stunden im gA-Kurs; ca. 5 Stunden im eA-Kurs)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Biozönose: biotische Faktoren, Verfahren zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Arten in einem Areal; Nahrungsnetz (Produzenten, Konsumenten (auch Destruenten)), Kohlenstoffatomkreislauf, Stickstoffatomkreislauf und Energiefluss	nutzen Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung, um die Zusammensetzung einer Biozönose qualitativ zu erfassen. erheben Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung, um die Zusammensetzung einer Biozönose quantitativ zu erfassen.

Im Abschnitt 1.2 werden die biotischen Faktoren und Verfahren zu ihrer Erfassung vorgestellt, im Abschnitt 1.4 werden die Einflüsse biotischer Faktoren auf Lebewesen betrachtet.

Auch hier ist der Anspruch beim LehrplanPLUS höher als bei seinen Vorgängern und zwar sowohl bezüglich der Anforderungen an die Kursteilnehmer als auch bezüglich der Interpretation der Lehrplan-Formulierungen seitens der Lehrkraft:

- In beiden Kurstypen werden fertig vorliegende Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung qualitativ ausgewertet.
- Im eA-Kurs weiß ich nicht genau, was mit der Formulierung: „erheben Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung“ konkret gemeint ist, also ob die Kursteilnehmer bestehende Daten aus der Feldforschung recherchieren oder ob sie eigene Daten erheben. Eigene Untersuchungen halte ich auf jeden Fall für sehr wertvoll.
- Im eA-Kurs erfolgt zusätzlich eine quantitative Auswertung.

Diese Aktivitäten können in die Teilabschnitte der nachfolgenden Lerninhalte integriert werden oder einen eigenen Abschnitt darstellen. Ggf. müssen manche Untersuchungen auf einen späteren Zeitraum verschoben werden, z. B. wenn die Zugvögel zurückgekehrt sind oder die Libellen bereits fliegen.

Erklärvideo Biotische Faktoren (4:40)

<https://studyflix.de/biologie/biotische-faktoren-2451>

Einsatz: gut geeignet zur Wiederholung der Lerninhalte aus der Mittelstufe (Selbststudium der Kursteilnehmer)

Inhalt: Beispiel Reh (Nahrung, Fressfeind); Einteilung in inter- und intraspezifische Faktoren bzw. nach Nutzen und Schaden; Räuber-Beute-Beziehung, Parasitismus, Symbiose, Konkurrenz (jeweils mit einem konkreten Beispiel); Amensalismus (irrelevant für den Schulunterricht)

1.2.1 Biotische Faktoren

vgl. **Aufgabe 1.3** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Biotische Faktoren gehen von Lebewesen aus (ggf. daran erinnern, dass auch Pflanzen, Pilze oder Mikroorganismen Lebewesen darstellen; das ist erfahrungsgemäß nicht unbedingt allen Kursteilnehmern klar).

Wiederholung und Zusammenfassung von Vorwissen: Biotische Faktoren sind insbesondere

- Fortpflanzungskonkurrenten
- Nahrungsorganismen: Pflanzennahrung bzw. tierische Beute bzw. Wirte
- Fressfeinde
- Nahrungskonkurrenten
- Parasiten und Krankheitserreger
- Symbionten

1.2.2 Erfassung von Arten und Bestandsgrößen

In diesem Abschnitt geht es um ausgewählte professionelle Methoden zur Abschätzung von Populationsgrößen im Freiland (Biomonitoring). Weitere Methoden werden im Teilabschnitt 1.2.7 dargestellt (nur eA-Kurs).

Ökologische Bestandsaufnahmen umfassen einerseits eine Auflistung der in einem Areal vorkommenden Arten (qualitativ) und andererseits Zahlenangaben zur Häufigkeit jeder dieser Arten (quantitativ). Es ist allerdings so gut wie unmöglich, selbst auf einer so kleinen Fläche wie einem abgesteckten Quadratmeter Wiese sämtliche dort vorkommenden Pflanzen-Individuen zu zählen, geschweige denn in einem Gebiet von mehreren Quadratkilometern. Deshalb wurden Verfahren entwickelt, mit denen auf der Basis einer vergleichsweise kleinen Datenmenge auf den Gesamtbestand geschlossen werden kann.

Erfolgt die ökologische Bestandsaufnahme mehr oder weniger regelmäßig über eine längere Zeitspanne (Längsschnitt-Untersuchungen), so werden Änderungen bei den Populationsgrößen erfasst (Populations-Entwicklung).

Im Vergleich mehrerer Untersuchungsflächen bzw. der gleichen Untersuchungsfläche im Laufe der Jahre können Rückschlüsse auf die im jeweiligen Biotop herrschenden biotischen und abiotischen Umweltfaktoren (auch Schadstoffe) gezogen werden. Daraus können Schutzmaßnahmen entwickelt werden.

Im Folgenden werden einige Methoden ökologischer Bestandsaufnahmen (Biomonitoring) beschrieben, aus denen Sie (v. a. im gA-Kurs) eine Auswahl treffen. Es ist sinnvoll, wenn die Kursteilnehmer die Chancen und Grenzen von zwei oder drei Methoden gegeneinander abwägen. Eine gute Hilfestellung hierzu bietet Buchner, Seite 236, Tabelle B1.

Vegetationsbestimmung in einem kleinen Areal

Mit Pflöcken und einer Schnur wird z. B. auf einer Wiese eine Fläche von 1 mal 1 Meter abgesteckt. Zunächst werden die dort vorkommenden Pflanzenarten bestimmt (die Bestimmung bis zur Art setzt oft spezielle Kenntnisse voraus; die Bestimmungsergebnisse einer App müssen kritisch betrachtet werden: s. u.) und dann die Zahl der Individuen gezählt (bei größeren Pflanzen, die nur in relativ geringer Stückzahl vorkommen) bzw. abgeschätzt.

vgl. Buchner, Seite 185, Abbildung B3

Vegetationsbestimmung in einem größeren Areal

Für die Bestandsaufnahme in der Moos- und Krautschicht werden an mehreren Stellen Flächen von 1 Quadratmeter abgesteckt und dort Bestandsaufnahmen durchgeführt. Zusätzlich werden Gehölze in der Strauch- und Baumschicht in einem größeren Bereich (beispielsweise 10 mal 10 Meter) vollständig erfasst und kartographisch protokolliert.

Die Bestandsaufnahme bei Bäumen kann in unwegsamem Gelände auch über Luftbilder durch Drohnen erfolgen.

vgl. Buchner, Seite 185, Abbildung B4

Bioindikatoren

Bioindikatoren sind spezielle Arten, die nur in einem engen Bereich bestimmter Umweltfaktoren vorkommen. So reagieren manche Flechtenarten sehr empfindlich auf Luftverschmutzung; wo sie früher gefunden wurden und jetzt fehlen, hat sich die Luftverschmutzung verschlechtert und umgekehrt.* Bestimmte Pflanzenarten zeigen z. B. an, ob der Boden besonders arm oder reich an Stickstoff-Verbindung bzw. sehr trocken oder sehr feucht ist. Die Gewässerqualität lässt sich am Vorkommen bestimmter Insekten und Insektenlarven erkennen.

*) vgl. H. Bartholmeß: Schnüffeln für die Umwelt – Flechten als Bioindikatoren. In Unterricht Biologie 293|2004, Seite 25-35 (konkrete Daten, Anleitung zu Untersuchungen)

Transekte

Die Erfassung der Bestände an Vögeln, Schmetterlingen, Heuschrecken, Wildbienen usw. erfolgt nicht flächendeckend, sondern entlang eines festgelegten Wegs durch das Gelände (Transekt). Zur Bestandsaufnahme von Schmetterlingen wird der Weg in relativ nah beieinander liegende Abschnitte von je 5 Metern festgelegt, von denen aus das Gelände bis in eine Tiefe von 2,5 Meter auf jeder Seite beobachtet wird. Die beobachteten Tiere werden protokolliert. Bei Heuschrecken reicht die Beobachtung viel tiefer ins Gelände hinein, weil sie akustisch identifiziert werden. Auch Vögel werden vor allem akustisch identifiziert. Für die Beobachtung sehr kleiner Tiere wie Spinnen werden in regelmäßigen Abständen entlang des Transekts kleine Flächen abgesteckt (z. B. 1 mal 1 Meter) und vollständig untersucht.

Inzwischen gibt es erste Ansätze (Stand: 2024) für eine automatische Auswertung: Mit Hilfe von KI werden Vogelstimmen aus mehreren im Gelände verteilten Stereo-Mikrofonen identifiziert (mit mehr oder weniger hoher Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Bestimmung) und die Individuen im Gelände verortet.

(Museum für Naturkunde – Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin: automated multisensor station for monitoring of bio diversity = AMMOD; untersucht werden ca. 1000 Probeflächen von 1 Quadratkilometer in ganz Deutschland; bestimmt werden v. a. Vögel, aber auch bestimmte Insekten wie Heuschrecken, Froschlurche und Fledermäuse)

vgl. Buchner, Seite 185, Abbildung B5

Tierspuren

Vor allem Vögel und Säugetiere hinterlassen charakteristische Spuren wie Trittspuren (Trittsiegel), Fraßspuren, an Hindernissen hängengebliebene Haare, ausgefallene Federn, Kot (z. B. vom Fischotter an trockenen Stellen unter Brücken) oder Gewölle (Eulen). Daran kann die Tierart bestimmt werden sowie grob die Bestandsdichte.

vgl. Buchner, Seite 185, Abbildung B6; Seite 203, M3 (Fischotter)

Im gA- wie im eA-Kurs nutzen die Kursteilnehmer Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung, um die Zusammensetzung einer Biozönose qualitativ zu erfassen, d. h. sie benennen wesentliche Arten darin.

vgl. Buchner, Aufgabe 2 auf Seite 182 mit den Materialien M3 und M4 auf Seite 183

1.2.3 Untersuchungen im Rahmen des Kursunterrichts

Im gA-Kurs müssen keine eigenen Daten zur Zusammensetzung einer Biozönose erhoben werden und die Auswertung erfolgt nur qualitativ (es werden also z. B. keine Diagramme angefertigt).

Die Kursteilnehmer im eA-Kurs dagegen „erheben Daten aus wissenschaftlicher Feldforschung, um die Zusammensetzung einer Biozönose quantitativ zu erfassen“ (LehrplanPLUS, Kompetenzerwartungen). Ich interpretiere das so:

Im eA-Kurs erheben die Kursteilnehmer eigene Daten im Freiland (am besten auf dem Schulgelände selbst), bereiten sie auf (z. B. in Form von Diagrammen, thematischen Karten usw.), präsentieren und diskutieren sie und zwar qualitativ und quantitativ.

Beispiele für Untersuchungen, die Kursteilnehmer im Gelände durchführen können:

Untersuchungen von Bodenlebewesen

ALP Blatt 10_V13: Tiere des Waldbodens

ALP Blatt 10_V14: Bodenlebewesen und Berlese-Apparatur (funktioniert oft nicht richtig)

ALP Blatt 10_V15: Bodentiere fangen

Untersuchung von Laubstreu in Buchner, Seite 184, Aufgabe 1 und M1

Qualitative sowie quantitative Erfassung von Pflanzen auf einem umgrenzten Areal

Hierzu wird mit einem Hula-Hoop-Reifen oder mit Schnur und Pflöcken ein Areal von z. B. einem Quadratmeter abgesteckt und z. B. mit Hilfe einer Pflanzenbestimmungs-App festgestellt, welche Pflanzen dort wachsen (qualitativ) bzw. zusätzlich, in welcher Anzahl sie dort wachsen (quantitativ). Auch hier unbedingt zwei oder drei unterschiedliche Biotope vergleichend untersuchen.

Vgl. Buchner, Seite 182, Aufgabe 1c und M2 auf Seite 183

Zum Umgang mit Bestimmungs-Apps wie z. B. *Plantnet* oder *Flora Incognita*: Die Kursteilnehmer fotografieren mit ihrem Mobilgerät die Pflanze bzw. Teile davon wie Blüte, Blatt usw. und die App bietet die plausibelste Bestimmung an. In der Regel wird angegeben, mit wieviel Prozent Wahrscheinlichkeit die Bestimmung korrekt ist. Meist werden noch weitere Arten angegeben, um die es sich auch handeln könnte. Dies ist ein gutes Beispiel, um eine Untersuchungsmethode zu beurteilen, aber auch, um die eigenen Ergebnisse kritisch zu hinterfragen.

Monitoring bei Tieren

In der Regel ist Monitoring zu anspruchsvoll und zu zeitaufwendig für den Schulunterricht. Aber im Rahmen einer Seminararbeit könnten einzelne Kursteilnehmer ein Monitoring durchführen. Dazu ist allerdings in der Regel professionelle Anleitung notwendig, z. B. durch Fachleute beim Bayerischen Landesverband für Vogelschutz (LBV), beim Landesverband für Amphibien- und Reptilienschutz in Bayern (LARS) oder beim Bund Naturschutz in Bayern (BN), eventuell auch bei Umweltstationen.

Tansekte: vgl. Buchner, Seite 185, V2

Tierspuren

wie Fraß- oder Trittspuren, im Stacheldraht hängen gebliebene Haare, Losung usw.; Unterstützung hierbei gibt es bei manchen Forstämtern und Umweltstationen.

Vgl. Buchner, Seite 185, V3

Bioindikatoren nach Ellenberg

Der Botaniker Heinz Ellenberg (1913-1997) hat vielen einheimischen Pflanzenarten Zahlenwerte für insgesamt 7 abiotische Faktoren zugeordnet. Ein x bedeutet, dass die Pflanzenart bezüglich dieses Faktors tolerant und somit nicht aussagekräftig ist. Konkrete Zahlen bezeichnen den von der Pflanze bevorzugten Bereich des Faktors in der Natur (ökologische Potenz, vgl. Teilabschnitt 1.4.2). Sie finden die Unterlagen hierzu mit folgendem Link:

https://bluehende-heimat.de/wp-content/uploads/2021/02/Ellenberg_V3.0.pdf

Auf den Seiten 4-7 werden die folgenden Faktoren und ihre Werte beschrieben: Lichtwert L, Temperaturwert T, Kontinentalwert K (je tiefer im Inneren eines Kontinents ein Biotop liegt, desto extremer sind dort die klimatischen Verhältnisse im Tages- und Jahresverlauf; kontinentales vs. maritimes Klima), Feuchtwert F, Reaktionswert R (pH-Wert), Nährwert N (verfügbare Stickstoffverbindungen) und Salzwert S.

Auf den Seiten 8-56 stehen die Tabellen mit den Ellenberg-Zahlen für viele einheimische Pflanzenarten, alphabetisch nach ihren wissenschaftlichen Namen geordnet. (Vgl. dazu die Hinweise zu Bestimmungs-Apps: [s. o.](#))

Vgl. auch Buchner, Seite 182, Aufgaben 1a/b und M1

1.2.4 Nahrungsbeziehungen

Das Nahrungsnetz war Lerninhalt in der 9. Klasse im Lernbereich 6: Ökosystem Boden (Nahrungsbeziehungen im Boden: Nahrungsnetz, Energiefluss). Ggf. wurden bereits in der Mittelstufe die Begriffe Produzenten, Konsumenten, Destruenten eingeführt.

Trophie-Ebenen in der Nahrungskette

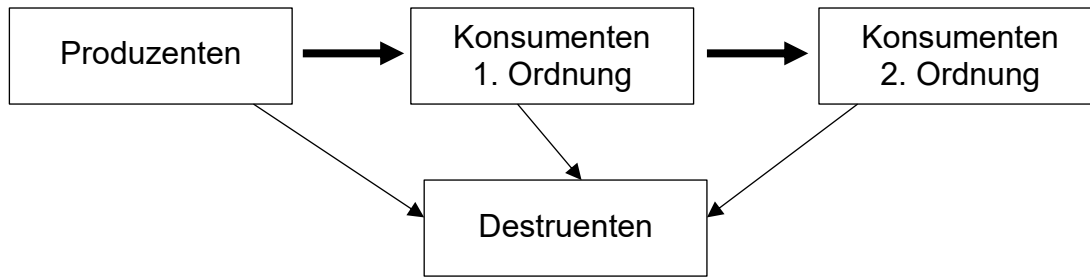
Der LehrplanPLUS nennt den Begriff Trophie-Ebene an dieser Stelle nicht, er ist als Oberbegriff aber sehr nützlich, nicht zuletzt für den Abschnitt 1.4 (weiter unten beim Einfluss biotischer Faktoren wird der Begriff bei den Kompetenzerwartungen genannt, stellt damit zwar streng genommen keinen obligaten Fachbegriff für die Schüler dar, aber sollte meiner Meinung nach eingeführt werden). Die Nahrungskette bildet die Grundlage für das Nahrungsnetz, so dass auch dieser Begriff wiederholt werden sollte.

vgl. **Aufgabe 1.4** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

trophe, altgriechisch: Ernährung

- Produzenten stellen organische Stoffe ausgehend von Kohlenstoffdioxid her, und zwar (in den allermeisten Fällen) durch Photosynthese: Pflanzen, bestimmte Protisten wie Algen, autotrophe Prokaryoten wie z. B. Cyanobakterien.
- Konsumenten wie Tiere, Pilze, heterotrophe Protisten und Prokaryoten sind bei ihrer Ernährung auf bereits hergestellte organische Stoffe angewiesen, sie ernähren sich also von anderen Lebewesen. Konsumenten erster Ordnung (Pflanzenfresser) ernähren sich von Produzenten, Konsumenten zweiter und höherer Ordnung (Fleischfresser) ernähren sich von Konsumenten erster Ordnung.
- Destruenten ernähren sich von toter Biomasse (abgestorbenen Organismen und deren Organen sowie Ausscheidungen von anderen Organismen), sind bei ihrer Ernährung also ebenfalls auf bereits hergestellte organische Stoffe angewiesen wie z. B. Bodentiere, Pilze, bestimmte Protisten bzw. Prokaryoten.

Die Weitergabe organischer Stoffe lässt sich in einer Nahrungskette darstellen:



- ➔ lebende Organismen oder Teile davon (lebende oder frisch getötete Biomasse)
➡ tote Organismen oder Teile davon (tote Biomasse; Ausscheidungen)

Graphik Nahrungsebenen [\[jpg\]](#)

Eine sehr differenzierte **Abbildung** mit konkreten Beispiel-Organismen zu den Trophie-Ebenen finden Sie in Markl: Biologie Oberstufe. Klett 2010, Seite 326

Nahrungsnetz

Arten, die sich von Mitgliedern unterschiedlicher Trophie-Ebenen ernähren, sind mit diesen Begriffen nicht eindeutig erfassbar:

- Allesfresser, die sich sowohl von Produzenten als auch Konsumenten ernähren
- Fleischfresser, die sich von Konsumenten unterschiedlicher Trophie-Ebenen ernähren

Solche Nahrungsbeziehungen lassen sich aber in einem Nahrungsnetz darstellen.
vgl. Buchner, Seite 181, Abbildung B2

An dieser Stelle kann ggf. die Nahrungspyramide ergänzt werden, bei der die Trophieebenen einer Nahrungskette halbquantitativ dargestellt sind, so dass ersichtlich wird, dass von Ebene zu Ebene die Biomasse um ungefähr 90 % geringer wird.
vgl. Buchner, Seite 186, Abbildung B2

1.2.5 Stoffkreislauf und Energiefluss

Von einer Trophie-Ebene zur nächsten werden Stoffe und mit ihnen Energie weitergegeben.

a) Kohlenstoff-Atom-Kreislauf

Erklärvideo Kohlenstoffkreislauf (4:54)

<https://studyflix.de/biologie/kohlenstoffkreislauf-2800>

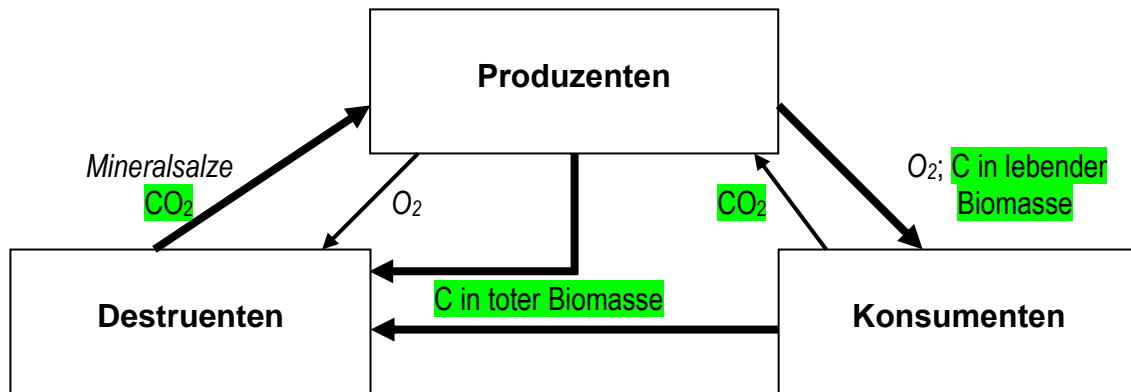
Einsatz: Im Unterricht und zum Selbstlernen geeignet. Allerdings verwendet der LehrplanPLUS die Formulierung „Kohlenstoffatomkreislauf“.

Inhalt: Darstellung der vier Sphären auf der Erde, Austausch kohlenstoffhaltiger Stoffe zwischen den Sphären im Kreislauf. Ab 1:22 Schritt 1: Umwandlung von Kohlenstoffdioxid in Glukose (Produzenten); Schritt 2: Umwandlung von Glukose in Kohlenstoffdioxid (Konsumenten); Schritt 3: Umwandlung von Abfallstoffen in Kohlenstoffdioxid bzw. Methan (Destruenten). Zuordnung zu den Sphären. Bildung von Carbonat-Ionen im Wasser (Darstellung der chemischen Gleichgewichte in Form von Formelgleichungen); nicht klar davon getrennt die Entstehung von Erdöl, Erdgas und Kohle; Freisetzung von Kohlenstoffdioxid durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Der LehrplanPLUS legt Wert auf den sehr präzisen und damit auch sehr anschaulichen Begriff „Kohlenstoff-Atom-Kreislauf“, weil das Wort Kohlenstoff mehrdeutig ist. Bitte halten Sie sich im Unterricht daran und verlangen Sie das auch von den Kursteilnehmern.

Produzenten nehmen Kohlenstoff-Atome mit dem Kohlenstoffdioxid auf und stellen daraus organische Stoffe (Biomasse) her. Konsumenten und Destruenten nehmen Kohlenstoff-Atome mit den organischen Stoffen ihrer Nahrung auf, die sie zur Energie-Bereitstellung abbauen, wobei letztendlich wieder Kohlenstoffdioxid entsteht. Dadurch wird der Kreislauf geschlossen.

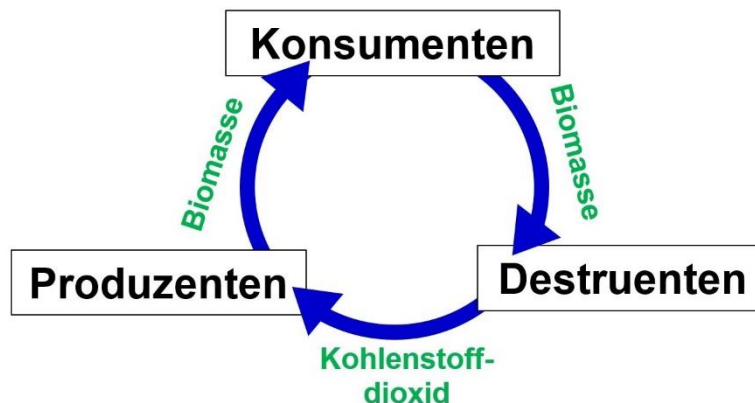
vgl. **Aufgabe 2.1** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)



Graphik Kohlenstoffatom-Kreislauf, ergänzt (ohne Farbrunterlegung) [\[jpg\]](#)

In dieses Schema des Kohlenstoff-Atom-Kreislaufs sind zusätzlich *kursiv* noch weitere Stoffe aufgenommen, um das Vorwissen anschaulicher einzubinden.

Alternatives, stark vereinfachtes Design für den Kohlenstoff-Atom-Kreislauf:



Graphik Kohlenstoff-Atom-Kreislauf, Alternative [\[jpg\]](#)

Bei Interesse kann hier auch eingetragen werden, wie Kohlenstoff-Verbindungen aus dem Kreislauf gezogen und lange Zeit gespeichert werden z. B. in Form von Kohle oder Erdöl.

Fakultativ kann hier bei interessierten Kursen der Kohlenstoff-Atom-Kreislauf auch vertieft werden, indem die Wechselbeziehungen zwischen den Bereichen Biosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre und Lithosphäre betrachtet werden.

Vgl. Buchner, Seite 187, M2

Allerdings rate ich davon ab, anorganisch-chemische Aspekte des Kohlenstoff-Atom-Kreislaufs im Biologiekurs zu besprechen wie die Carbonatisierung (Entstehung von Kalk z. B. für Skelett-Teile aus gelöstem Carbonat und Calcium-Ionen) oder die Lösevorgänge von Kohlenstoffdioxid in Wasser (hydratisierte Kohlenstoffdioxid-Moleküle, Addition von Wasser zu Kohlensäure, Deprotonierung zu Hydrogencarbonat bzw. Carbonat), geschweige denn die

Gleichgewichts-Verhältnisse dabei (auch wenn das bei Buchner in M2 auf Seite 187 aufscheint).

b) Energiefluss

(Erklärvideo **Energiefluss** (3:41)

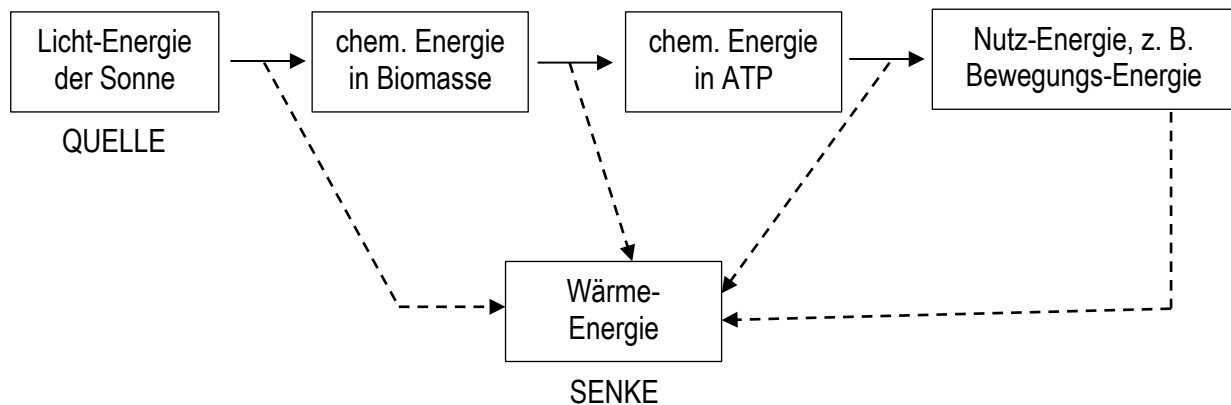
<https://studyflix.de/biologie/energiefluss-2568>

Einsatz: wenig ergiebig für das Thema Energiefluss in der Oberstufe

Inhalt: Energieeinfall durch Sonnenlicht, Umwandlung in der Photosynthese, Energiespeicherung in Form von Kohlenhydraten, Energieaufnahme durch Tiere, Energieweitergabe in der Nahrungskette. Nahrungspyramide (Produzenten, Primär-, Sekundär-, Tertiärkonsumenten, Spitzenprädatoren). Darstellung der jeweiligen Energieverluste. Ab 2:27 Beispiel Gras > Reh > Wolf)

vgl. **Aufgabe 2.2** auf dem Arbeitsblatt 1 „Basiswissen Ökologie“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Während die Stoffe im Kreislauf fließen, steht am Anfang des Wegs der Energie durch die Biosphäre eine Quelle (fast immer Lichtenergie der Sonne) und am Ende eine sogenannte Senke (Wärme-Energie, die letztlich ins Weltall abgestrahlt wird) – vergleichbar einem Fluss, der sich in Richtung von der Quelle zur Mündung bewegt.



—→ Energieumwandlung in nutzbare Energieformen

-----→ Energieentwertung durch Umwandlung in Wärme-Energie

Graphik *Energiefluss* (ohne die Begriffe Quelle und Senke) [\[jpg\]](#)

c) Stickstoff-Atom-Kreislauf (nur eA-Kurs)

Der LehrplanPLUS nennt außer dieser Überschrift keine weiteren Fachbegriffe. Es bleibt also der Lehrkraft überlassen, welche Begriffe Lerninhalte darstellen sollen und welche nicht. Worauf es hier ankommt, ist aber nicht möglichst großes Detailwissen, sondern ein Verständnis für die wesentlichen Komponenten des Stickstoff-Atom-Kreislaufs und deren Zusammenwirken wie auch die Bedeutung für Ökosysteme und Landwirtschaft.

Arbeitsblatt 2 *Stickstoff-Atom-Kreislauf* [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Erklärvideo *Stickstoffkreislauf* (4:57)

<https://studyflix.de/biologie/stickstoffkreislauf-2799>

Einsatz: Im Unterricht bei der Erarbeitungsphase (auf den chemischen Fehler aufmerksam machen!). Allerdings verwendet der LehrplanPLUS die Formulierung „Stickstoffatomkreislauf“ und die Benennung der vier im Film genannten Stoffumwandlungen müssen keine Lerninhalte darstellen.

Inhalt: Stickstoff-Fixierung (Spaltung der Bindung in elementarem Stickstoff, biotisch durch Bakterien bzw. abiotisch durch Sonnenstrahlung oder Blitz), Nitrifikation (Umwandlung von Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen in Nitrat durch Bakterien; dabei bleibt völlig unklar, wieso die Nitrifikation aus Ammonium keinen Sauerstoff benötigen sollte, die aus Ammoniak dagegen schon), Ammonifikation (Entstehung von Ammoniak aus Biomasse z. B. im Rinderdarm), Denitrifikation (Umwandlung von Nitrat zu Lachgas oder elementarem Stickstoff durch Bakterien).

Stickstoff-Atome kommen in sehr vielen organischen Stoffen der Biomasse vor, z. B. in Amino-
gruppen (z. B. in Aminosäuren) oder in anderer Form (z. B. in Cytochrom c, Chlorophyll, Kern-
basen). Vgl. Teilabschnitt 2.1.2 „Baustoffwechsel der Pflanze“.

Elementarer Stickstoff (N₂; „Luftstickstoff“) ist extrem reaktionsträge. Die weitaus meisten
Organismen sind deshalb darauf angewiesen, ihren Bedarf an verwertbaren Stickstoff-Atomen
aus stickstoffhaltigen Verbindungen zu decken. Pflanzen holen ihre zum Aufbau körpereigener
Stoffe benötigten Stickstoff-Atome aus wasserlöslichen Verbindungen wie Ammonium-
(NH₄⁺), Nitrit- (NO₂⁻) oder Nitrat-Ionen (NO₃⁻), die sie dem Boden entnehmen und gelöst in
Wasser über ihr Wasserleitungs-System in der ganzen Pflanze verteilen.

Vgl. Buchner, Seite 187, M3: In Abbildung B4 sind diese Umwandlungen dargestellt.

*Die Begriffe Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation kann man ggf. zur Übung ein-
bringen, aber man muss sie nicht zu Lerninhalten erheben. Wesentlich ist nur der Kreislauf-
Gedanke.*

Heterotrophe Organismen nutzen für ihren Baustoffwechsel Stickstoff-Atome aus organischen
Verbindungen (Proteine, sekundäre Pflanzenstoffe usw.). Tiere geben überschüssige Stickstoff-
Atome z. B. in Form von Harnstoff oder Harnsäure in die Umwelt ab.

Eine Besonderheit stellen fleischfressende Pflanzen dar, die ihren Stickstoff-Bedarf nicht durch
Bodenwasser decken können. Sie fangen Tiere, verdauen deren Biomasse, aber nicht, um daraus
Energie zu gewinnen, sondern verwenden sie als Quelle stickstoffhaltiger Verbindungen.

Eine wesentliche Rolle im Stickstoff-Atom-Kreislauf spielen Prokaryoten:

Stickstoff-Fixierung: Stickstoff-Fixierer nehmen elementaren Stickstoff aus der Luft auf (sie
besitzen ein besonderes Enzym zur Bindung von Luftstickstoff, die Nitrogenase) und wandeln
ihn in wasserlösliche Substanzen um:

Cyanobakterien (aerob) und Clostridien (anaerob) reduzieren Luftstickstoff und bilden daraus
Ammonium-Ionen, die zur Grundlage z. B. zur Bildung von Aminosäuren dienen.

Eine besondere wirtschaftliche wie ökologische Rolle spielen die sogenannten Knöllchen-Bak-
terien, die als Symbionten in Wurzelknöllchen von Schmetterlingsblütlern (wie z. B. Bohne,
Erbsen) leben und ebenfalls aus Luftstickstoff Ammonium-Ionen bilden, die dann zum Teil der
Wirtspflanze zur Verfügung stehen.

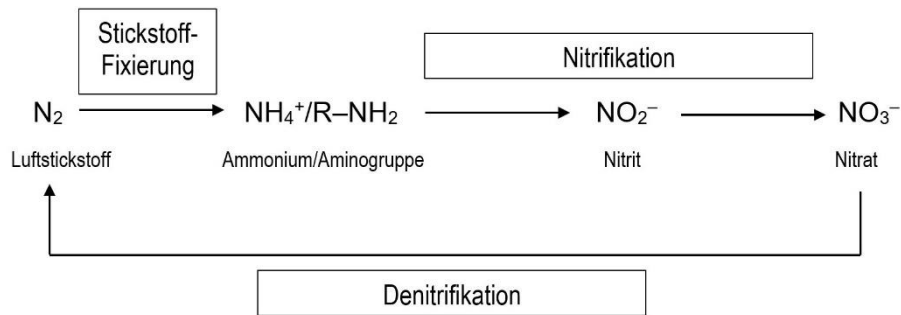
Nitrifikation: Nitrifikanten oxidieren in einem zweistufigen Prozess das Stickstoff-Atom in
Ammonium-Ionen (bzw. Ammoniak) zunächst zu Nitrit und dann weiter zu Nitrat. Beide
Schritte verlaufen exotherm und dienen der Versorgung der Bakterien mit Energie; die Produkte
werden jeweils in die Umwelt ausgeschieden:



Bakterien z. B. der Gattung *Nitrosomonas* vollziehen den ersten Schritt und bilden Nitrit; Bakte-
rien z. B. der Gattung *Nitrobacter* übernehmen den zweiten Schritt und bilden Nitrat.

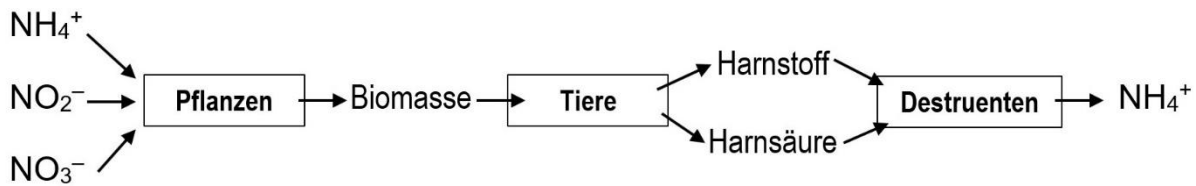
Denitrifikation: Denitrifikanten wandeln zur Energiebereitstellung Nitrat in elementaren Stickstoff (oder Stickstoffoxide) um. Das ist ökologisch insofern ein Problem, als elementarer Stickstoff für fast alle Lebewesen nicht verwertbar ist. Sie nutzen Nitrat anstelle von Sauerstoff in der Zellatmung („Nitrat-Atmung“). *Nitrat-Atmung stellt allerdings keinen Lerninhalt dar.*

Ammonifikation: Destruenten setzen beim Abbau von Biomasse (auch Harnstoff, Harnsäure) Stickstoffverbindungen wie Ammonium-Ionen frei.



Graphik [Stickstoff-Atom-Kreislauf \[jpg\]](#)

vgl. [Aufgabe 2 auf dem Arbeitsblatt 2 Stickstoff-Atom-Kreislauf \[docx\]](#) [\[pdf\]](#)



Graphik [Ammonifikation im Kontext \[jpg\]](#)

vgl. [Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt 2 „Stickstoff-Atom-Kreislauf“ \[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

1.3 Einfluss abiotischer Faktoren auf Individuen

(ca. 2,5 Stunden im gA-Kurs; ca. 3,5 Stunden im eA-Kurs)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Einfluss abiotischer Faktoren auf Individuen: Toleranzkurven (Maximum, Minimum, Optimum, ökologische Potenz); Generalisten, Spezialisten	erklären unter Einbeziehung von Laborversuchen die ökologische Potenz von Lebewesen bezüglich abiotischer Faktoren, um die Eignung von Lebensräumen für Lebewesen zu beurteilen.

1.3.1 Untersuchungen zu abiotischen Faktoren

In den Kompetenzerwartungen fordert der LehrplanPLUS an dieser Stelle die Einbeziehung von Laborversuchen. Dies können Versuche mit Lebewesen sein, aber auch Modellversuche. Versuchsergebnisse können der Literatur entnommen oder selbst ermittelt werden.

a) Temperatur als Umweltfaktor

Der Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“ bietet einige Modellversuche zum Faktor Temperatur an:

ALP Blatt 10_V26: Bergmannsche Regel mit Wasser

ALP Blatt 10_V27: Bergmannsche Regel mit Kartoffeln

ALP Blatt 10_V28: Allen-Regel

ALP Blatt 10_V29: Gruppenbildung als Schutz vor Kälte

ALP Blatt 10_V30: Pinky-Maden – das große Rennen

ALP Blatt 10_V32: Tiere im Temperaturgradienten (*funktioniert nicht immer zuverlässig!*)

Wenn in diesem Rahmen auf die Bergmannsche bzw. die Allensche Regel eingegangen wird, dann nur kurz, weil beide vom LehrplanPLUS nicht genannt werden. Hier trotzdem ausführliche Informationen dazu:

Bergmannsche Regel: Je näher eng miteinander verwandte gleichwarme Tiere (Thermoregulatoren) am Pol leben, desto größer sind ihre Körper.

Begründung: Die Oberfläche und damit der entscheidende Faktor für Wärmeabgabe an die Umwelt steigt mit dem Quadrat der Körpergröße (z. B. Höhe oder Länge). Das Volumen und damit der entscheidende Faktor für Wärmebildung steigt mit der dritten Potenz der Körpergröße. Die Wärmeverluste an die Umwelt hängen ab vom Quotienten aus Körperoberfläche und -volumen (= spezifische Oberfläche). Mit wachsender Körpergröße wird dieser Quotient kleiner, d. h. dass die Wärmeverluste pro kg Gewicht bei größeren Tieren geringer ausfallen als bei kleineren Tieren.

Beispiel: Pinguine

Pinguin-Art	Körperlänge in cm	Körpermasse in kg	Vorkommen: südliche Breitengrade
Galápagos-Pinguin <i>Spheniscus mendiculus</i>	50	2,2	0 (Äquator)
Humboldt-Pinguin <i>S. humboldti</i>	65	4,5	5 bis 35
Magellan-Pinguin <i>S. magellanicus</i>	70	4,9	34 bis 56
Königspinguin <i>Aptenodytes patagonica</i>	95	15	50 bis 60
Kaiserpinguin <i>A. forsteri</i>	120	40	65 bis 77

Hinweis: Die Regel gilt nicht streng, denn in der Antarktis und auf den subantarktischen Inseln kommen auch einige kleine Pinguinarten vor.

Allensche Regel: Je näher eng miteinander verwandte gleichwarme Tiere (Thermoregulatoren) am Pol leben, desto kleiner sind ihre Körperanhänge (relativ zur Körpergröße).

Begründung: Am wenigsten Oberfläche pro Volumen hat eine Kugel, je weniger ein Objekt einer Kugel ähnelt, desto mehr spezifische Oberfläche hat es. Je größer Körperanhänge wie Ohren oder Beine sind, desto mehr Oberfläche haben sie und desto größer sind (bei gleichem Volumen) die Wärmeverluste an die Umwelt.

Beispiel: Der Wüstenfuchs Fennek (*Vulpes* bzw. *Fennecus zerda*) hat große, der europäische Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) mittelgroße und der arktische Eisfuchs (*Vulpes* bzw. *Alopex lagopes*) kleine Ohren.

b) Praktikum: Einfluss von Umweltfaktoren auf die Keimung

Im Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“ sind solche Untersuchungen für die Unterstufe aufbereitet, die an die Kursphase angepasst werden müssten:

ALP Blatt 09_1_V08: Keimungsbedingungen – ausführliches Konzept

Als Material dienen am besten Samen der Kresse (ggf. im Vergleich zu Samen der Mung(o)-bohne bzw. der Luzerne), die man in Bioläden bekommt. Es werden pro Versuchsansatz z. B.

20 Kressesamen (10 Bohnensamen) auf einige Schichten Küchenrolle gelegt, feucht gehalten und nach 7 Tagen die gekeimten Samen gezählt.

Umweltfaktoren:

- **Feuchtigkeit:** z. B. täglich gießen mit 0, 0,5, 1, 2, 5, 10 mL Leitungswasser (statt feucht halten)
- **Licht:** direkt am Fenster, weiter innen im Raum (ggf. abgestuft und den Lichteinfall zu einer bestimmten Uhrzeit mit einem Fotometer messen), abgedunkelt im Schrank
- **Temperatur:** im Kühlschrank, im Raum (aber nicht zu nah am Fenster), im Wärmeschrank bei z. B. 35 °C (Achtung: Im Wärmeschrank darauf achten, dass der Ansatz feucht bleibt; z. B. Becherglas mit Uhrglasschale abdecken und täglich Feuchtigkeit prüfen); Temperaturen messen
- **pH-Wert:** lässt sich wegen der wechselnden Feuchteverhältnisse im Laufe eines Tages nur über Pufferlösungen exakt einstellen; alternativ leicht bzw. stärker sauer (etwas Essig ins Gießwasser geben), Leitungswasser (meist schwach basisch), stärker basisch (etwas extrem verdünnte Natronlauge ins Gießwasser geben; Ammoniak verdunstet); pH des Gießwassers mit pH-Teststreifen (oft recht ungenau) oder einem zuvor geeichten pH-Meter messen
- **Kochsalz-Gehalt:** Das Gießwasser mit unterschiedlichen Mengen Kochsalz versetzen (z. B. 1 Teelöffel Kochsalz auf 1 L Leitungswasser, daraus durch Verdünnungsreihe Gießwasser mit 1/10, 1/100 und 1/1000 der Konzentration herstellen). Damit wird der Einfluss von Streusalz auf Pflanzen in der Nähe viel befahrener Straßen simuliert.

Im Gegensatz zur Unterstufe würde ich in Q13 alle Versuchsreihen in der Schule durchführen. Das kostet wenig Zeit, wenn dies arbeitsteilig geschieht, am besten durch alle Biologie-Kurse in Q13. Wenn die Anzuchtgefäße abgedeckt werden, kann man sich in der Regel das Gießen am Wochenende sparen. Wesentlich ist, dass den Kursteilnehmern klar ist, dass innerhalb einer Versuchsreihe jeweils nur ein einziger Faktor verändert wird, wohingegen alle anderen Faktoren konstant gehalten werden müssen.

Beim Vergleich von zwei oder drei Arten wird erkennbar, dass diese unterschiedlich auf die Umweltfaktoren reagieren. Gemessen werden kann die Anzahl der gekeimten Individuen bzw. die durchschnittliche Wuchshöhe nach einer Woche.

1.3.2 Toleranzkurven

Arbeitsblatt 3 Toleranzkurven [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die **physiologische Potenz** beschreibt die Abhängigkeit der Vitalität einer Art von einem einzigen **abiotischen Faktor**; ohne den Einfluss von Konkurrenz. Bei der **ökologischen Potenz** werden die natürlichen Verhältnisse berücksichtigt: mit dem **biotischen Faktor** Konkurrenz. Im Lernbereich 4.1 werden abiotische und biotische Faktoren voneinander getrennt betrachtet, so dass mir beide Potenzbegriffe nicht nur sinnvoll, sondern geradezu notwendig erscheinen.

Der LehrplanPLUS nennt nur den Begriff „ökologische Potenz“, nicht aber den Begriff „physiologische Potenz“. Ich plädiere allerdings mit Nachdruck dafür, im Unterricht beide Begriffe einzuführen und strikt voneinander zu unterscheiden. (Das steht im Einklang z. B. mit dem Wikipedia-Artikel „Ökologische Potenz“, den Ausführungen in Schulbüchern (vgl. z. B. Buchner; Seite 189, M3 und M4) wie auch dem Erklärvideo „Physiologische und ökologische Potenz“ von studyflix.)

Im vorliegenden Konzept wird zunächst im Rahmen der abiotischen Faktoren (Abschnitt 1.3) der Begriff physiologische Potenz eingeführt (Messungen ohne den biotischen Faktor Konkurrenz) und ihre Darstellung als Toleranzkurve besprochen. Erst im Abschnitt 1.4 (biotische

Faktoren) wird die ökologische Potenz eingeführt, welche die Vitalität unter Anwesenheit von Konkurrenten bezeichnet.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Erwartungshorizont des schriftlichen Abiturs die physiologische Potenz als ökologische Potenz (dann: im weiteren Sinne) bezeichnet wird. In diesem Fall passen Sie den Erwartungshorizont an Ihren Unterricht an (das dürfen Sie, weil der Erwartungshorizont des ISB nicht verbindlich ist).

Zur Ermittlung der Toleranzkurve beschränkt man sich auf einen einzigen Umweltfaktor und misst – unter Abwesenheit von Konkurrenten – die Intensität der Reaktionen von Individuen der selben Art (z. B. Aktivität, Wachstum, Ernteertrag oder Fortpflanzungsrate) bei unterschiedlichen Intensitäten dieses Umweltfaktors und trägt die Ergebnisse in einem Diagramm auf. Der Graph heißt Toleranzkurve (der physiologischen Potenz). Folgende Begrifflichkeiten sollten dabei explizit besprochen werden:

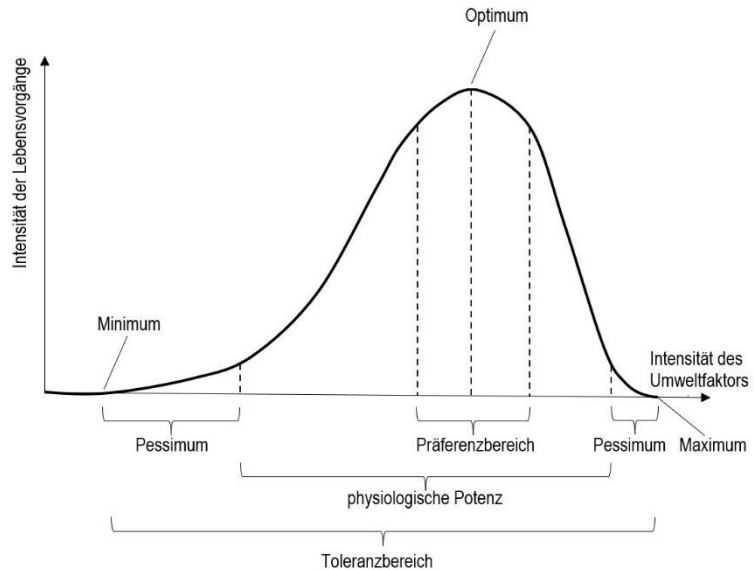
- x-Achse (unabhängige Variable): Intensität des Umweltfaktors (z. B. Temperatur, Lichtstärke, Luftfeuchte)
- y-Achse (abhängige Variable): Intensität der Reaktion der Lebewesen = Vitalität (Intensität der Lebensvorgänge)
- das Minimum: kleinster Wert des Umweltfaktors, bei dem die Lebewesen gerade noch überleben (Punkt; liegt auf der x-Achse) ¹⁾
- das Maximum: größter Wert des Umweltfaktors, bei dem die Lebewesen gerade noch überleben (Punkt; liegt auf der x-Achse) ¹⁾
- das Optimum: größter Wert der Vitalität (Punkt)
- das Pessimum*: Abschnitte bei Minimum und Maximum, bei denen die Lebewesen zwar überleben, aber kaum oder keine Reaktionen zeigen (z. B. pflanzen sie sich nicht fort); die inneren Endpunkte des Pessimums liegen ungefähr bei 10 % des Optimums. Die Pessimumbereiche werden nur gelegentlich und kurzfristig aufgrund natürlicher Schwankungen erreicht; auf Dauer kann das Lebewesen im Pessimum dagegen nicht existieren.
- der Toleranzbereich*: der gesamte Abschnitt zwischen Minimum und Maximum, also der Bereich, in dem die Lebewesen überleben
- die physiologische Potenz*: der Abschnitt zwischen den beiden Pessima, also der Bereich, in dem die Lebewesen deutliche Reaktionen zeigen
- der Präferenzbereich*: der Bereich um das Optimum herum, in dem die Lebewesen besonders intensive Reaktionen zeigen; die Endpunkte des Präferenzbereichs liegen ungefähr bei 80 % des Optimums (*praeferre*, lateinisch: vorziehen, lieber wollen); Synonyme: Präferendum, Vorzugsbereich

¹⁾ Die Begriffe *Minimum* und *Maximum* bezeichnen in der Kurvendiskussion der Mathematik jeweils den niedrigsten bzw. höchsten Wert auf der y-Achse. Dies steht im Widerspruch zu den Bezeichnungen bei der Toleranzkurve in der Ökologie. Dies sollte am besten kurz angesprochen werden, damit die Kursteilnehmer nicht durcheinander kommen.

Die mit * bezeichneten Begriffe werden vom LehrplanPLUS nicht genannt und stellen deshalb streng genommen keine obligaten Lerninhalte dar. Allerdings kommt man kaum um sie herum; ich empfehle deshalb, sie ins Lernprogramm aufzunehmen. Der Toleranzbereich gibt der ganzen Darstellung ihren Namen. Ohne Pessimum lässt sich die physiologische Potenz nicht defi-

nieren und ohne diese lässt sich später der Unterschied zur ökologische Potenz (Teilabschnitt 1.3.4) nicht erklären.

Den Kursteilnehmern sollte klar sein, welcher Begriff einem Punkt und welcher einem Bereich auf der x-Achse entspricht.



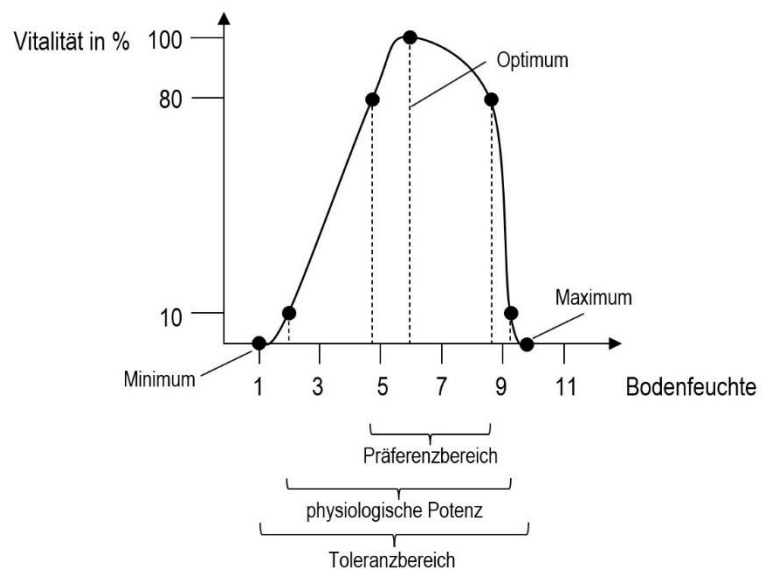
Graphik Toleranzkurve leer [\[jpg\]](#); ausgefüllt [\[jpg\]](#)

vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 3 „Toleranzkurven“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel Schwarzerle

vgl. **Aufgabe 2** auf dem Arbeitsblatt 3 „Toleranzkurven“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Kursteilnehmer erstellen die Toleranzkurve anhand vorgegebener Zahlen.
(Daten nach Ellenberg)



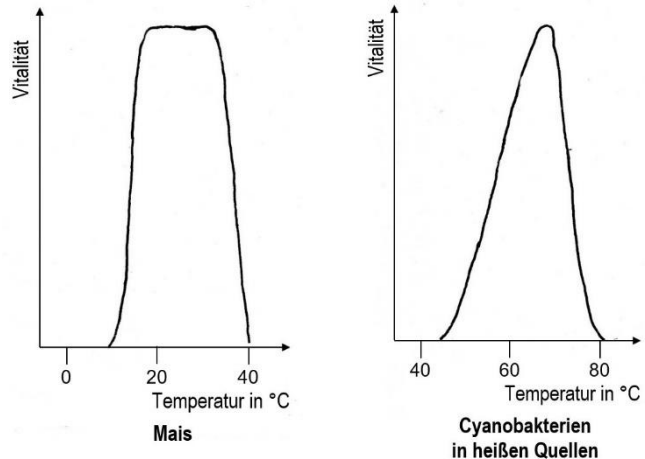
Graphik Schwarzerle und Bodenfeuchte voll beschriftet (wie nebenstehend) [\[jpg\]](#) nur teilweise beschriftet [\[jpg\]](#)

1.3.3 Generalisten und Spezialisten

vgl. **Aufgabe 3** auf dem Arbeitsblatt 3 „Toleranzkurven“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Als Generalisten werden Arten bezeichnet, die gegenüber einem Umweltfaktor sehr tolerant sind, d. h. bei denen die physiologische Potenz über einen weiten Bereich geht. Ein Beispiel dafür ist der Mais bezüglich des Umweltfaktors Temperatur: Zwischen 10 °C und 35 °C ist seine Vitalität (Wachstum, Gesundheit usw.) sehr hoch. Ein anderes Beispiel sind in heißen

Gewässern lebende Cyanobakterien mit einem Temperaturoptimum um die 70 °C und einer physiologischen Potenz zwischen ca. 50 °C und über 75 °C.

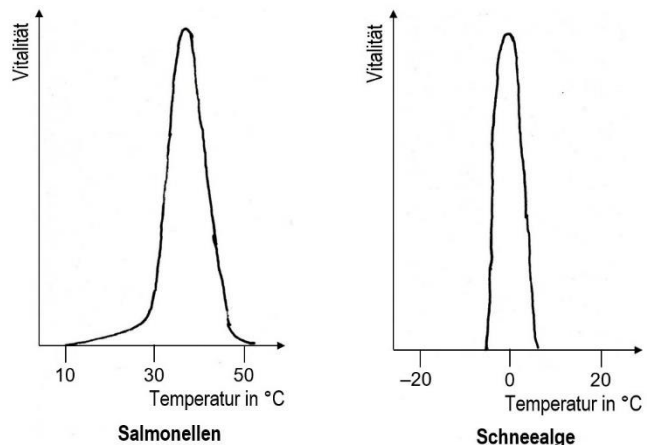


Graphiken:

Temperaturtoleranz von Mais [\[jpg\]](#)

Temperaturtoleranz von Cyanobakterien in heißen Quellen [\[jpg\]](#)

Als Spezialisten bezeichnet man Arten mit einem engen Toleranzbereich bezüglich eines Umweltfaktors. Ein Beispiel dafür sind Salmonellen, krankheitserregende Stäbchenbakterien, die ihr Optimum etwa bei der Körpertemperatur des Menschen haben, deren Vitalität aber bereits bei relativ geringen Temperaturabweichungen stark nachlässt. Ein extremes Beispiel sind Schneeealgen, deren physiologische Potenz nur 10 °C umfasst nämlich den Bereich zwischen -5 °C und 5 °C.



Graphiken:

Temperaturtoleranz von Salmonellen [\[jpg\]](#)

Temperaturtoleranz von Schneeealgen [\[jpg\]](#)

Alle vier Diagramme nach Natura: Zelle, Stoffwechsel, Ökologie. Klett 1998, S. 104

Hinweis: Der LehrplanPLUS verlangt hier keine weiteren Fachbegriffe. Aber zumindest im eA-Kurs kann man ggf. die folgenden Adjektive in allgemeiner und spezieller Form einführen:

Generalisten sind euryök oder eurypotent (*eurys*, altgriechisch: breit), Spezialisten sind stenök oder stenopotent (*stenos*, altgriechisch: eng).

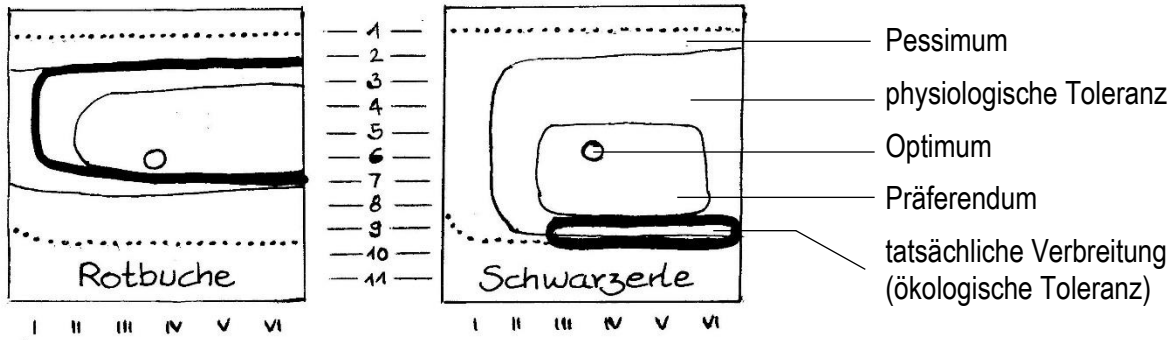
Wenn es speziell um den Umweltfaktor Temperatur geht, können die speziellen Begriffe verwendet werden: eurytherm bzw. stenotherm (warmstenotherm bzw. kaltstenotherm).

1.3.4 Ökogramme (fakultativ im eA-Kurs)

Einsatz hier oder im Teilabschnitt 1.4.2. „Ökologische Potenz“ oder im Abschnitt 1.5 „Konkurrenzvermeidung“

AB PLUS Ökogramme zur **Begabtenförderung** [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

In einem Ökogramm nach Ellenberg wird die Reaktion auf zwei Umweltfaktoren dargestellt, z. B. Säuregrad und Feuchte des Bodens. Das Optimum ist dort ein Punkt oder kleiner Kreis, die Grenzen von Präferendum, physiologischer Potenz und Toleranzbereich bilden Linien, die ähnlich wie Höhenlinien in einer geographischen Karte zu lesen sind. Ellenberg hat in seine Ökogramme auch gerne die tatsächliche Verbreitung, also die ökologische Potenz (vgl. Abschnitt 1.4), als dicke Linie eingetragen.



Die arabischen Zahlen 1-11 geben die Bodenfeuchte an (von 1 = sehr trocken bis 11 = Wasser), die römischen Zahlen I-VI geben den Säuregrad des Boden an (von I = stark sauer bis VI = alkalisch).

Graphik Ökogramme Rotbuche und Schwarzerle [\[jpg\]](#)

Man sieht, dass bei der sehr durchsetzungsfähigen Rotbuche der Bereich der physiologischen Potenz weitgehend mit dem Bereich der ökologischen Potenz übereinstimmt, während bei der wenig durchsetzungsfähigen Schwarzerle die tatsächliche Verbreitung (bei Ellenberg „Herrschaftsbereich“ genannt) eng an einem Rand ihrer physiologischen Potenz liegt (nur in stark vernässten Böden ist sie durchsetzungsfähig).

Eine sehr schöne **Abbildung** mit Ökogrammen von vier Waldbäumen sowie einer Abbildung zu ihrer tatsächlichen Verteilung im Mischwald finden Sie in Markl: Biologie Oberstufe. Klett 2010, Seite 319.

Drei **Ökogramme** finden Sie z. B. in Buchner, Seite 189, M4.

1.4 Einfluss biotischer Faktoren auf Individuen

(ca. 2,5 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Einfluss biotischer Faktoren auf Individuen (intra- und interspezifische Beziehungen): Konkurrenz, Koexistenz, Symbiose, Prädation (Carnivorie, Herbivorie, Parasitismus)	beschreiben Nahrungsbeziehungen zwischen Arten, ordnen sie einer Trophieebene zu und erläutern einen Stoffkreislauf sowie den Energiefluss in einem Ökosystem. beschreiben die unterschiedliche Einflussnahme biotischer Faktoren auf ein Lebewesen

Zunächst werden die Begriff intraspezifisch und interspezifisch wiederholt bzw. eingeführt:

Als intraspezifisch (= innerartlich) bezeichnet man Beziehungen zwischen Individuen der selben Art (*intra*, lateinisch: innerhalb; *species*, lateinisch: Art).

Als interspezifisch (= zwischenartlich) bezeichnet man Beziehungen zwischen Individuen unterschiedlicher Arten (*inter*, lateinisch: zwischen)

Die im LehrplanPLUS aufgeführten Begriffe für intra- und interspezifische Beziehungen sollten allgemein geklärt (ggf. definiert), im Folgenden aber auch anhand von konkreten Beispielen veranschaulicht werden.

Arbeitsblatt 4 Biotische Faktoren [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Eine schöne **Abbildung** zu fördernden bzw. hemmenden Einflüssen biotischer Faktoren auf finden Sie in Markl: Biologie Oberstufe. Klett 2010, Seite 324.

Erklärvideo Synökologie (3:50)

<https://studyflix.de/biologie/synoekologie-8082>

Einsatz: gut geeignet zur Wiederholung der Lerninhalte aus der Mittelstufe (Selbststudium der Kursteilnehmer), auch wenn der Begriff Synökologie vom LehrplanPLUS nicht verlangt wird

Inhalt: interpezifische Konkurrenz um Ressourcen wie Nahrung, Wasser, Lebensraum; Räuber-Beute-Beziehung; Parasitismus; Symbiose (jeweils mit einem konkreten Beispiel)

1.4.1 Konkurrenz

concurrere, lateinisch: wettstreiten

Die Individuen erheben Anspruch auf die gleiche Ressource. Wenn diese Ressource begrenzt ist, entsteht darüber ein Wettstreit, eine Konkurrenz-Situation.

Die Konkurrenzvermeidung wird erst im Abschnitt 1.5 thematisiert.

(Erklärvideo Intra- und interspezifische Konkurrenz (3:18)

<https://studyflix.de/biologie/intra-und-interspezifische-konkurrenz-2570>

Einsatz: für den Schulbetrieb kaum geeignet

Inhalt: Beispiel Wasservogel. Intraspezifische Konkurrenz reguliert die Populationsgröße. Interspezifische Konkurrenz führt zur Konkurrenzvermeidung, womit das Konkurrenzausschlussprinzip umgangen wird. Die Visualisierung ist nicht befriedigend, weil die Stockenten zu hoch im Wasser liegen und zur Nahrungssuche abtauchen (das tun diese Schwimmenten in der Natur aber nicht); auch taucht der Schwan mit gebogenem Hals ganz ab, was nicht stimmt.)

Die Konkurrenz um Nahrungsmittel kann sowohl intraspezifisch als auch interspezifisch auftreten. Beispiele:

- Interspezifische Konkurrenz um Licht, Wasser oder Mineralien bei Pflanzen und Algen. Bei Buchner, Seite 192, M1, sind die Wachstumskurven zweier Kieselalgen-Arten isoliert sowie in Konkurrenz anschaulich dargestellt.

Vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 4 „Biotische Faktoren“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

- Interpezifische Konkurrenz um Gras und Kräuter zwischen Reh (*Capreolus capreolus*), Rothirsch (*Cervus elaphus*), Feldhase (*Lepus europaeus*).
- Intraspezifische Konkurrenz um Gras und Kräuter zwischen den Individuen einer Rehpopulation.
- Intraspezifische Konkurrenz um Fleisch zwischen den Mitgliedern eines Rudels Löwen (*Panthera leo*), wobei die männlichen Tiere Vorrang haben und die Jungtiere als letzte beim Fressen dran kommen.

Zuordnung zu den Trophie-Ebenen:

Gras, Kräuter: Produzenten

Reh, Rothirsch, Feldhase; im Löwenbeispiel auch Gazellen, Antilopen usw.: Konsumenten 1. Ordnung (Pflanzenfresser)

Löwe: Konsument 2. Ordnung (Fleischfresser)

Die Konkurrenz um Geschlechtspartner gibt es dagegen nur intraspezifisch.

Weitere Unterscheidungen wie „contest“ und „scramble“ oder Interferenz- und Ausbeutungs-Konkurrenz würde ich im Kursunterricht nicht berücksichtigen.

1.4.2 Ökologische Potenz

Nachdem der biotische Faktor Konkurrenz besprochen ist, werden seine Auswirkungen auf die Toleranzkurve besprochen. Dabei wird der (im LehrplanPLUS genannte) Fachbegriff „ökologische Potenz“ eingeführt (und zwar im engeren Sinn, also im Unterschied zur physiologischen Potenz). Zur Wiederholung der physiologischen Potenz und Einführung der ökologischen Potenz kann der folgende Film gezeigt werden:

Erklärvideo Physiologische und ökologische Potenz (3:49)

<https://studyflix.de/biologie/oekologische-und-physiologische-potenz-2567>

Einsatz: Sowohl im Unterricht (Erarbeitungsphase) als auch für das Selbststudium der Kursteilnehmer gut geeignet (für das vorliegende Thema nur bis 2:57).

Inhalt: Die Potenz umfasst die Ausprägungen eines Umweltfaktors, bei denen ein Lebewesen existieren kann. Physiologische Potenz bezieht sich nur auf einen einzelnen (abiotischen) Umweltfaktor, bei der ökologischen Potenz kommt zu diesem Faktor die Konkurrenz hinzu (tatsächliche Bedingungen im Ökosystem). Ab 1:10 Toleranzkurve der physiologischen Potenz mit Toleranzbereich, Pessimum, Optimum, Präferendum; dann Kurve der ökologischen Potenz (Konkurrenz „Unkraut“), die schmaler und niedriger ist. Ab 2:57: euryök / eurypotent (tolerant gegen Schwankungen des Umweltfaktors) bzw. stenoök / stenopotent (wenig tolerant gegen Schwankungen)

Bei der ökologischen Potenz wird – wie bei der physiologischen Potenz – nur ein einziger Umweltfaktor betrachtet, aber es wird die reale Situation berücksichtigt, bei der auch Konkurrenten auftreten. Die Toleranzkurve der ökologischen Potenz weicht oft stark von der Toleranzkurve der physiologischen Kompetenz ab (der Toleranzbereich auf der x-Achse ist kleiner, die Höhe des Optimums liegt niedriger und ggf. an anderer Stelle bezüglich der x-Achse).

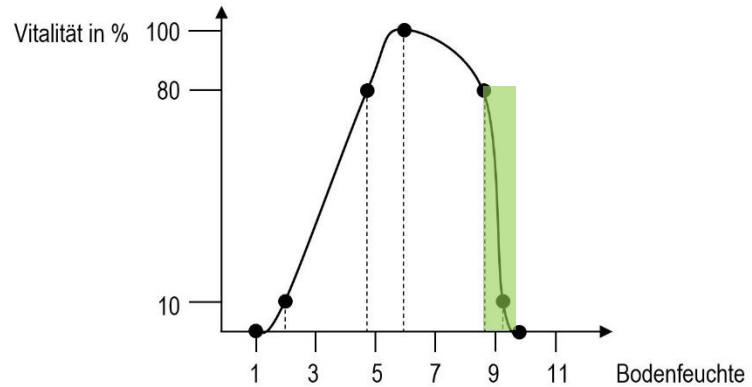
Beispiel: Konkurrenz bei Waldbäumen

Die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) ist bezüglich der Bodenfeuchte ein Generalist mit einem Optimum bei mittelfeuchten Böden. In der Natur ist sie allerdings nur auf frischen bis stark feuchten Böden anzutreffen. Das liegt an der starken Konkurrenz anderer Waldbäume, die sie aus ihrem Präferendum vertreiben, weil sie z. B. in der Jugend schneller keimen und wachsen und die jungen Erlen zu sehr beschatten.

Im naturnahen Wald besiedelt dagegen die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) vor allem trockene bis mittelfeuchte Böden und liegt damit weitgehend in ihrem Präferendum.

Die schwarze Kurve gibt die Toleranzkurve der Schwarzerle ohne Konkurrenz an (physiologische Potenz). Der grüne Balken zeigt den Bereich an, in dem die Schwarzerle bei Konkurrenz im naturnahen Wald tatsächlich vorkommt (ökologische Potenz). Bei dieser Art der Darstellung ist nur der optimale Bereich auf der x-Achse angegeben, nicht aber die Höhe des Optimums der Vitalität auf der y-Achse.

Die Toleranzkurve haben die Kursteilnehmer ggf. in Aufgabe 2 des Arbeitsblatts „Toleranzkurven“ bereits gezeichnet.



Graphik Schwarzerle physiologische und ökologische Potenz [\[jpg\]](#)

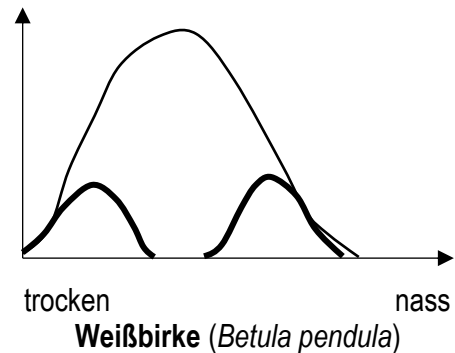
vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 4 „Biotische Faktoren“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Buchner, Seite 189, Abbildung B4, vergleicht sehr anschaulich die physiologische Potenz von Rotbuche und Waldkiefer bezüglich der Bodenfeuchte sowie deren ökologische Potenz in der Konkurrenzsituation.

Ein weiteres Beispiel stellt die **Weißbirke** dar, von ihrer physiologischen Potenz her ein Generalist, aber konkurrenzstark nur an den Randbereichen auf trockenen und nassen Böden. Die Kursteilnehmer beschreiben die Kurven, ordnen sie zu (Generalist, Spezialist) und formulieren die Verhältnisse bezüglich der ökologischen Potenz. Auf dem Informationsblatt finden Sie zusätzlich die Diagramme für Rotbuche, Große Brennnessel, Zitterpappel und Waldkiefer.

Hochwertachse: Intensität der Lebensvorgänge
Rechtswertachse: Grad der Bodenfeuchte

— physiologische Potenz
(isoliert, ohne Konkurrenz)
— ökologische Potenz
(im Bestand, mit Konkurrenz)



Graphik Weißbirke physiologische und ökologische Potenz [\[jpg\]](#)

Weitere Beispiele:

Informationsblatt Weitere Beispiele für Konkurrenz bei Pflanzen [\[docx\]](#)

1.4.3 Koexistenz

coexistere, lateinisch: zugleich vorhanden sein

Bei Koexistenz leben Populationen verschiedener Arten im gleichen Lebensraum zusammen (ggf. Fachbegriff: sympatrisch), ohne dass es zur gegenseitigen Verdrängung kommt. Ein Beispiel sind die Vögel an einheimischen Gewässern, die im gleichen Lebensraum brüten.

1.4.4 Symbiose

syn, altgriechisch: zusammen; *bios*, altgriechisch: Leben
Individuum: der Symbiont

Zusammenleben von Individuen unterschiedlicher Arten zum gegenseitigen Nutzen. (In den USA bezeichnet man dagegen im weiteren Sinn als Symbiose jegliche Form des Zusammenlebens von zwei oder mehr Arten.)

Rückgriff auf mutualistische Koevolution (Q12, Teilabschnitt 2.4.1).

Das Studyflix-Erklärvideo *Symbiose* ist für Schulzwecke nicht einsetzbar, denn es nennt v. a. viele Typen von Symbiose, was weit über den Schulunterricht hinaus geht.

Beispiele:

- Blütenpflanzen geben Nahrung (z. B. Nektar), Blütenbestäuber sorgen für gezielten Transport von Pollen (dadurch viel geringere Pollenproduktion als bei der Windbestäubung, dafür großer Aufwand für das Anlocken der Bestäuber und die Ausbildung sicherer Blütenmerkmale, um möglichst große Blütentreue zu erreichen)
- Mykorrhiza (*mykes*, altgriechisch: Pilz; *rhiza*, altgriechisch: Wurzel): Der Pilz sammelt Wasser und Bodenmineralien, die er an den Baum weitergibt, der Baum versorgt den Pilz mit Kohlenhydraten. Dabei steht ein Pilz mit seinen Pilzfäden (Hyphen) mit mehreren Bäumen in Verbindung, die über weitere Pilze mit weiteren Bäumen verbunden sind, so dass man vom *Wood Wide Web* spricht. (Forschende der Universität Göttingen fanden 2024 durch Einsatz von Kohlenstoffdioxid mit dem Isotop C13 heraus, dass Waldbäume zwar Kohlenhydrate an ihre Pilzsymbionten abgeben, diese die Nährstoffe aber nicht an Nachbarbäume weitergeben.)
- Flechten: Der Pilz bildet den Flechtenkörper und sorgt für genügend Feuchtigkeit im Inneren, die eingelagerten einzelligen Algen bzw. Cyanobakterien betreiben Photosynthese und versorgen den Pilz mit Kohlenhydraten.
- Ameisen erhalten von Blattläusen zuckerhaltigen Saft aus deren Darm und verteidigen sie gegen Fressfeinde wie Larven und ausgewachsene Tiere des Marienkäfers. Die Kommunikation zwischen Ameise und Blattlaus beruht auf Missverständnissen: Wenn eine Ameise von einer Kollegin gefüttert werden will, betrillert sie deren Fühler mit ihren Fühlern. Die Ameisen betrillern die hinteren Anhänge der Blattläuse (Styli). Diese deuten dies als Angriff und geben daraufhin einen Tropfen ihres stark zuckerhaltigen Darminhalts zur Abwehr ab. Sie saugen aus ihrer Wirtspflanze den zuckerhaltigen Saft aus den Leitungsbahnen, entnehmen ihm wertvolle Stoffe wie Proteine, auch die Menge an Zucker, die sie benötigen, und scheiden den restlichen Zuckersaft aus.
- Die in den tropischen Riffen vor der Insel Palau im Pazifik lebenden Muscheln der Gattung *Tridacna* leben in Symbiose mit Algen, die in winzigen Röhren leben, welche aus dem Verdauungssystem der Muschel nach oben ragen, so dass sie ein geordnetes Säulenmuster ergeben. In unmittelbarer Nähe liegen säuberlich ausgerichtete Stapel von transparenten, proteinreichen Plättchen (gebildet von sogenannten Iridocyten), die das in die Muschel einfallende Licht streuen und tiefer ins Innere leiten. Damit wird ein ganz hervorragender Wirkungsgrad bei der Lichtabsorption erreicht (vermutlich bis weit über 60 %), der doppelt so hoch ist wie bei kommerziellen Solaranlagen und drei Mal so hoch wie bei einem tropischen Baumblatt.

Meghan Bartels: Riesenmuscheln beherbergen effiziente Solaranlagen. In Spektrum der Wissenschaft 11.2024, Seite 22-24

1.4.5 Prädation

Die Formulierung im LehrplanPLUS zeigt auf, was damit gemeint ist: Prädation (im weitesten Sinn) als Oberbegriff zu Carnivorie, Herbivorie und Parasitismus. Dem gegenüber steht die engere Definition, die unter einem Prädator ausschließlich einen Beutegreifer versteht.

praedatio, lateinisch: Beutemachen, Plündern, Rauben

Die Prädation ist der Vorgang, bei dem ein Organismus einen anderen Organismus als Nahrung nutzt.

Das Prädation ausübende Individuum heißt Prädator. Das als Nahrungsquelle dienende Individuum heißt je nach Kontext Beute, Wirt oder Nahrungspflanze.

Formen der Prädation:

a) Carnivorie

caro, carnis, lateinisch: Fleisch; *vorare*, lateinisch: fressen

Ein Carnivor (Fleischfresser) ist ein Organismus, der sich von tierischen Organismen ernährt, also ein Konsument 2. oder höherer Ordnung.

Das Fleischfressergebiss (bei den meisten Familien der Ordnung Carnivora wie Katzen-, Hunde-, Marderartige usw.) weist Angepasstheiten an Beschaffung und Zerkleinerung der Fleischnahrung auf: Lange Eckzähne halten die Beute fest; scharfkantige, mit Zacken versehene Backenzähne zerschneiden das Fleisch der Beute und brechen deren Knochen; kleine Schneidezähne nagen Fleischreste von Knochen ab.

Hinweise: Die deutsche wie die lateinische Namensgebung für diese Säugetierordnung als Fleischfresser (Carnivora) ist unglücklich gewählt, weil es jede Menge anderer Tiergruppen gibt, die sich ebenfalls *carnivor* ernähren wie z. B. Spinnen.

Begriffe wie Räuber oder Raubtier sollten vermieden werden, weil rauben im juristischen Sinne ein Unrecht darstellt, was für die Natur ja nicht zutreffen kann.

Der Begriff Prädator wird im engeren Sinne auch als Synonym für Carnivor verwendet; das sollte im Kursunterricht unterbleiben. Dagegen sind die Begriffe Beutegreifer und Aasfresser eindeutig und wertneutral. Ein Fressfeind kann sich *carnivor* oder *herbivor* ernähren.

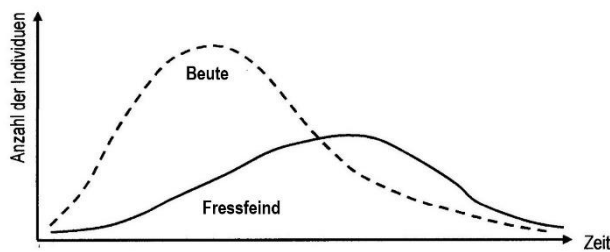
Beispiele für konkrete Untersuchungen zum Zusammenleben von Fressfeind und Beute:

Beispiel: Einzeller

Beute = Pantoffeltierchen (*Paramecium*, ein einzelliges Wimpertierchen)

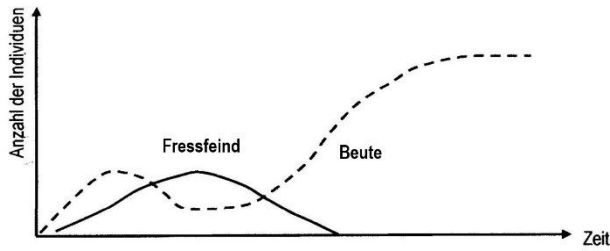
Fressfeind = Nasentierchen (*Didinium*, ein einzelliges Wimpertierchen)

Je eine Population jeder Art wird in ein Aquarium gegeben und die jeweilige Populationsdichte in regelmäßigen Abständen festgestellt (Laborversuch).



a) homogenes Milieu ohne Versteckmöglichkeiten für die Beute:

Die Population der Beute nimmt schneller zu als die des Fressfeinds. Sobald dessen Population eine bestimmte Größe erreicht hat, rottet er die Beute-Population aus und verhungert dann selbst.



b) heterogenes Milieu mit Versteckmöglichkeiten für die Beute:

Anfangs gleicht der Kurvenverlauf der Situation in a), aber ein Teil der Beute kann sich dem Zugriff durch den Fressfeind entziehen, so dass die Beute-Population einen hohen Stand erreicht, während – im Extremfall – die des Fressfeinds ausstirbt.

Quelle: Abbildungen und Text nach Lutz Hafner, Eckhard Philipp (Hrg.): Materialien für den Sekundarbereich II Biologie, Schroedel 1978, Seite 43

Graphiken *Fressfeind und Beute ohne Versteck* [\[jpg\]](#); *mit Versteck* [\[jpg\]](#)

vgl. **Aufgabe 2** auf dem Arbeitsblatt 4 „Biotische Faktoren“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

b) Herbivorie

herba, lateinisch: Kraut

Ein Herbivor (Pflanzenfresser) ist ein Organismus, der sich von pflanzlichen Organismen ernährt, also ein Konsument 1. Ordnung.

Nahrungsspezialisten zeigen gewisse Angepasstheiten z. B.:

- Grasfresser wie Rind (*Bos taurus*) und Pferd (*Equus caballus*) besitzen große, flache Backenzähne mit harten Schmelzfalten, mit denen sie ihre wenig ergiebige Nahrung zerkauen, so dass möglichst große Angriffsflächen für die symbiontischen Mikroorganismen in Pansen bzw. Blinddarm geschaffen werden. (Beide Grasfressergebisse haben sich unabhängig voneinander entwickelt.)
- Der Koala (*Phascolarctos cinereus*) ernährt sich fast ausschließlich von Blättern, Rinde und Früchten ganz bestimmter Eukalyptus-Arten. Mit den Schneidezähnen werden die Blätter gepflückt, mit den Backenzähnen werden sie zerschnitten, zerrissen und zermalmt. Im Blinddarm leben symbiontische Bakterien, die die Zellulose der Zellwände vergären. In einem bestimmten Ausmaß vertragen Koalas die Giftstoffe ihrer Nahrungspflanze.

Auf der anderen Seite besitzen auch Pflanzen Angepasstheiten bezüglich ihrer Prädatoren:

- Schwarzdorn (= Schlehe, *Prunus spinosa*), Weißdorn (Gattung *Crataegus*), Rose (Gattung *Rosa*) oder Brombeere (Gattung *Rubus*) bilden Stacheln bzw. Dornen aus, um größere Fressfeinde abzuschrecken (kleinere Fressfeinde wie Insekten und deren Larven bleiben davon allerdings unbeeindruckt).
- Viele Pflanzen lagern in bestimmte Organe Gifte ein, die Fressfeinde abschrecken, z. B. Nachtschattengewächse wie Tabak (Gattung *Nicotiana*) im Blatt, Tollkirsche (*Atropa belladonna*) in der Frucht, Kartoffel (*Solanum tuberosum*) in grünen Pflanzenteilen und Frucht oder Tomate (*Solanum lycopersicum*) in grünen Pflanzenteilen.
- Viele Pflanzen produzieren auffällig gefärbte und duftende Früchte. Sie werden von Tieren gefressen. Die in den Früchten befindlichen Samen bleiben im Darm unbeschädigt, werden an anderen Orten ausgeschieden und damit verbreitet.

c) Parasitismus

parásitos, altgriechisch: bei einem Anderen essend, Schmarotzer (aus *pará*, altgriechisch: neben und *sitos*, altgriechisch: Getreide, Getreideprodukt)

(Erklärvideo Parasitismus (3:34))

<https://studyflix.de/biologie/parasitismus-2469>

Einsatz: nicht geeignet, weil die Unterscheidungen für die Schule irrelevant sind und einige Unklarheiten vorkommen.

Inhalt: Charakterisierung und Beispiele; Unterscheidung nach Parasitenarten: Phytoparasiten (Holo-, Hemiparasiten; unklar: „Seide“ als Beispiel für Holoparasitismus), Zooparasiten (Ekto- und Endoparasiten) und Viren. Bei den pflanzlichen Parasiten werden im Bild Pilze statt Pflanzen gezeigt. Unterteilung nach der Aufenthaltsdauer: temporär, stationär (permanent bzw. periodisch). Abgrenzung zur Symbiose.)

Der Parasit gewinnt Ressourcen von einem Wirtsorganismus, der erheblich größer ist als er selbst. Der Wirtsorganismus wird dabei mehr oder weniger stark geschädigt, aber in der Regel nicht getötet (denn der durch den Tod des Wirts verursachte Verlust der Ressourcen würde auch den Parasiten schädigen, wenn nicht töten).

Der etwas veraltete deutsche Begriff für Parasitismus ist Schmarotzertum.

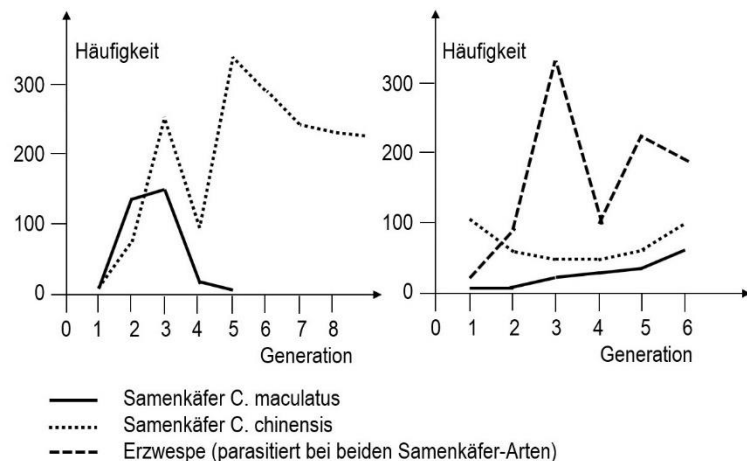
Der englische Ökologe Charles Elton formulierte den Unterschied von Parasiten zu Fressfeinden so: Der Fressfeind lebt vom Kapital der Beute, während der Parasit von den Zinsen des Wirts lebt.

Beispiel: Samenkäfer

Je eine Population zweier Samenkäfer-Arten (*Callosobruchus maculatus* und *C. chinensis*) werden in ein Terrarium gegeben und die jeweilige Populationsdichte in regelmäßigen Abständen festgestellt.

a) Bei knappen Nahrungsressourcen besteht Nahrungskonkurrenz. Mit der 5. Generation stirbt die Population von *C. maculatus* aus, während *C. chinensis* weiter besteht und seine Population noch vergrößert (linke Abbildung).

b) Ergänzt man von Anfang an zusätzlich zu den beiden Samenkäfer-Populationen eine kleine Population Erzwespen, die an beiden Samenkäfer-Arten parasitieren, verändern sich die Populationsgrößen der Samenkäfer-Arten dramatisch anders: *C. maculatus* überlebt und baut seine Populationsgröße kontinuierlich aus, *C. chinensis* überlebt ebenfalls und baut nach anfänglichem Populationsrückgang seine Populationsgröße wieder aus (rechte Abbildung). Die y-Achse gilt bei der rechten Abbildung nur für die Samenkäfer, nicht für die Erzwespe (die hat ja eine erheblich niedrigere Populationsdichte; Zahlenangaben für sie stehen mir leider nicht zur Verfügung).



Graphik Populationsentwicklung bei Samenkäfern mit und ohne Fressfeind [jpg]

Quelle: Linder Biologie 12. Schroedel 2010, Seite 73, Abbildung 3

vgl. **Aufgabe 3** auf dem Arbeitsblatt 4 „Biotische Faktoren“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Weitere Beispiele:

- Zu den etwa 70 Parasiten des Menschen gehören Spulwürmer, Bandwürmer, Läuse, Flöhe und Zecken.
- Die 10-60 cm hohe rotblühende Blutrote Sommerwurz (*Orobanche gracilis*) wächst auf Wiesen in Europa und Vorderasien. Sie besitzt keinerlei grüne Organe, ihre Blätter sind auf kleine bräunliche Schuppen reduziert. Ihre Wurzeln haben Kontakt zu Wirtspflanzen (z. B. Klee), denen sie Nährstoffe entziehen. Weil die Sommerwurz keinerlei Photosynthese betreibt, wird sie als Vollparasit bezeichnet.
- Die Mistel (*Viscum album*) dagegen ist ein Halbparasit, weil sie in ihren grünen Blättern und Stängeln Photosynthese betreibt und sich dadurch selbst mit Kohlenhydraten versorgt. Sie sitzt oben auf Bäumen und steckt mit ihren kurzen Wurzeln in deren Holz. Dort zapft sie die Wasserleitungsbahnen an, denen sie Wasser und Mineralsalze entnimmt. Bei sehr starkem Befall mit Misteln kann der Wirtsbaum so stark geschädigt werden, dass er abstirbt. Misteln sollten bei stärkerem Befall deshalb aus Bäumen vollständig (mit Wurzeln) entfernt werden.
- Brutparasitismus beim Kuckuck, der seine Eier in Nester anderer Vogelarten legt. Der junge Kuckuck schlüpft früher als der Nachwuchs der Wirtsvogel und ist meist größer als diese. In der Regel wirft der Jungkuckuck die anderen Jungvögel aktiv aus dem Nest.
- Brutparasitismus bei Kuckucksbienen: Die einheimische Schenkelbiene (Gattung *Macropis*) ist eine einzeln lebende Wildbiene, die Erdgänge gräbt, in deren Seitennischen sie Öl und Pollen als Nahrung für ihren Nachwuchs einlagert. Die Schmuckbiene (*Epeoloides coeutiens*), eine sogenannte Kuckucksbiene, wartet, bis die Schenkelbiene fortfliegt, um Futter zu sammeln, und legt ihre Eier in die Nischen. Ihr Nachwuchs ernährt sich dann von dem dort eingelagerten Futter und oft auch von den Larven der Schenkelbiene.

Es gibt Übergangsformen in alle Richtungen:

- Übergang zur Symbiose: Der Parasit schädigt seinen Wirt nicht nur, er bringt ihm auf der anderen Seite auch einen Nutzen ein. Ob man die Form des Zusammenlebens eher als Parasitismus oder als Symbiose bezeichnen will, hängt davon ab, wie groß Schaden und Nutzen jeweils sind.
- Übergang zum Fressfeind: Der Wirt wird zunächst am Leben gelassen, stirbt aber, sobald der Nachwuchs des Parasiten herangewachsen ist. Beispiele sind Grabwespen, Schlupfwespen und Schlupffliegen, die ihre Eier in andere Insekten legen. Die daraus schlüpfenden Larven ernähren sich zunächst von weniger wichtigen inneren Organen des Wirts, danach von den lebenswichtigen.
- Übergang zum Krankheitserreger (Pathogen): Pathogene sind mikroskopisch klein (Viren, Bakterien, eukaryotische Einzeller) und können im Gegensatz zu echten Parasiten auch tödliche Wirkung auf ihren Wirt haben.

Parasiten zeigen oft spezielle körperliche Angepasstheiten:

- Läuse halten sich mit ihren Klammerbeinen an Haaren des Wirts fest.
- Bandwürmer verankern sich mit einem Hakenkranz am Kopf im Darm des Wirts.

- Flöhe und Läuse stammen zwar von flügeltragenden Insekten ab, besitzen selbst aber keine Flügel (sekundärer Flügelverlust).

1.5 Konkurrenzvermeidung und ökologische Nische

(ca. 1 Stunde)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
ökologische Nische, Konkurrenzvermeidung	erklären das Konzept der ökologischen Nische als Zusammenspiel biotischer und abiotischer Faktoren, aus dem sich die Zusammensetzung der Biozönose eines Ökosystems ergibt.

Arbeitsblatt 5 Konkurrenzvermeidung [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

1.5.1 Konkurrenzvermeidung

Vorwissen: Toleranzkurven, Generalisten, Spezialisten (bezüglich abiotischer Faktoren, Abschnitt 1.3)

Erklärvideo Konkurrenzausschlussprinzip (3:24)

<https://studyflix.de/biologie/konkurrenzausschlussprinzip-2442>

Einsatz: Trotz der Formulierungsschwächen sind die beiden Beispiele recht anschaulich.

Inhalt: Interspezifische Konkurrenz bei gleichen Ansprüchen an Umweltfaktoren. Führt zur Konkurrenzvermeidung durch individuelle Veränderung des Verhaltens oder langfristig durch evolutive Veränderungen. Ab 1:57 Beispiel Ente und Schwan, die in unterschiedlicher Tiefe nach Nahrung suchen (falsche Aussage: Die Schwäne tauchen 70-90 cm tief; das tun sie nicht, der Körper bleibt an der Oberfläche, aber dabei erreichen sie die genannte Tiefe). Beispiel Habicht (jagt größere Tiere) und Sperber (jagt kleinere Tiere); falsche Grammatik: Der Plural von Buchfink ist Buchfinken (mit N).

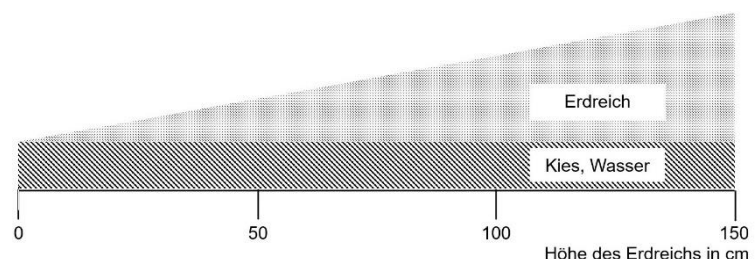
Wenn zwei oder mehr Arten im gleichen Areal leben und gleiche Ansprüche an ihre Umwelt haben, treten sie miteinander in Konkurrenz, sobald die Ressourcen knapp werden.

Die Erfahrung zeigt, dass zwei Arten mit gleichen Ansprüchen nicht auf Dauer im selben Areal leben können, weil nach einer gewissen Zeit eine der beiden Arten verdrängt wird: Konkurrenz-Ausschluss-Prinzip (*diesen Begriff nennt der LehrplanPLUS zwar nicht explizit, aber ich würde ihn einführen*). Deshalb findet man bei allen Arten, die das selbe Areal auf Dauer besiedeln, Strategien der Konkurrenzvermeidung.

Bei knappen Ressourcen gedeihen die Individuen derjenigen Population am besten, welche die Ressourcen am effektivsten nutzen, so dass sie schneller wachsen und sich erfolgreicher vermehren. Die weniger konkurrenzfähigen Populationen überleben dagegen in Bereichen, bei denen die Bedingungen zwar nicht ihrem Optimum entsprechen, die aber noch ertragen werden (Randbereich).

Beispiel: Feuchte liebende einheimische Gräser

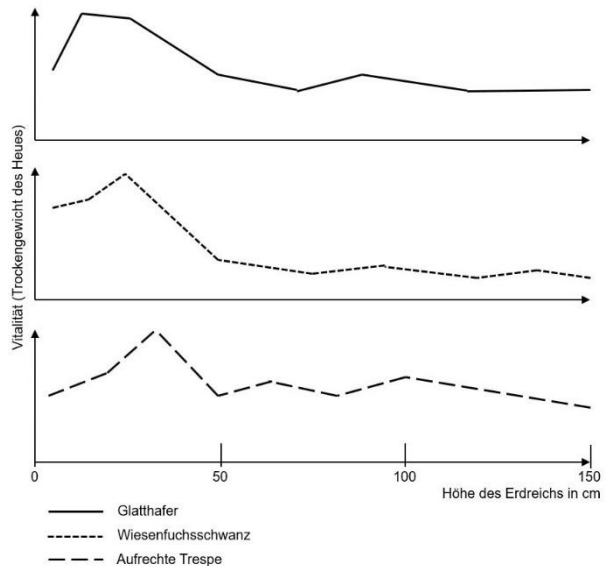
Im Laborversuch werden die Toleranzkurven von Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), Aufrechte Trespe (*Bromus erectus*) und Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) bezüglich der Bodenfeuchte ermittelt.



Graphik Versuchsaufbau [\[jpg\]](#)

Versuchsaufbau: Grundsicht aus Kies, umgeben von Wasser („Grundwasser“), darüber keilförmig ansteigend Erdreich (der unterschiedliche Abstand zum „Grundwasser“ entscheidet über die Bodenfeuchte). Aussaat jeweils nur einer der drei Arten pro Versuchsbeet. Nach einer bestimmten Zeit werden in jedem Teilbereich des Beetes die oberirdischen Halme abgemäht und getrocknet. Messgröße: Trockengewicht des Heus.

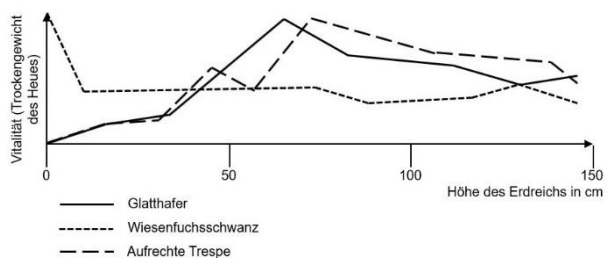
Beobachtung: Alle drei Arten haben ihr Optimum im feuchten Bereich, tolerieren aber auch trockenere Bereiche.



Graphik Gräser einzeln
 Versuchsergebnisse [\[jpg\]](#)

Dann wird der Versuch wiederholt, aber mit einer Mischung von Saatgut aus allen drei Arten. Nach einer bestimmten Zeit werden die oberirdischen Halme in jedem Teilbereich des Beetes abgemäht, nach Arten sortiert, getrocknet und gewogen.

Beobachtung: Im gemeinsamen Bestand erreichen alle drei Arten ihr maximales Wachstum bei Bodenfeuchten, die weit von ihrem Optimum entfernt liegen: Fuchsschwanz auf sehr feuchtem, Trespe auf trockenem und halbtrockenem, der Glatthafer auf mittelfeuchtem Boden.



Graphik Gräser zusammen
 Versuchsergebnisse [\[jpg\]](#)

Auf diese Weise vermeiden die drei Arten Konkurrenz untereinander, jede Art wächst am stärksten dort, wo sie die jeweilige Bodenfeuchte besser als die anderen beiden Arten erträgt.

Quelle: Graphiken nach Natura: Zelle, Stoffwechsel, Ökologie. Klett 1998, Seite 106

vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 5 „Konkurrenzvermeidung“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel: Wasservögel

Reiherente (*Aythya fuligula*) und Löffelente (*Spatula clypeata*) leben nebeneinander in stehenden Gewässern Mittel-, Nord- und Osteuropas. Bei ihnen sind folgende Strategien der Konkurrenzvermeidung zu beobachten:

Vermeidung zwischenartlicher Konkurrenz: Die adulten Tiere suchen in unterschiedlichen Wassertiefen nach Nahrung: die Löffelente als Schwimmente an oberflächennahen Wasserpflanzen (sie frisst neben Pflanzen auch Schnecken und Muscheln), die Reiherente als Tauchente dagegen in tieferen Wasserbereichen (sie frisst neben Pflanzen, Schnecken und Muscheln auch andere Kleintiere).

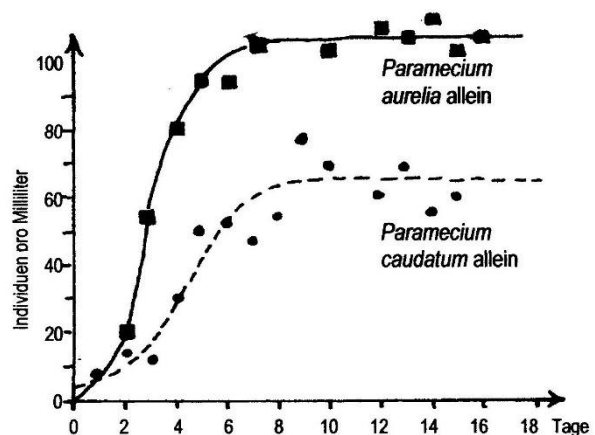
Der Haubentaucher (*Podiceps cristatus*) beschafft seine Nahrung in ähnlichen Wassertiefen wie die Reiherente, jagt aber nach Fischen, wodurch Konkurrenz unter diesen Arten nicht auftritt.

Vermeidung innerartlicher Konkurrenz: Auch zwischen Jungtieren und Alttieren wird Nahrungskonkurrenz vermieden, denn die Küken der beiden Entenarten ernähren sich im Gegensatz zu ihren Eltern von Insekten.

Zwei anschauliche **Abbildungen** dazu finden Sie in Natura: Zelle, Stoffwechsel, Ökologie. Klett 1998, Seite 107.

Beispiel: Pantoffeltierchen

Verschiedene Arten von Pantoffeltierchen (*Paramecium*) werden im Labor isoliert bzw. zusammen kultiviert. Jeden Tag wird zur gleichen Stunde eine Probe entnommen und die Anzahl der Individuen pro Milliliter ermittelt.



Graphik Paramecien alleine [\[jpg\]](#)

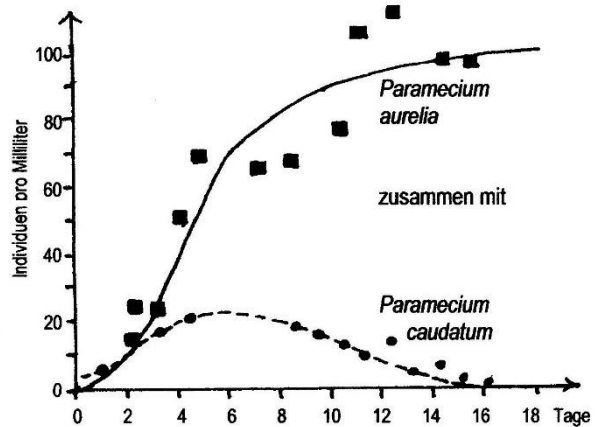
P. aurelia bzw. *P. caudatum* jeweils für sich alleine (beide fressen Bakterien von der Wasseroberfläche):

Die maximale Populationsdichte (entspricht der Umweltkapazität K^*) liegt bei *P. aurelia* höher als bei *P. caudatum*.

Das Wachstum der Population geschieht bei *P. aurelia* schneller als bei *P. caudatum* (entspricht der Wachstumsrate r^*).

*) K - und r -Wert können bereits hier eingeführt werden, ansonsten im Teilabschnitt 1.6.1. Auch wenn der LehrplanPLUS sie indirekt bei der Behandlung der K - und r -Strategie nur für den eA-Kurs vorschreibt, können sie auch im gA-Kurs behandelt werden.

Erklärung: *P. aurelia* ist kleiner als *P. caudatum*

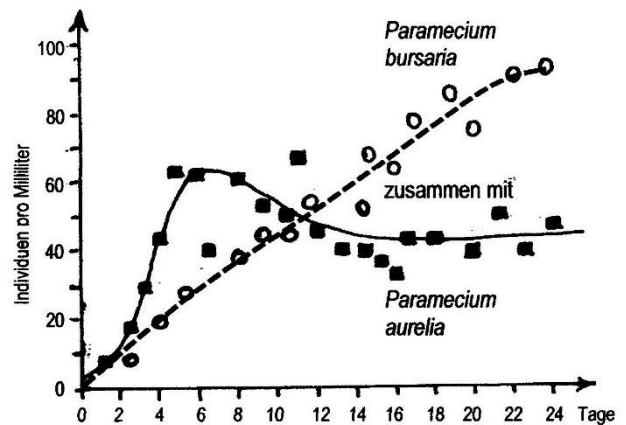


Graphik Paramecien zusammen [\[jpg\]](#)

P. aurelia und *P. caudatum* zusammen:

P. aurelia verdrängt *P. caudatum*, weil erstere Art schnelleres Populationswachstum hat.

Erklärung: Konkurrenz-Ausschluss-Prinzip.



Graphik Paramecien Koexistenz [\[jpg\]](#)

P. aurelia und *P. bursaria* gemeinsam:

Beide Arten koexistieren, wobei K bei *P. bursaria* etwa doppelt so hoch liegt wie bei *P. aurelia*.

Erklärung der Koexistenz: Konkurrenzvermeidung, denn *P. aurelia* frisst Bakterien in der Kahlhaut an der Oberfläche, während sich *P. bursaria* von Bakterien ernährt, die nach unten absinken.

Quelle: nach L. Hafner, E. Philipp: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie – Ökologie; Schroedel 1978, Seite 41

Hinweis: In den Abbildungen sind die konkreten Messwerte angegeben, die links und rechts um eine idealisierte Kurve streuen. Dies sollte mit den Kursteilnehmer diskutiert werden.

In Linder Biologie Oberstufe, 2010, Seite 380, finden Sie die Diagramme zum Populationswachstum von *P. caudatum*, *P. aurelia* und *P. bursaria* in Reinkultur sowie die der Mischkulturen von *P. aurelia* mit *P. caudatum* bzw. *P. aurelia* mit *P. bursaria*.

vgl. **Aufgabe 2** auf dem Arbeitsblatt 5 „Konkurrenzvermeidung“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel: Kormoran und Zander

Kormoran und Zander haben vergleichbare Körpermasse und ernähren sich beide von Fischen. Sie vermeiden Konkurrenz weitgehend dadurch, dass der Zander eher kleine, der Kormoran eher große Beutetiere fängt und dass sie unterschiedliche Schwerpunkte bei der Auswahl der Beutearten haben. Vgl. Buchner, Seite 193, M2

1.5.2 Ökologische Nische

Die Gesamtheit der abiotischen und biotischen Umweltfaktoren, innerhalb derer eine Art lebt, nennt man ökologische Nische. Die ökologische Nische ist also kein Ort in einem Biotop, sondern quasi der „Beruf“ einer Art innerhalb einer Lebensgemeinschaft. Sie charakterisiert die Umweltansprüche einer bestimmten Art und die Form ihrer Umweltnutzung.

Unter Einnischung versteht man das Phänomen, dass die Arten, die dasselbe Biotop besiedeln, in Lebensbereichen wie Nahrung, Brutplatz, Versteck usw. Konkurrenz vermeiden. Alle Arten im selben Biotop haben also ein anderes Muster von Umweltansprüchen (entspricht der ökologischen Nische), die sie nutzen.

Erklärvideo Ökologische Nische (5:05)

<https://studyflix.de/biologie/oekologische-nische-2452>

Einsatz: gut geeignet ggf. im Unterricht, v. a. aber zum Selbstlernen nach der Besprechung der ökologischen Nische zur Überprüfung und ggf. Ergänzung des eigenen Wissens (auch wenn im Film Fachbegriffe vorkommen, die der LehrplanPLUS nicht vorschreibt)

Inhalt: Lebensansprüche an abiotische und biotische Umweltfaktoren zum Überleben, Ausbreiten und Fortpflanzen; Nischendefinition am Beispiel des Koala; Fundamentalnische (optimale Lebensbedingungen, ohne Konkurrenz) vs. Realnische (reale Lebensbedingungen, Konkurrenz); direkte Konkurrenz bei Nischenüberlappung; ökologische Planstelle (Beispiel: Hasen mit unterschiedlich dicken Fell in unterschiedlichen Waldbiotopen); Einnischung als Besetzung einer ökologischen Planstelle

1.6 Populationsentwicklung

(ca. 1 Stunde im gA-Kurs; ca. 2 Stunden im eA-Kurs)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
K- und r-Strategie; idealisierte Populationsentwicklung: Wachstumsphasen (u. a. exponentielles Wachstum); Einfluss von abiotischen und biotischen Umweltfaktoren (u. a. Konkurrenz, Lotka-Volterra-Modell der Räuber-Beute-Beziehungen) auf die Entwicklung von Populationen (logistisches Wachstum); Umweltkapazität; biologisches Gleichgewicht; Neobiota; Populationsentwicklung des Menschen	unterscheiden verschiedene Fortpflanzungsstrategien, erläutern die verschiedenen Phasen der Populationsentwicklung und begründen die Dynamik mit dem Einfluss von Umweltfaktoren auf die Population und selbstregulierenden Faktoren in der Population.

Ich stelle hier die K- und r-Strategie nach hinten, um die Nummerierung beim gA-Kurs nicht zu stören. Außerdem sollten die Symbole K und r zuerst einmal eingeführt werden, bevor man über diese Strategien spricht (z. B. im Paramecien-Versuch bei 1.5.1).

Arbeitsblatt 6 Populationsentwicklung [docx] [pdf]

1.6.1 Exponentielles Populationswachstum

Die Formulierung des LehrplanPLUS „Wachstumsphasen (u. a. exponentielles Wachstum)“ interpretiere ich dahingehend, dass ich die lag- oder Anlaufphase einbeziehe, in der aber noch kein Wachstum vorliegt.

Ein besonders einfaches Modell für Wachstumsphasen stellen Bakterien dar, die unter optimalen Bedingungen (Optimaltemperatur, genügend Nahrung usw.) alle 20 Minuten eine Zellteilung durchführen.

Lag-Phase (lag, englisch: zögern) = Anlaufphase: Ein Bakterium wird in eine Nährlösung eingebracht und benötigt dort eine gewisse Zeit, um die Bedingungen seiner neuen Umwelt zu

analysieren und seinen Stoffwechsel darauf einzustellen (z. B. durch Synthese entsprechender Enzyme). In dieser Phase finden weder nennenswertes Zellwachstum, noch Zellteilung statt.

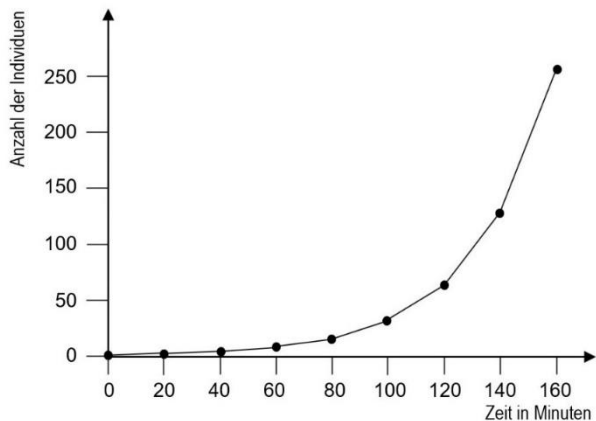
Exponentielles Wachstum in der Log-Phase: Dann setzt das Zellwachstum ein und nach 20 Minuten findet die erste Zellteilung statt. Nach weiteren 20 Minuten findet die zweite Zellteilung statt usw. Diese Verdopplung der Populationsgröße nach jeweils dem gleichen Zeitintervall (1, 2, 4, 8, 16 usw.) entspricht einer Exponentialfunktion. (Die Exponentialfunktion ist die Umkehrfunktion der Logarithmusfunktion; dies führte zur Bezeichnung „Log-Phase“.)

N sei die Anzahl der Bakterien im Versuchsansatz. Im (Gedanken-)Versuch geht man von 1 Bakterium aus. Nach n Teilungen liegen dann N Bakterien vor (n = Anzahl der Teilungen/Generationen):

$$N = 2^n$$

Hinweis: In Q13 dürfte allen Kursteilnehmern die Exponentialfunktion vertraut sein, so dass es in der Regel eine Unterforderung darstellen würde, sie eine Wertetabelle zur Anzahl der Bakterien in den ersten Stunden anlegen und damit ein Diagramm zeichnen zu lassen. Es ist sicher besser, beides vorzugeben und die Kursteilnehmer formulieren zu lassen, was hier dargestellt ist (einschließlich der Exponentialfunktion).

Zeit in Minuten	0	20	40	60	80	100	120	140	160
Anzahl der Individuen	1	2	4	8	16	32	64	128	256



Graphik Exponentielles Wachstum einer Bakterienkolonie [\[jpg\]](#)

Bei geschlechtlicher Vermehrung ist der Sachverhalt etwas komplexer, denn neue Individuen entstehen durch Geburt (bzw. Schlüpfen usw.) und im Gegensatz zu Bakterien sterben alle Individuen einmal. Deshalb arbeitet man hierbei mit folgenden Größen:

Geburtenrate b:
(von „birth“)

Anzahl der neuen Individuen pro Generation geteilt durch die Anzahl der bisherigen Individuen (entspricht bei Bakterien der Teilungsrate)

Sterberate d:
(von „death“)

Anzahl der gestorbenen Individuen pro Generation geteilt durch die Anzahl der bisherigen Individuen

Wachstumsrate:

$$r = b - d$$

Diese Größen werden vom LehrplanPLUS nicht gefordert, können aber hilfreich sein. Sie können an dieser Stelle eingeführt werden oder später bei der Regulation der Populationsgröße.

Beispiel:

Ein Kaninchen-Weibchen kann 5 bis 7 Mal jährlich 4 bis 6 Jungtiere werfen. Die Geschlechtsreife setzt im Alter von 4 bis 5 Monaten ein und endet im Alter von 6 Jahren. Im Durchschnitt bekommt ein Elternpaar jährlich 30 Junge. Die Geburtenrate b beträgt damit 15 Geburten pro Individuum und Jahr.

Auch mit dieser Zahl ergibt sich ein exponentielles Wachstum.

Bei genauerer Betrachtung ist die Sterberate einzubeziehen. Beispielsweise sterben in einem Jahr 10 von 100 Kaninchen. Das ergibt eine Sterberate d von 0,1 Todesfällen pro Individuum und Jahr. Für die korrigierte Wachstumsrate ergibt sich damit ein Wert von 14,9, der immer noch sehr hoch ist.

Vertiefung

Bei einer Generationsdauer von 20 Minuten sind nach 44 Stunden 132 Generationen erreicht. Anzahl der Bakterien zu diesem Zeitpunkt:

$$N = 2^{132} = 5 \cdot 10^{39}$$

10^{12} Bakterien wiegen ca. 1 Gramm. Gesamtmasse m nach 44 Stunden (vor der Berechnung kann man die Kursteilnehmer raten lassen):

$$m = (5 \cdot 10^{39} : 10^{12}) \text{ g} = 5 \cdot 10^{27} \text{ g} = \text{ca. Masse der Erde } (5,973 \cdot 10^{27} \text{ g})$$

Daran ist leicht zu erkennen, dass das Populationswachstum nicht lange exponentiell verlaufen kann.

vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 6 „Populationsentwicklung“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

1.6.2 Reale Wachstumsphasen einer Population

Eine Exponentialfunktion strebt ins Unendliche, d. h. dass eine Population, bei der die Geburtenrate die Sterberate übertrifft, irgendwann einmal die ganze Erde überschwemmen müsste. Die Erfahrung zeigt, dass das nicht der Fall ist. Der Grund dafür sind abiotische und biotische Einflüsse auf das Populationswachstum (vgl. Teilabschnitt 1.6.3; in 1.6.2 erfolgt zunächst die Beschreibung des Phänomens).

Bei sehr geringer Individuenzahl einer Population kann deren Wachstum anfangs noch annähert exponentiell erfolgen. Sobald aber die Population so groß ist, dass die dichteabhängigen Faktoren (vgl. Teilabschnitt 1.6.3) wirksam werden, flacht die Wachstumskurve ab, d. h. die Wachstumsrate wird immer kleiner. Dieser Abschnitt der Wachstumskurve heißt: logistisches Wachstum.

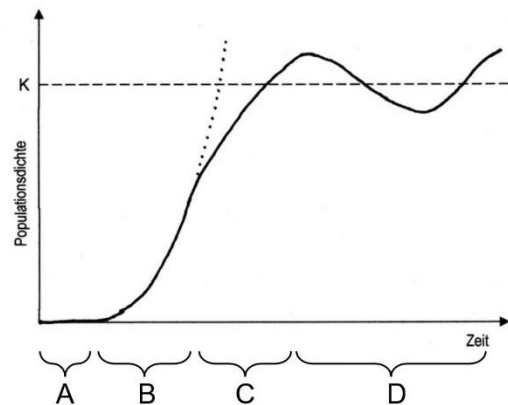
Die Umweltbedingungen erlauben aber kein stetiges Wachstum, sondern auf Dauer lediglich eine bestimmte durchschnittliche Größe der Population. Dieser Wert der Populationsgröße heißt Umweltkapazität K . Die reale Populationsgröße schwankt (je nach Art mehr oder weniger stark) um diesen Wert K . (K ist eine reine Beobachtungsgröße und kann nicht berechnet werden.)

Damit ergeben sich folgende Phasen einer realen Populationsentwicklung:

- A** lag-Phase = Anlaufphase (kein Zuwachs)
- B** exponentielles Wachstum (auch: log-Phase; am Anfang der Neubesiedlung eines Lebensraums; bei totaler Unterschützstellung nach einer Phase intensiver Bejagung)
- C** logistisches Wachstum = dichteabhängiges Wachstum (Verringerung der Wachstumsrate aufgrund begrenzter Ressourcen)
- D** stationäre Phase (dynamisch: Schwankungen um den K -Wert)

Reale Populations-Entwicklung

(gepunktete Linie: nicht realisiertes weiteres exponentielles Wachstum)



Graphik Phasen einer Populationsentwicklung
ohne Benennung [\[jpg\]](#)
mit Benennung [\[jpg\]](#)

In bestimmten Fällen schließt sich an die stationäre Phase eine Absterbephase an, z. B. wenn sich giftige Stoffwechselprodukte anhäufen (Beispiel: Wenn man Wein vollständig durchgären lässt, dann sterben die Hefezellen bei einer Alkoholkonzentration von ungefähr 14-18 % ab.), bei massiver Bejagung (wie bei der Dronte = Dodo auf der Insel Mauritius oder beim Auerochsen = Ur in Europa) bzw. bei der Vernichtung der Lebensgrundlagen (Nahrung, Unterschlupf, Brutraum).

Bei Buchner (Seite 240, Abbildung B1) werden exponentielles und logistisches Wachstum zu einer einheitlichen „Wachstumsphase“ zusammengefasst.

vgl. **Aufgabe 2** auf dem Arbeitsblatt 6 „Populationsentwicklung“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Lied

Ich habe in meinen jungen Jahren ein Lied zur Populationsentwicklung von Bakterien geschrieben, in dem die exponentielle Phase und die Absterbephase thematisiert werden:

Tondokument Lied: Wachstum [\[MP3\]](#)

Text zu diesem Lied [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiele für Untersuchungen zur Populationsentwicklung:

Zwei davon sind auf dem Arbeitsblatt, die übrigen können für Übungs- oder Prüfungsaufgaben verwendet werden.

Beispiel Kormoran

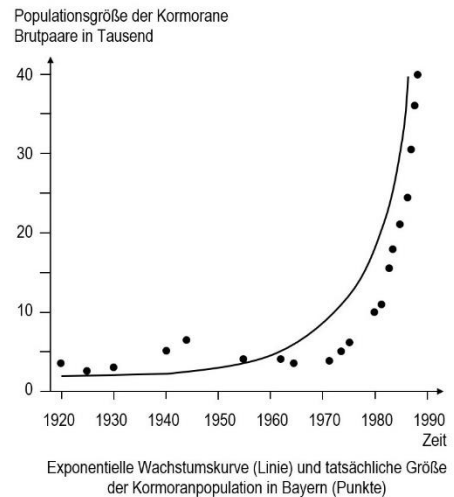
Der Kormoran (*Phalacrocorax carbo*) ernährt sich von Fischen und ist weder bei Fischzuchtbetrieben noch bei Fischern beliebt. Seit dem 19. Jahrhundert wurde er deshalb bejagt und seine Brutkolonien wurden zerstört. Im Jahr 1980 wurde der Kormoran unter Schutz gestellt. Die Abbildung zeigt die Populationsentwicklung der Kormorane in Mitteleuropa von 1920 bis 1990.

Bis 1980 schwankt die Populationsgröße um einen Mittelwert von ca. 5000 Brutpaaren. Ab der Unterschutzstellung steigt die Population exponentiell an (jedenfalls bis 1990). Inzwischen ist eine kontrollierte Bejagung wieder erlaubt.

In die folgende Abbildung sind die konkreten Werte der Bestandszählungen eingetragen sowie eine idealisierte Wachstumskurve.

Quelle: nach Fokus 12, Cornelsen 2010, Seite 65

Die Kursteilnehmer ordnen der Abbildung die Wachstumsphasen zu, vergleichen die konkreten Erhebungsdaten mit der eingezeichneten idealisierten Kurve und üben ggf. Kritik (bei der idealisierten Kurve beginnt das exponentielle Wachstum bereits vor der Unterschutzstellung).



Graphik Populationsentwicklung beim Kormoran [\[jpg\]](#)

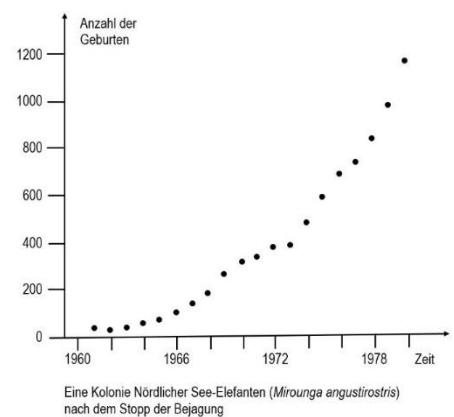
vgl. **Aufgabe 3** auf dem Arbeitsblatt 6 „Populationsentwicklung“
[\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel See-Elefant

Der Nördliche See-Elefant (*Mirounga angustirostris*), eine der größten Robben-Arten, lebt an der nordamerikanischen Pazifikküste. Weil sein Tran kommerziell genutzt wurde (der Tran enthält Fette, die als Lampenöl verwendet wurden), wurde er durch massive Bejagung im 19. Jahrhundert beinahe ausgerottet. In den Vereinigten Staaten von Amerika wurde er Anfang des 20. Jahrhunderts unter Schutz gestellt. Überlebt hatte nur eine winzige Herde mit weniger als 100 Tieren auf der mexikanischen Insel Guadalupe. Die Bestände erholten sich nur langsam wieder. Erst in den 1950er-Jahren gingen Nördliche See-Elefanten auf den kalifornischen *Channel Islands* wieder an Land. Im Jahr 1990 wurde der Gesamtbestand auf stolze 127.000 Tiere geschätzt, die an bestimmten Stellen als Touristen-Attraktion gelten. Die folgende Abbildung zeigt die Zählung der Jungtiere ab 1961. (Auf welches Gebiet sich die Daten beziehen, kann ich rückwirkend nicht mehr ermitteln.)

Quelle: nach nautilus Q12, bsv (früheres G9), Seite 80

Die Kursteilnehmer erkennen die geringe Streuung der ermittelten Werte, die beinahe eine glatte Kurve ergeben, welche einem exponentiellen Wachstum entspricht.



Graphik Populationsentwicklung beim Nördlichen See-Elefanten [\[jpg\]](#)

Beispiel: Robbenbullen

Leider habe ich das Schulbuch nicht mehr, in dem das folgende Beispiel dargestellt ist. Deshalb kann ich nähere Umstände zu diesem Beispiel nicht liefern, weil ich weder weiß, um welche Robbenart es sich handelt noch um welche Region.

Eine Gruppe von Robben eroberte ca. 1913 ein großes Revier. In unregelmäßigen Abständen wurde die Anzahl der Robbenbullen ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt einerseits die

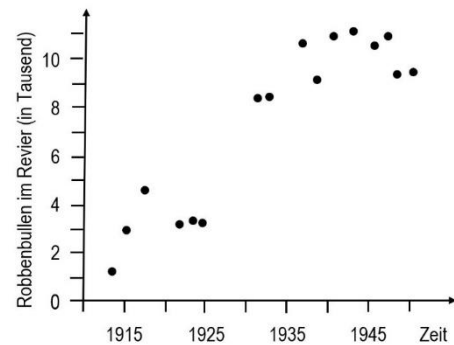
starken Schwankungen in der Population, andererseits das Einpendeln auf eine stationäre Phase um die 10.000 Bullen ab etwa 1937.

Quelle: nach nautilus Q12, bsv (früheres G9), Seite 81

Die Kursteilnehmer erkennen hier eine große Streuung der ermittelten Werte, die das Eintragen einer geglätteten Kurve stark erschweren. Sie erkennen das Populationswachstum und den Übergang in die stationäre Phase (die Lücken in den Daten lassen eine Unterscheidung von exponentiellem und logistischem Wachstum nicht zu)

Jahr	1914	1915	1918	1922	1924	1925	1933	1934	1937	1939	1941	1943	1946	1947	1948	1951
Tsd	12	29	46	33	34	33	84	86	107	92	110	112	106	111	93	94

Tabelle: Anzahl der Robbenbullen in einem großen Revier 1914 bis 1951 in tausend Tieren



Graphik Populationsentwicklung bei Robben [\[jpg\]](#)

Die Kursteilnehmer könnten dieses Diagramm anhand einer vorgegebenen Wertetabelle selbst zeichnen. Dabei stellt sich heraus, wer noch Probleme damit hat, mit unregelmäßig verteilten Messwerten umzugehen (es kommt auch in der Kursphase immer wieder vor, dass auf der x-Achse nicht die Jahre äquidistant dargestellt werden, sondern dass von Messpunkt zu Messpunkt der gleiche Abstand gewählt wird).

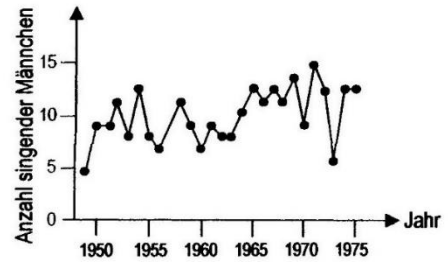
Beispiel: Amseln

In einem eng begrenzten Gebiet in Eastern Wood, Bookham Common, Surrey, Großbritannien, wurde die Anzahl der singenden Amselmännchen (*Turdus merula*) gezählt. Diese Zählmethode ist sehr effektiv, weil die laut singenden Vögel sehr gut zu orten und voneinander zu unterscheiden sind (Amselgesänge sind individuell sehr unterschiedlich). Andererseits ist die Zählung auch deshalb relevant, weil sich nur singende Amselmännchen im Wettbewerb um Weibchen befinden und somit für die Fortpflanzung infrage kommen.

Die folgende Abbildung zeigt die Streuung um einen mittleren Wert von ungefähr 9 aktiven Männchen.

Quelle: NERC Centre for Population Biology, Imperial College, 2010; zitiert in Dreesmann, Graf, Witte: Evolutionsbiologie. Spektrumverlag 2011, Seite 96

Die Kursteilnehmer erkennen, dass es sich um eine stationäre Phase mit relativ starken Schwankungen handelt. Ggf. begründen sie, warum bei dieser Zählmethode die Relevanz der Ergebnisse besonders hoch ist.



Graphik Stationäre Phase bei Amseln [\[jpg\]](#)

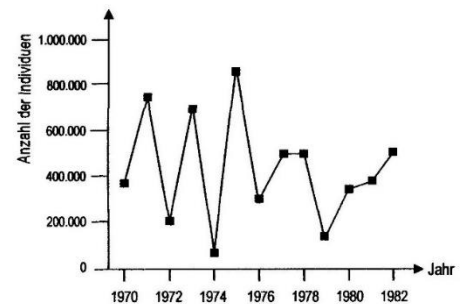
vgl. **Aufgabe 4** auf dem Arbeitsblatt 6 „Populationsentwicklung“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel: Buckellachse

Im Gegensatz zu anderen Lachs-Arten wächst in der Laichzeit dem Männchen des Buckellachses (*Oncorhynchus gorbuscha*) ein deutlicher Buckel. Die Bestandsgröße ist sehr starken Schwankungen unterworfen, wie Zählungen in Upper Skeena, British Columbia, Kanada zeigen (vgl. Abbildung).

Quelle: NERC Centre for Population Biology, Imperial College, 2010; zitiert in Dreesmann, Graf, Witte: Evolutionsbiologie. Spektrumverlag 2011, Seite 96

Die Kursteilnehmer erkennen, dass hier eine stationäre Phase mit extremen Schwankungen dargestellt ist. Der Mittelwert liegt etwa bei 500.000 Individuen.



Graphik Stationäre Phase bei Buckellachsen [\[jpg\]](#)

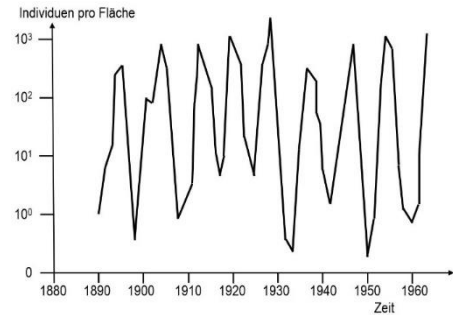
Beispiel: Lärchenwickler

Der Lärchenwickler (Gattung *Zeiraphera*) ist ein Schmetterling, dessen Raupen die Nadeln von Lärchen (*Larix decidua*) fressen. Der wirtschaftliche Schaden hält sich dabei in Grenzen, da die Lärche, die ohnehin jeden Herbst ihre Nadeln abwirft und im Frühjahr neu bildet, sich vom Befall in der Regel gut erholt. Bekämpfungsmaßnahmen werden deshalb nicht durchgeführt, so dass die enormen Populationsschwankungen wohl nicht durch menschliche Einflüsse verursacht sind.

Bei der Interpretationen der folgenden Abbildung ist zu beachten, dass die y-Achse nicht linear unterteilt ist, sondern exponentiell. Sie zeigt die enorm schwankende Anzahl der erwachsenen Schmetterlinge (Adulti) pro Fläche. Weil über die Jahrzehnte hinweg der Mittelwert etwa gleich bleibt, ist hier die stationäre Phase dargestellt.

Quelle: nach Fokus 12, Cornelsen 2010, Seite 66 bzw. Biologie heute 12, Schroedel 2010, Seite 70

Die Kursteilnehmer erkennen, dass hier eine stationäre Phase mit extremen Schwankungen dargestellt ist. Der Mittelwert liegt etwa bei 300 Individuen. Die Schwankungen können kaum vom Wetter verursacht sein, denn dafür sind sie viel zu regelmäßig.



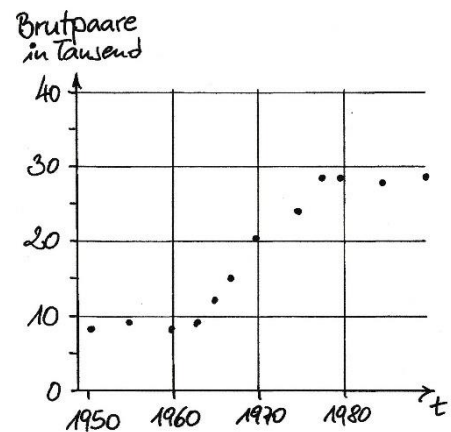
Graphik Stationäre Phase beim Lärchenwickler [\[jpg\]](#)

Beispiel: Lachmöwe

Die Lachmöwe (*Chroicocephalus* bzw. *Larus ridibundus*) ist an ihrem schwarzen Kopf gut erkennbar. Sie ist weit verbreitet, scheint aber vor 1950 in Bayern eher selten gewesen zu sein. Die folgende Abbildung zeigt die Bestandsentwicklung der Lachmöwe in Bayern zwischen 1950 und 1990.

Quelle: nach Fokus Q12, Cornelsen (früheres G9), Seite 65

Die Kursteilnehmer können die geglättete Kurve einzeichnen (weil die Streuung gering ist) und erkennen daran, dass hier die komplette Bestandsentwicklung von der Anlaufphase bis zur stationären Phase dargestellt ist. Die Schwankungen in der stationären Phase sind gering.



Graphik Komplette Populationsentwicklung bei der Lachmöwe in Bayern [\[jpg\]](#)

1.6.3 Regulation der Populationsgröße

Arbeitsblatt 7 Regulation der Populationsgröße [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Dichteunabhängige Einflüsse wie klimatische Bedingungen oder Katastrophen wirken nicht regulierend. Sie treffen rein zufällig große wie kleine Populationen unabhängig von der Populationsdichte.

Beispiele: Eine Dürre vernichtet das Nahrungsangebot der Kaninchen bzw. eine starke Überschwemmung vernichtet Kaninchenbaue und tötet die darin befindlichen Tiere.

Dichteabhängige Einflüsse wie Nahrungskonkurrenz, Platz pro Individuum, Fressfeind-Beute-Beziehungen oder Übertragung von Parasiten und Krankheitserregern sind abhängig von der Populationsdichte und wirken deshalb regulierend auf die Populationsgröße ein.

Beispiele: Zu viele Kaninchen fressen sich gegenseitig die Nahrung weg: Schlecht ernährte Tiere bekommen weniger überlebensfähige Nachkommen. Zu große Enge in überfüllten Kaninchenbauten führt zu sozialem Stress, der sich negativ auf die Fruchtbarkeit auswirkt. Bei hoher Populationsdichte werden Parasiten und Krankheitserreger häufiger übertragen, so dass weni-

ger Individuen das fortpflanzungsfähige Alter erreichen und kranke Tiere schneller zur Beute ihrer Fressfeinde (Fuchs, Bussard) werden.

Übersicht:

Dichteabhängige Faktoren:

- Nahrung
- Lebensraum
- Giftstoffe aus dem eigenen Stoffwechsel
- Sexualpartner
- Brutplätze
- Parasiten und Krankheitserreger

wirken regulierend

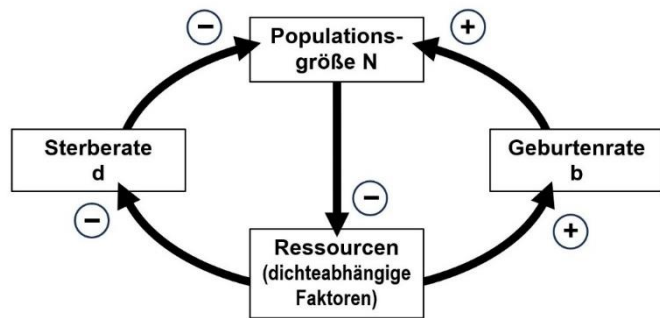
Dichtunabhängige Faktoren:

- Temperatur
- Feuchtigkeit
- Hell-Dunkel-Rhythmus

wirken nicht regulierend

vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 7 „Regulation der Populationsgröße“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Regelung der Populationsgröße N durch negative Rückkopplung als doppelter Regelkreis (der LehrplanPLUS verlangt die Größen N , d und b nicht, sie können aber hilfreich sein):



Graphik Regelkreis zur Populationsgröße leer [\[jpg\]](#); ausgefüllt [\[jpg\]](#)

vgl. **Aufgabe 2.2** auf dem Arbeitsblatt 7 „Regulation der Populationsgröße“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Kursteilnehmer formulieren die dargestellten Zusammenhänge, z. B.: „Je größer die Ressourcen sind, desto höher ist die Geburtenrate und desto kleiner ist die Sterberate.“ – „Je kleiner die Populationsgröße N ist, desto umfangreicher sind die Ressourcen.“

Am besten wird die Bedeutung der Vorzeichen wiederholt:

Minus: je mehr, desto weniger / je weniger, desto mehr

Plus: je mehr, desto mehr / je weniger, desto weniger

Gemäß der Formulierung im LehrplanPLUS („u. a. Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen) wenden die Kursteilnehmer das Regelkreisschema auf die Beispiele Nahrungskonkurrenz, Prädation (z. B. Fressfeind-Beute-Beziehung) und ein weiteres Beispiel an:

Nahrungskonkurrenz:

Je mehr Nahrung zur Verfügung steht, desto höher ist die Geburtenrate und desto kleiner ist die Sterberate. Dadurch steigt die Populationsgröße N . Die erhöhte Zahl an Individuen nutzt die Ressource Nahrung intensiver, dadurch entsteht Nahrungskonkurrenz, so dass die langsameren und schwächeren Individuen weniger Nahrung erhalten, sich deshalb weniger stark oder nicht

mehr vermehren bzw. vorzeitig sterben: Die Geburtenrate sinkt bei steigender Sterberate. Dadurch sinkt die Populationsgröße N usw.

Fressfeind-Beute-Beziehung (Die LehrplanPLUS-Formulierung „Räuber“ sollte vermieden werden und durch einen ethisch neutralen Begriff wie Fressfeind oder Beutegreifer ersetzt werden.):

Je mehr Fressfeinde vorhanden sind, desto höher ist die Sterberate bei der Beute. Dadurch sinkt die Populationsgröße N und somit das Nahrungsangebot für den Fressfeind. Mittelfristig verschlechtert sich deshalb der Ernährungszustand des Fressfeinds, so dass bei ihm die Geburtenrate sinkt und die Sterberate steigt, wodurch letztendlich seine Populationsgröße sinkt. Dies bewirkt eine geringere Sterberate bei der Beute, wodurch deren Population wächst usw.

vgl. **Aufgaben 2.3-2.5** auf dem Arbeitsblatt 7 „Regulation der Populationsgröße“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Im Praktikumsordner „Bio? Logisch!“ steht die Anleitung für ein Spiel zur Fressfeind-Beute-Beziehung:

ALP Blatt 10_V34: Räuber und Beute (Rollenspiel)

Erklärvideo Räuber-Beute-Beziehung (4:13)

<https://studyflix.de/biologie/raeuber-beute-beziehung-2467>

Einsatz: Der Abschnitt zwischen 0:55 und 1:48 ist gut geeignet, um die Populationsschwankungen von Räuber und Beute im gA-Kurs zu veranschaulichen (ohne die Lotka-Volterra-Regeln).

Inhalt: Begriffsdefinition sehr weit gefasst (im Sinne der Prädation gemäß LehrplanPLUS), weil auch Schafe, die sich von lebendem Gras ernähren, als Beutegreifer und das Gras als Beute bezeichnet werden im Unterschied zu Aasfressern oder Pflanzen (trotzdem keine gute Wortwahl, finde ich). Ab 0:55 Populationsentwicklung (im Diagramm der Populationsgrößen von Füchsen und Hasen ist nicht angezeigt, dass die y-Achsen unterschiedliche Maßstäbe haben). Ab 1:48 Volterra-Regeln in Kurzform. Weitere Wechselwirkungen im Sinne von Koevolution. Verortung in der Nahrungskette.

Aufgrund der vielfältigen Regelkreise in einem Ökosystem schwanken die Populationsgrößen im langjährigen Durchschnitt um einen etwa konstanten Mittelwert K (solange sich die Umweltbedingungen langfristig nicht deutlich verändern). Dies wird als biologisches Gleichgewicht (ökologisches Gleichgewicht) bezeichnet.

Die Populationsgröße schwankt bei Arten mit vielen Nachkommen wesentlich stärker als bei Arten mit wenigen Nachkommen. So schwanken die Bestände der einheimischen Singvögel von Jahr zu Jahr bisweilen stark bis extrem.

Die Schwankungen fallen umso geringer aus, je mehr Arten einem Beutegreifer als Beute dienen und je mehr Beutegreifer-Arten einer Beute-Art nachstellen.

Hinweis: Im gA-Kurs ist das Lotka-Volterra-Modell nicht vorgeschrieben. Es könnte aber das Diagramm der Populationsgrößen von Kanadischem Luchs und Schneeschuhhasen diskutiert werden (s. u.), ohne dabei die Lotka-Volterra-Regeln zum Unterrichtsinhalt zu deklarieren.

Lotka-Volterra-Modell

Arbeitsblatt 8 Das Lotka-Volterra-Modell [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Im eA-Kurs (und nur dort) verlangt der LehrplanPLUS als Vertiefung das Lotka-Volterra-Modell der Fressfeind-Beute-Beziehungen.

Hinweis: Bei Buchner, Seite 198-199, sind die Lotka-Volterra-Regeln dargestellt, aber nicht dem eA-Kurs zugeordnet. Lassen Sie sich davon nicht beirren und ersparen Sie Ihrem gA-Kurs diese Vertiefung.

Der österreichisch-amerikanische Chemiker Alfred J. Lotka (1880-1949) und der italienische Mathematiker und Physiker Vito Volterra (1860-1940) entwickelten 1925 und 1926 unabhängig voneinander mathematische Gleichungen zur quantitativen Beschreibung der Populationsentwicklung in Fressfeind-Beute-Beziehungen. Volterra veröffentlichte dies alles 1931 in Buchform. *Die qualitativen Aussagen der drei Regeln sollten im Kursunterricht behandelt werden, nicht aber die zugehörigen mathematischen Beschreibungen.*

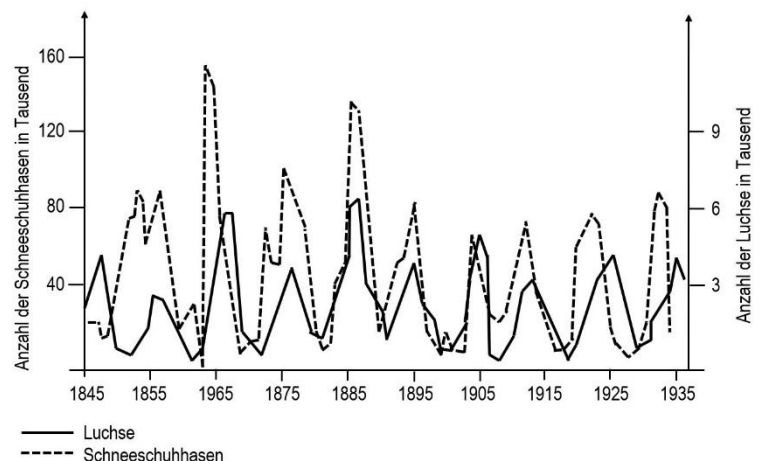
Beispiel: Luchs und Schneeschuhhase

In subpolaren Zone von Nordamerika lebt der Schneeschuhhase (*Lepus americanus*), der deshalb so heißt, weil seine Füße wie Schneeschuhe verbreitert sind. In seinem Verbreitungsgebiet lebt auch der Kanadische Luchs (*Lynx canadensis*), der sich überwiegend von Schneeschuhhasen ernährt. Dessen wichtigster Fressfeind ist wiederum der Kanadische Luchs. Diese ökologische Beziehung stellt somit in erster Näherung ein Zweikomponenten-System dar (obwohl der Luchs auch andere Beutetiere und der Hase auch andere Fressfeinde hat).

Beide Tierarten wurden von Trappern in Fallen gefangen, um deren Felle an die Hudson's Bay Company zu verkaufen. Die führte sehr genau Buch darüber und bewahrte die Aufzeichnungen sehr lange Zeit auf. 1937 stellte Mac Lulick diese Daten zusammen und veröffentlichte sie in den *University of Toronto Studies*. In späteren Jahren wurde mehrfach nachgewiesen, dass solche Jagdstatistiken die tatsächliche Entwicklung der Bestände recht gut wiedergeben.

Etwa alle zehn Jahre erreichen die Bestände der Schneeschuhhasen ein Dichtemaximum, das um das 10- bis 100-Fache über dem Minimum liegt, das regelmäßig auf jedes Maximum folgt.

Bei der Interpretation der folgenden Abbildung ist zu beachten, dass die beiden y-Achsen unterschiedliche Maßstäbe haben. Die Kursteilnehmer können daraus die Schwankungsbreite der jeweiligen Populationsgrößen, die jeweiligen Mittelwerte, die ungefähren zeitlichen Abstände zwischen den Maxima sowie die Phasenverschiebung (die Population der Fressfeinde hinkt hinter der der Beute hinterher) herausarbeiten.



Graphik *Luchs und Hase* [\[jpg\]](#)

Diese Untersuchung bestätigte anhand realer Daten das Lotka-Volterra-Modell, das vor allem die Verhältnisse in einem Zwei-Komponenten-System von Beute und Fressfeind beschreibt.

Hinweis: Der früher übliche Begriff „Lotka-Volterra-Gesetze“ ist zu vermeiden, weil es sich lediglich um Faustregeln handelt, nicht um strenge Gesetze.

Mit Hilfe des Arbeitsblatts „Ökologie: Das Lotka-Volterra-Modell“ erarbeiten sich die Kurs Teilnehmer alle drei Regeln. Die konkreten Formulierungen dazu müssen im Unterricht erfolgen.

1. Regel: Periodische Populations-Schwankung

Die Populationsdichten von Beute und Fressfeind schwanken periodisch. Dabei folgen die Schwankungen der Fressfeind-Population phasenverzögert zeitlich nach denen der Beute-Population.

2. Regel: Konstanz der Mittelwerte

Die Mittelwerte der Populationsgrößen sind über lange Zeiträume hinweg konstant.

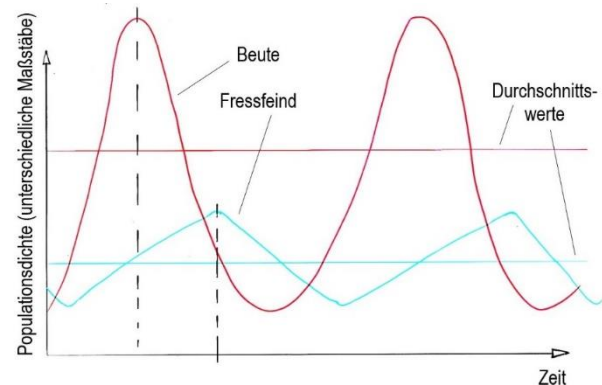
vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 8 „Das Lotka-Volterra-Modell“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

In **Aufgabe 2** auf dem Arbeitsblatt 8 „Das Lotka-Volterra-Modell“ werden weitere Einflussfaktoren auf das reale Fressfeind-Beute-System betrachtet.

3. Regel: Störung der Mittelwerte

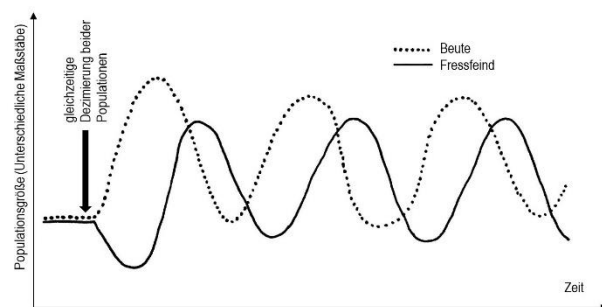
Werden die Populationen von Beute und Fressfeind gleichzeitig und – proportional zu ihrer Größe – gleich stark dezimiert, so vergrößert sich anschließend der Mittelwert der Beute-Population, während der Mittelwert der Fressfeind-Population sinkt (anders gesagt: Die Beute-Population erholt sich viel schneller als die Fressfeind-Population).

Idealisierte Darstellung der Populationschwankungen von Beute und Fressfeind unter ungestörten Verhältnissen



Graphik Populationsschwankungen idealisiert [\[jpg\]](#)

Idealisierte Darstellung der Populationschwankungen von Beute und Fressfeind nach gleichzeitiger Dezimierung beider Populationen



Graphik Populationsschwankungen bei gleichzeitiger Dezimierung [\[jpg\]](#)

vgl. **Aufgaben 3 und 4** auf dem Arbeitsblatt 8 „Das Lotka-Volterra-Modell“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Erklärvideo Lotka Volterra Regeln (4:37)

<https://studyflix.de/biologie/lotka-volterra-regeln-2468>

Einsatz: am besten nach der Erarbeitung der Regeln zur Festigung, aber v. a. um die Fakten nochmal von einer anderen Stimme zu hören (inhaltlich nicht sehr ergiebig im Vergleich zur eigenen Erarbeitung anhand von Lernaufgaben).

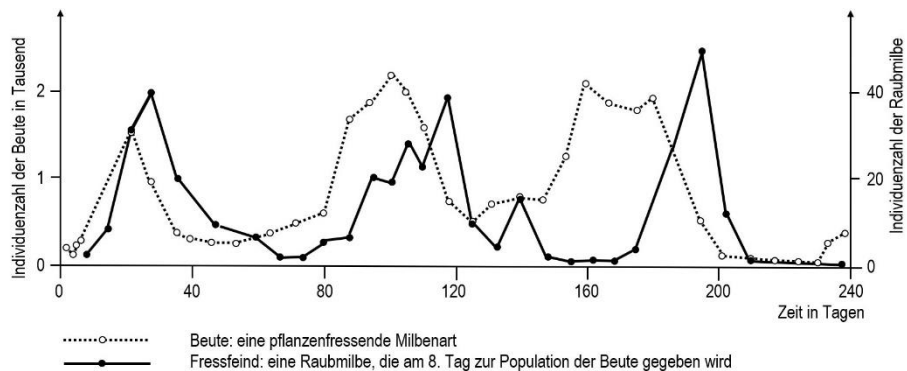
Inhalt: Übersicht über die drei Regeln im vereinfachten Modell (2 Komponenten, weitere biotische und abiotische Faktoren werden vernachlässigt). Beispiel: Adler und Mäuse. In den Diagrammen ist nicht angezeigt, dass die Maßstäbe an der y-Achse bei beiden Arten unterschiedlich sind.

Beispiel: Laborexperiment mit Milben

In ein Terrarium wurde eine kleine Population einer Pflanzen fressenden Milbe (Beute) eingesetzt und einige Tage darauf eine kleine Population von Raubmilben, die sich von der anderen Milbenart ernähren. Über etwa 240 Tage hinweg wurden die Bestände immer wieder gezählt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Zu beachten sind die unterschiedlichen Maßstäbe auf den y-Achsen. An diesem Beispiel sind die ersten beiden Lotka-Volterra-Regeln klar ersichtlich.

Quelle: nach Linder Biologie 12. Schroedel 2010, Seite 72, Abbildung 1

Graphik Fressfeind und Beute bei Milben
[ipg]



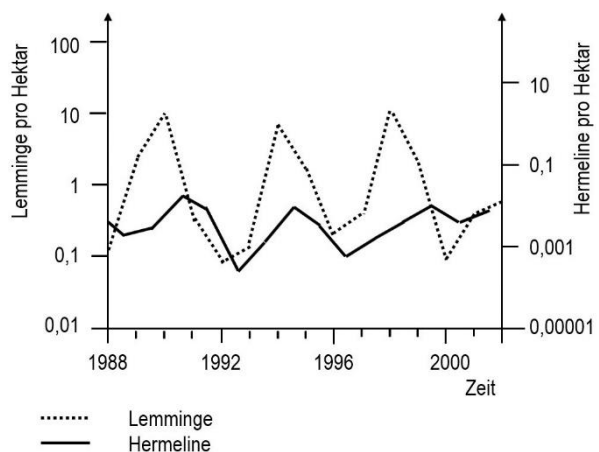
vgl. **Aufgabe 3** auf dem Arbeitsblatt 7 „Regulation der Populationsgröße“ [docx] [pdf]

Im *gA*-Kurs sollen solche Kurvenverläufe beschrieben und begründet werden, ohne dass dabei konkret auf die Lotka-Volterra-Regeln eingegangen wird.

Beispiel: Freilandbeobachtung an Lemming und Hermelin

Lemmings (Gattung: *Lemmus*) leben in den arktischen Tundragebieten und ernähren sich von verschiedenen Pflanzen. Bei sehr hohem Populationsdruck unternehmen sie Wanderungen (allerdings stürzen sie sich nicht freiwillig in die Tiefe). Das Hermelin (*Mustela erminea*) ist weit verbreitet, bis an den Rand der arktischen Gebiete. Es ernährt sich von kleinen Säugetieren, ausnahmsweise auch von anderen Kleintieren. Dort, wo Lemmings und Hermeline dominierende Arten sind, verhalten sich deren Populationen nach dem Lotka-Volterra-Modell, wie die folgende Abbildung zeigt, in der Freilandzählungen aus der grönländischen Tundra dargestellt sind. Zu beachten sind die unterschiedlichen Maßstäbe auf den y-Achsen und deren logarithmische Einteilung.

Quelle: nach Unterricht Biologie 370, Dezember 2011, Seite 52



Graphik Lemming und Hermelin [ipg]

Die dritte Regel hat große Bedeutung bei der Bekämpfung von Schadinsekten, die von anderen Insekten gefressen werden (z. B. Blattlaus und Marienkäfer): Eine intensive Bekämpfung mit Insektiziden (Gifte, die Insekten töten) vernichtet die Populationen sowohl von Blattlaus als auch Marienkäfer weitestgehend. Weil sich die Population der Beute-Art aber schneller erholt als die der Fressfeind-Art, folgt auf eine solche Bekämpfungs-Kampagne in der Regel eine besonders starke Zunahme der Blattlaus-Population.

1.6.4 Neobiota

Hier kommt es im eA-Kurs zu Überschneidungen mit Teilabschnitt 3.2.3 „Invasive Arten“. Ich sehe keine klaren Unterschiede in den Lerninhalten zwischen diesen beiden Teilabschnitten. Vielleicht ist es deshalb gut, wenn im eA-Kurs die Neobiota an dieser Stelle nicht angesprochen werden, sondern erst als Teilabschnitt 3.2.3.

Tiere (Neozoen) und Pflanzen (Neophyten) aus fremden Gegenden werden bewusst (zum Teil sogar zur biologischen Schädlingsbekämpfung), aber auch ungewollt (z. B. mit dem Ballastwasser von Schiffen, angeheftet an LKW) in heimische Biozöosen eingebracht und stören dort das biologische Gleichgewicht, vor allem wenn sie hierzulande keine Fressfeinde oder Parasiten haben, welche das Populationswachstum begrenzen würden.

Diagramm zur Herkunft der verschiedenen Gruppen von Neobiota: Abbildung B3 in Buchner, Seite 227.

In der Konkurrenz unterliegen die einheimischen Arten oft den sich (zunächst) ungehemmt vermehrenden Eindringlingen. Bei 60 % der in letzter Zeit ausgestorbenen Arten sind invasive Arten ein wesentlicher Faktor (Quelle: wwf-Magazin 1.2025, Seite 12)

Eigenschaften invasiver Arten

Invasiven Arten, die sich gegen die einheimische Konkurrenz durchsetzen, weisen ähnliche Eigenschaften auf:

- schnelle Individualentwicklung
- hohe Nachkommenzahl
- effektive Mechanismen der Verbreitung
- ganz oder weitgehend fehlende natürliche Fressfeinde

Beispiele zur Auswahl:

Die **Kanadische Wasserpest** (*Elodea canadensis*) ist eine beliebte Aquarienpflanze aus Kanada, die von Aquarienhaltern gezielt in einheimischen Gewässern ausgesetzt wurde. Schifffahrt und Wasservögel begünstigten die weitere Ausbreitung. Bereits 1910 schrieb der Dichter Hermann Löns im Hannoverschen Tageblatt: „Es erhob sich überall ein schreckliches Heulen und Zähneklappern, denn der Tag schien nicht mehr fern, da alle Binnengewässer Europas bis zum Rande mit dem Kraute gefüllt waren, so dass kein Schiff mehr fahren, kein Mensch mehr baden, keine Ente mehr gründeln und kein Fisch mehr schwimmen konnte (...).“ In den letzten Jahrzehnten kam noch eine rasante Ausbreitung von Nuttalls Wasserpest (*Elodea nuttallii*) dazu. Die Wasserpest kann sich in stehenden und langsam fließenden Gewässern stark ausbreiten. Sie vermehrt sich dabei vegetativ (also nicht geschlechtlich). Auffällig ist, dass sich die Kanadische Wasserpest in den Jahrzehnten nach ihrer Einfuhr teilweise explosionsartig vermehrt hat, seit einiger Zeit aber deutlich in ihrem Bestand zurückgeht, während die erst seit den 1980er-Jahren bei uns im Freiland entdeckte Nuttalls Wasserpest derzeit eine sehr starke Ausbreitungsphase durchlebt und auf diese Weise offenbar die Kanadische Wasserpest stark zurückdrängt. Die Massenvorkommen behindern Schifffahrt, Wassersport und Fischerei unter anderem in Stauseen. Sie drängen einheimische Laichkraut- und Armleuchteralgen-Gesellschaften zurück.

Der **Signalkrebs** (*Pacifastacus leniusculus*) ist eine aus dem westlichen Nordamerika stammende Flusskrebsart. Er wurde in den 1960er- und 1970er-Jahren ein Europa eingeführt. Im Gegensatz zu den drei einheimischen Flusskrebsarten, darunter der Edelkreb (*Astacus astacus*), ist der Signalkrebs gegen die Krebspest (einen Pilz) immun, was ihm zur schnellen Ausbreitung verholfen hat. Heute drängt der Signalkrebs die einheimischen Flusskrebse zurück, u. a. durch Übertragung der Krebspest; zudem vermehrt sich der Signalkrebs schneller und ist aggressiver.

Der asiatische **Harlekin-Marienkäfer** (*Harmonia axyridis*) wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts aus Asien in Amerika eingeführt und zwar zur biologischen Schädlingsbekämpfung, denn er ist sehr erfolgreich im Vertilgen von Blattläusen. Jahrzehntlang etablierte er sich aber nicht in der freien Natur. Erst seit den 1980er-Jahren bildet er in Amerika wild lebende Populationen. Vereinzelt wurde der Käfer auch in Europa zur Blattlaus-Bekämpfung eingesetzt. 2001 wurde das erste freilebende Exemplar in Europa entdeckt. Seitdem breitet sich der Harlekin-Käfer massiv hier aus und verdrängt die einheimischen Marienkäferarten wie den Siebenpunkt (*Coccinella septempunctata*) oder den Zweipunkt (*Adalia bipunctata*) und viele andere. Zudem verbringen Harlekin-Marienkäfer die Nacht gerne an Weinstöcken. Wenn sie mit den Trauben in die Weinpresse gelangen, verschlechtert eine Substanz in ihrer Hämolymphe den Geschmack des Weines.

Der **Riesen-Bärenklau** (*Heracleum mantegazzianum* bzw. *H. giganteum*) wird seit Anfang des 21. Jahrhunderts als invasiver Neophyt betrachtet, der in Europa durch den Menschen eingeführt wurde. Die Samen werden mit dem Wind bis 180 m weit vertragen, können aber auch durch fließendes Wasser verbreitet werden, weshalb der Riesen-Bärenklau oft an Bachrändern zu finden ist. Aber auch Tiere und Autos tragen zur Verbreitung bei. Mit einer Höhe bis zu drei Metern wirkt die Pflanze sehr dekorativ. Aber sie birgt gesundheitliche Gefahren, denn nach Hautkontakt und anschließender Sonnenbestrahlung kommt es zu schmerzhaften Störungen auf der Haut bis hin zur Entwicklung von Bläschen, was Verbrennungen zweiten Grades entspricht. An heißen Tagen kann der von der Pflanze ausgasende Giftstoff sogar über die Luft übertragen werden und akute Bronchitis hervorrufen. Die Entfernung der Pflanze sollte nur bei Dunkelheit bzw. in dicker Vollkörper-Schutzkleidung erfolgen. Die Wurzeln des Riesen-Bärenklaus halten den Boden nicht fest und sorgen so für Erosion z. B. an Bachufer-Böschungen. In Futterwiesen und Äckern vermindert er den Ertrag, v. a. durch Beschattung.

Zur Zeit der Segelschiffe wurden **Ziegen auf Inseln** angesiedelt, als Fleischvorrat für künftige Zeiten. Sie eignen sich hervorragend dafür, weil sie sehr genügsam sind und überall Nahrung finden. Auch später geschah dies noch wie in den 1920er-Jahren auf den Galapagos-Inseln mit ihrer besonderen Tier- und Pflanzenwelt, die durch die Ziegen stark in ihrem Bestand bedroht ist. Deshalb wurde im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts eine über 6 Millionen Dollar teure und 52 Monate andauernde Kampagne zur Ausrottung der Ziegen dort erfolgreich durchgeführt. Seitdem erholen sich die Bestände von Pflanzen und Vögeln auf den Inseln Santiago und Isabela wieder.

Kaninchen in Australien: 1859 brachte der Siedler Thomas Austin 24 Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*) von England nach Australien, um sie dort jagen zu können. Die Kaninchen haben dort keine natürlichen Feinde und verbreiteten sich deshalb schnell; inzwischen sind es wohl mehrere Milliarden. Durch Fraß bringen sie lokale Pflanzen an den Rand des Aussterbens, stellen starke Konkurrenten für einheimische Pflanzenfresser dar und erzeugen Schäden in der Landwirtschaft. Deshalb führte man 1950 den Erreger der Myxomatose ein, ein Pockenvirus, das ausschließlich bei Kaninchen wirkt und diese binnen etwa zwei Wochen sterben lässt.

Mittlerweile ist bei den Kaninchen allerdings eine Resistenz gegen dieses Virus entstanden, so dass die Kaninchen mit immer neu entwickelten Virusvarianten bekämpft werden.

Mungos in Zuckerrohr-Plantagen: In der Karibik wird auf riesigen Plantagen Zuckerrohr angebaut, ein attraktives Futter für schwarze (*Rattus rattus*) und braune Ratten (*R. norvegicus*), die sich darin massenhaft vermehren und einen Teil der Ernte vernichten. 1872 wurden deshalb die ersten Mungos (*Herpestes auropunctatus*) aus Indien auf alle Inseln der Großen Antillen gebracht, denn Mungos jagen selbst die wehrhaften Ratten. Sie waren darin sehr erfolgreich, fraßen auch die in den Plantagen unerwünschten Schlangen, vermehrten sich stark und mussten sich deshalb nach einiger Zeit auf andere Beutetiere umstellen. Seither sind durch den Mungo einheimische Reptilien und bodenbrütende Vögel, aber auch kleine Säugetiere im Bestand bedroht. Für die Farmer erfreulich, aber bezüglich der Biodiversität schlimm ist, dass der Mungo auf vielen karibischen Inseln einheimische Schlangen bereits ausgerottet hat.

Waschbären: Am 12. April 1934 wurden auf Initiative des Pelzhändlers Rolf Haag in einem Festakt am nordhessischen Federsee zwei Holzkisten geöffnet, aus denen je ein Paar Waschbären (*Procyon lotor*) schritt. Mit den Pelzen ihrer Nachkommen wollte man gute Geschäfte machen. Waschbären entkamen in der Folgezeit auch aus Pelztierfarmen (z. B. in Brandenburg). Die nordamerikanischen Tiere vermehrten sich rasch, auch weil sie in Europa so gut wie keine natürlichen Feinde haben. Inzwischen kommen sie in mehr als 20 europäischen Ländern freilebend vor. In ihrer Heimat Nordamerika schätzt man den Bestand auf 5-10 Millionen Tiere, allein in Deutschland auf 1,6 Millionen. Derzeit laufen Forschungen, ob diese invasive Art die Bestände einheimischer Arten bedroht. Das scheint von Region zu Region unterschiedlich zu sein. Zudem überträgt der Waschbär zahlreiche Parasiten und Krankheitserreger, von denen einige auch für den Menschen gefährlich sein könnten (die Datenlage dazu ist aber noch unzureichend).

Kerstin Viering: Waschbären in Deutschland – Putzig, aber unerwünscht. In Spektrum der Wissenschaft 2.2025, S. 42-48

Aga-Kröte in Zuckerrohr-Plantagen: Die amerikanische Aga- oder **Riesen-Kröte** (*Rhinella marina* bzw. *Bufo marinus*) wird bis über 22 cm lang und wurde in vielen Gebieten der Erde ausgesetzt, um unerwünschte Arten zu bekämpfen. Auf Jamaica sollte sie ab 1844 Ratten vertilgen, was aber fehlschlug, weil die Kröte lediglich sehr junge Ratten fraß, aber keine ausgewachsenen. 1920 wurde die Aga-Kröte in Puerto Rico eingeführt, um dort die Larven eines Käfers zu vertilgen, der die Stängel der Zuckerrohrpflanzen anbohrt. Weil daraufhin die Population des Käfers stark zurückging, wurde die Kröte in den 1930er-Jahren auch andernorts eingeführt, z. B. in Australien. Allerdings wurde der Käfer nicht durch die Kröte zurückgedrängt, sondern durch klimatische Veränderungen. Dass der Käfer nicht durch die Kröte reguliert wird, erkannte man in den 1940er-Jahren, als trotz einer großen Population der Aga-Kröte die Käfer stark überhand nahmen und die Ernte großteils vernichteten. In Australien wurde die Aga-Kröte 1935 eingeführt und verbreitet sich seither massiv (schätzungsweise etwa 40 km pro Jahr). Heute führt man das Verschwinden von bestimmten endemischen (= nur in dieser Region vorkommenden) Reptilien- und Amphibienarten auf die Aga-Kröte zurück. vgl. Bucher, Seite 201, M4

Das **Falsche Weiße Stängelbecherchen** (*Hymenoscyphus fraxineus*) ist eine erst 2010 beschriebene Pilzart, die aus Asien stammt und seit 1990 einheimische Eschen (*Fraxinus excelsior*) befällt. Sie ruft das Eschentriebsterben hervor: Verschiedene Teile der Wirtspflanze können dabei stark geschädigt werden und absterben, so dass am Ende der Baum wie aus heiterem Himmel umfallen kann. Asiatische Eschen sind gegen den Pilz immun, etwa 90 % der einheimischen Eschen dagegen nicht.

Die Lehrkraft benötigt beim Thema Neobiota viel Fingerspitzen-Gefühl: Einerseits darf die Dramatik der Gefährdung nicht verharmlost werden, andererseits dürfen die Kursteilnehmer nicht verängstigt und verunsichert werden. Deshalb sollte am Ende nicht ein Schreckens-Szenario gezeichnet werden (das Leben auf der Erde hat vergleichbare und schlimmere Katastrophen bereits mehrfach überlebt), sondern die Schüler sollten Handlungsperspektiven erkennen wie z. B. Überdenken der eigenen Lebensführung hinsichtlich Nachhaltigkeit (u. a. Nano-Plastik, mehr pflanzliche und weniger tierische Lebensmittel, weniger Ressourcen-Verbrauch bzw. Schadstoff-Ausstoß bei der Fortbewegung bzw. bei der Nutzung digitaler Medien usw.), aber auch politisches Engagement (das freilich auf Sachwissen basieren sollte und nicht auf Parolen in sozialen Medien).

1.6.5 Populationsentwicklung des Menschen

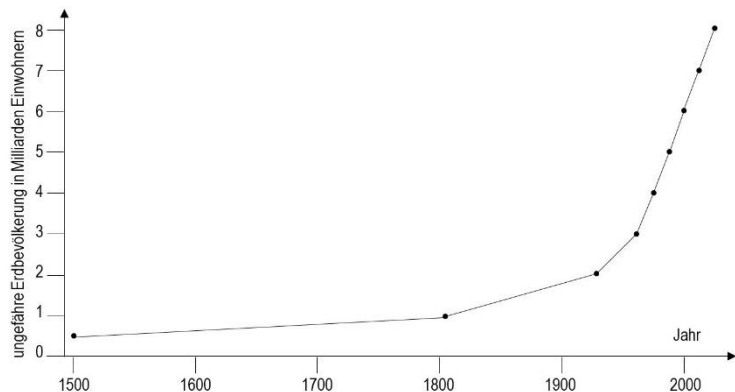
Arbeitsblatt 9 Populationsentwicklung des Menschen [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Besonderheit bei der Populationsentwicklung des Menschen liegt darin, dass die Zeit bis zur Verdopplung nicht konstant ist, sondern aufgrund kultureller Fortschritte immer kürzer wird; die Wachstumsrate r wird also immer größer und K verschiebt sich ständig nach oben (z. B. durch den Einsatz von Düngemitteln, Pestiziden und Maschinen in der Landwirtschaft sowie bessere medizinische Versorgung). Deshalb liegt hier kein exponentielles, sondern ein superexponentielles Wachstum vor.

Ungefähre Zahlen:

Jahr	1500	1804	1927	1960	1974	1987	1999	2011	2024
Bevölkerung in Mrd. ca.	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8

Graphik Wachstum der Erdbevölkerung ab dem Jahr 1500 [\[jpg\]](#)

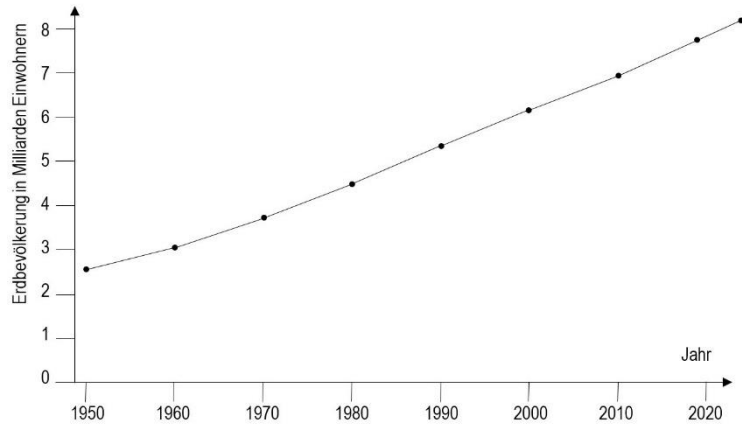


Genauere Zahlen aus jüngerer Zeit

[aus: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1716/umfrage/entwicklung-der-weltbevoelkerung/>]:

Jahr	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2019	2024
Bevölkerung in Mrd. ca.	2,53	3,03	3,69	4,45	5,32	6,13	6,92	7,71	8,16

Graphik Wachstum der Erdbevölkerung ab dem Jahr 1950
[\[jpg\]](#)



Auf dem zweiten Diagramm ist zu erkennen, dass die Weltbevölkerung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts weder superexponentiell noch exponentiell wächst, sondern annähernd linear.

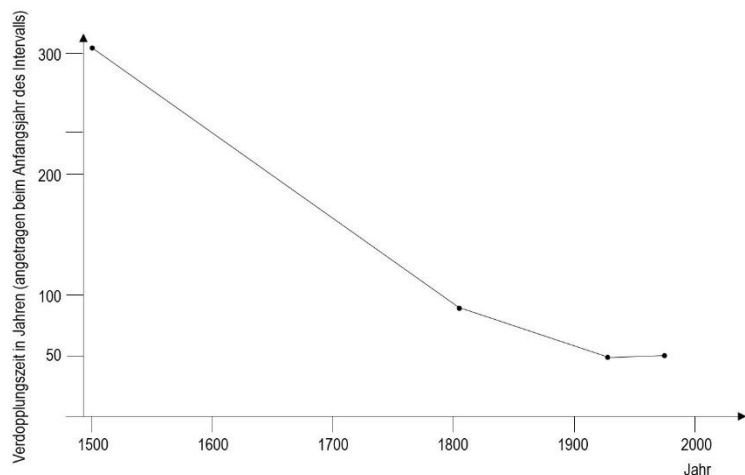
vgl. **Aufgabe 1** auf dem Arbeitsblatt 9 „Populationsentwicklung des Menschen“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Eindrucksvoll ist auch eine graphische Darstellung der Bevölkerungs-Entwicklung von der Steinzeit bis jetzt (vgl. Lehrbücher bzw. Internet).

Die Schüler können die Unterschiede zwischen dem Wachstum der Erdbevölkerung und dem Wachstum einer Bakterienpopulation selbst erarbeiten, wenn sie anhand der ersten Tabelle die Verdopplungszeiten bestimmen und ggf. graphisch darstellen.

Zeitintervall	1500-1804	1804-1927	1927-1975	1975-1924
Verdopplung von ... auf ... Mrd.	0,5-1	1-2	2-4	4-8
Verdopplungszeit in Jahren	304	123	48	49

Graphik Entwicklung der Verdopplungszeiten der Erdbevölkerung ab 1500 [\[jpg\]](#)



vgl. **Aufgaben 2-5** auf dem Arbeitsblatt 9 „Populationsentwicklung des Menschen“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Alterspyramiden (vgl. z. B. Buchner, Seite 207) stellen keinen Unterrichtsinhalt im Biologiekurs dar, ebensowenig die Phasen des demographischen Übergangs.

1.6.6 K- und r-Strategie (nur eA)

Erklärvideo K-Strategen und R-Strategen (4:39)

<https://studyflix.de/biologie/k-strategen-und-r-strategen-2829>

Einsatz: Wegen der inhaltlichen und sprachlichen Unschärfen nur bedingt geeignet.

Inhalt: Im LehrplanPLUS steht bewusst nicht „Strategie“, sondern „Strategen“; zudem wird r klein geschrieben (Symbol für die Vermehrungsrate). „R-Strategen und K-Strategen sind unterschiedliche Fortpflanzungsstrategien“ – das stimmt so nicht, denn Strategen sind Organismen, die eine Strategie verfolgen. Frosch als Beispiel für r-Strategie („dass viele Eier erst gar nicht schlüpfen“ ist falsch: Kaulquappen schlüpfen aus Eiern). Menschen in Deutschland als Beispiel für K-Strategie. In der Graphik der Populationsentwicklung nach der K-Strategie ist die y-Achse mit W beschriftet, ohne dass dieses Symbol erklärt wird. Bezug zur Räuber-Beute-Beziehung.

Der US-amerikanische Biologe Eric Pianka entwarf 1970 das Konzept der **r- und K-Strategen**: Eine Art, deren Strategie darin besteht, eine möglichst hohe Wachstumsrate r zu erzielen, nennt er r-Strategie. Eine Art, deren Strategie darin besteht, die Umweltkapazität K möglichst auszunutzen, nennt er K-Strategie. Ein r-Strategie erreicht K nur in Ausnahmefällen, gleicht aber selbst dramatische Rückgänge in der Populationsgröße schnell aus.

Seit den 1980er-Jahren wird dieses Konzept von Fachwissenschaftlern als überholt angesehen, weil damit nur die Extrempunkte eines Kontinuums erfasst werden und es kaum Arten gibt, die vollständig einer r- oder K-Strategie folgen würden. Man spricht besser von Arten mit schnellen Lebenszyklen, die eher zur r-Strategie neigen, sowie von solchen mit langsamen Lebenszyklen, die eher zur K-Strategie neigen. Deshalb formuliert der LehrplanPLUS „K- und r-Strategie“ und nicht (wie der Vorgänger-Lehrplan) „K- und r-Strategen“.

vgl. Dreesmann, Graf, Witte: Evolutionsbiologie. Spektrumverlag 2011, S.95

Hinweis: Sie sollten im Unterricht darauf achten, dass stets von r- bzw. K-Strategie gesprochen wird und nicht von r- bzw. K-Strategen. Dies wird in den Lehrbüchern nicht unbedingt konsequent umgesetzt, worauf die Kursteilnehmer hingewiesen werden sollten. Vgl. Buchner, z. B. Seite 194, M1 (Dort ist von K- und r-Strategen die Rede: Diese Ausdrücke sollten Sie vermeiden.)

Arten mit schnellem Lebenszyklus und Neigung zur r-Strategie:

Blattlaus, Heuschrecke, Wasserfloh, Hering, Bakterien, Löwenzahn, Mohn, Blattlaus

Arten mit langsamem Lebenszyklus und Neigung zur K-Strategie:

Schimpanse, Tiger, Elefant, Kakapo, Urvelt-Mammutbaum

Arten mit ausgeprägter r-Strategie	Kriterium	Arten mit ausgeprägter K-Strategie
stark	Schwankungen in der Populationsdichte	sehr gering
kurz	Lebensdauer	lang
kurz	Zeit bis zur Geschlechtsreife	lang
einmalig	Häufigkeit der Fortpflanzung	mehrmals
viele hoch	Zahl der Nachkommen Geburtenrate	wenige niedrig
keine	elterliche Fürsorge	ausgeprägt
schnell	Entwicklung	langsam
hoch, eher dichteunabhängig	Sterberate	niedrig, dichteabhängig
wechselhaft	Umweltbedingungen	konstant
weit unterhalb K	Populationsgröße	nahe bei K

Die K-Strategie bewährt sich bei langfristig konstanten, die r-Strategie bei stark wechselnden Umweltbedingungen (dazu gehören nicht nur stark wechselnde Wetterereignisse, sondern auch größere Populationsschwankungen bei Parasiten oder Fressfeinden).

Buchner, Seite 239, Abbildung B5, zeigt eine weitere Variante dieser Tabelle

1.7 Methoden der Populationsabschätzung (nur eA) (ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Methoden der Populationsabschätzung (u. a. Wiederfangmethode); Vergleich der Verlässlichkeit mit anderen Methoden	–

Der Abschnitt 1.7 überschneidet sich teilweise mit den Teilabschnitten 1.2.2 und 1.2.3 (vom LehrplanPLUS so vorgegeben). Der Unterschied dieser beiden Teilabschnitte zu 1.7 besteht darin, dass einerseits im gA-Kurs viel weniger Beispiele betrachtet werden können als im eA-Kurs und dass der eA-Kurs auch selbst praktische Erhebungen durchführen soll (wenn ich das richtig interpretiere).

Bei Buchner, Seite 236, Abbildung B1, finden Sie eine hilfreiche Übersichtstabelle zu verschiedenen Methoden des Biomonitorings mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen

Ergänzend zu den im Teilabschnitt 1.2.2 dargestellten Methoden finden Sie hier weitere Methoden der Populationsabschätzung, aus denen Sie eine Auswahl treffen.

Fang-Wiederfang-Methode

Tiere werden in einem bestimmten Areal gefangen und markiert (z. B. mit Farbkleckschen, einer kleinen Plakette oder bei Vögeln durch Beringung) bzw. dokumentiert, wenn die Individuen eindeutig an bestimmten Auffälligkeiten (z. B. Körperfärbung) erkannt werden können. Danach werden sie wieder freigelassen. In einem gewissen zeitlichen Abstand werden im gleichen Areal wieder Individuen der selben Art gefangen. Es wird ermittelt, wie viele der erneut gefangenen Tiere bereits zuvor gefangen worden waren. Mithilfe einer einfachen mathematischen Beziehung kann man aus dem Verhältnis der zum 1. bzw. 2. Mal gefangenen Tiere die Populationsgröße erschließen.

vgl. Buchner, Seite 202, M1; Seite 203, M2 (geht hier ziemlich in die Tiefe, für den eA-Kurs kann das ggf. interessant sein)

Wildkamas

Zur Bestandsaufnahme großer Tiere im Freiland werden an Orten, an denen man sie vermutet bzw. wohin man sie mit Nahrung lockt, Wildkamas (Fotofallen) aufgestellt, die in regelmäßigen Abständen ausgelesen werden. Bewegungsmelder schalten die Kamas automatisch ein. Damit können Individuen identifiziert werden, eine quantitative Erfassung von Populationen ist damit aber kaum möglich.

vgl. Buchner, Seite 204, M1

Nachtfalter

Man spannt vertikal ein großes weißes Tuch im Gelände auf und beleuchtet es mit einem Scheinwerfer. Nachtfalter setzen sich darauf und können eingesammelt bzw. fotografiert werden.

Elefanten

Das Monitoring von Afrikanische Elefanten (*Loxodonta africana*), die in der Savanne leben, erfolgt über Luftbilder. Damit sind die Individuen zwar in der Regel nicht identifizierbar, aber die Größe der Population ist sehr genau bestimmbar. Das ist nicht möglich bei den deutlich kleineren Waldelefanten (*Loxodonta cyclotis*), die im Regenwald leben. Seit 2024 erfolgt deren Monitoring über Bilder von Kamerafallen, wobei eine KI die Individuen identifiziert, so dass die Wanderrouten der Tiere ermittelt werden können. Dabei arbeiten IBM und der WWF (World Wildlife Fund) eng zusammen.

[Quelle: wwf-magazin 4|24, Seite 4]

Pinguinzählung in der Antarktis

Die Zählung der vom Aussterben bedrohten Kaiserpinguine ausschließlich über Satellitendaten ist problematisch, weil Satellitenbilder in der Antarktis nur zwischen Oktober und April möglich sind (in den anderen Zeiten ist zu wenig Tageslicht vorhanden) und die Anzahl der an Land erfassten Tiere wenig aussagekräftig ist, weil sie ständig kommen und gehen. Ein Forschungsteam unter Leitung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg hat eine neue, zuverlässige Methode des Monitorings erarbeitet, die Satellitendaten mit den Erfahrungen zum Verhalten dieser Tiere kombiniert. So berücksichtigt diese Methode, dass bei Kaiserpinguinen nur die Männchen die Eier ausbrüten, während die Weibchen in dieser Zeit im Meer bleiben und nicht an Land kommen. Bei großer Kälte kann die Kolonie kleiner aussehen, weil die Tiere dichter beisammen stehen, um sich gegenseitig zu wärmen.

[vgl. Winterl et al.: Remote sensing of emperor penguin abundance and breeding success. *Nat Commun*15, 4419 (2024). doi.org/10.1038/s41467-024-48239-8]

Umwelt-DNA (environmental DNA = eDNA)

In Federn und Haaren, aber auch im Kot von Wildtieren befinden sich Zellen mit intakter DNA, die sequenziert werden kann. Damit lässt sich nicht nur die Art bestimmen, sondern es kann jedes einzelne Individuum erkannt werden. Damit ist es möglich, Wanderwege z. B. von Bären oder Luchsen nachzuvollziehen. In Regenwäldern gewinnt man aus dem Mageninhalt von Parasiten wie Blutegeln die DNA von deren Wirten. Bei einer Untersuchung wurden Wasserschüsseln aufgestellt, aus denen Wildtiere tranken und darin Speichel, Hautreste, Haare oder Federteile hinterließen, aus denen anschließend DNA gewonnen wurde.

Die DNA wird mit Hilfe von PCR vervielfältigt und mit Hilfe von Restriktionsenzymen geschnitten. Bei der Untersuchung konzentriert man sich auf artspezifische Basensequenzen.

vgl. Buchner, Seite 205, M3 (Umwelt-DNA bei Braunbären)

In Gewässern werden Arten (v. a. Mikroorganismen) dadurch identifiziert, dass eine Wasserprobe genommen und die darin befindliche freie DNA isoliert und analysiert wird. Solche Proben können auch aus der Luft gewonnen werden.

eDNA ist ein hochempfindlicher Nachweis, kann aber auch zu falsch positiven Ergebnissen führen, weil eDNA sehr stabil ist und z. B. winzigste Hautpartikel vom Wind in weit entfernte Gebiete verfrachtet werden können, in denen die Tiere, von denen sie stammen, gar nicht leben. Auch tote Tiere geben DNA an die Umwelt ab. (Beispielsweise wurde DNA von Buckelwalen im Bodensee nachgewiesen, weil die Geräte zuvor im Meer eingesetzt und auf diese Weise kontaminiert waren.) Die erheblich weniger stabile eRNA eignet sich daher besser für Momentaufnahmen (die Forschung damit fängt allerdings gerade erst an; Stand 2024).

Über eRNA können Informationen gewonnen werden, die über eDNA nicht möglich sind, z. B. zu Entwicklungsstadien, Phänotypen, Gesundheitszustand oder aktuelle Stoffwechsel-Aktivität.

Um an Haarproben von Fleischfressern zu kommen, werden z. B. in einen Baumstamm stumpf gefeilte Nägel geschlagen, zwischen denen ein Hühnerfleischköder angebracht ist (bei einer der

ersten eDNA-Untersuchungen Anfang der 2000er-Jahre in der kalifornischen Sierra Nevada zur genetischen Vielfalt der dortigen Population von Fischermardern).

Um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen, sollte die eDNA- oder eRNA-Untersuchung mit „klassischen“ Methoden wie Fallen oder Wildkameras kombiniert werden.

[nach: Asia Murphy: Wildtierzählung ohne Tiere. In Spektrum der Wissenschaft, März 2024, Seite 41-45]

Abwasser-Screening: Um beispielsweise zu untersuchen, welche Typen von Viren zur Zeit grassieren und in welchem Umfang, wird die im Abwasser enthaltene freie DNA bzw. RNA isoliert und analysiert. Während der Hochzeiten der Corona-Pandemie konnte man auf diese Weise feststellen, in welchen Stadtteilen die Belastung höher bzw. niedriger lag als im Durchschnitt. Diese Methode ist erheblich genauer als Meldungen über Infizierte bei den Behörden.

Durch solche Metagenom-Sequenzierungen des Berliner Abwassers über 17 Monate konnte das Max Delbrück Center nicht nur die Ausbreitung von Krankheitserregern überwachen, sondern es konnten Ausbrüche vorhergesagt werden und es wurden Tausende neuer Viren sowie neu entstandene Viren-Varianten entdeckt.

[vgl. Emauel Wyler et al. (2024): Pathogen dynamics and discovery of novel viruses and enzymes by deep nucleic acid sequencing of wastewater. In: Environment International, DOI: 10.1016/j.envint.2024.108875, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108875>]

Citizen-Science-Projekte beziehen Laien bei der Bestandsaufnahme mit ein. Das hat gleich mehrere Vorteile: Es kann eine erheblich größere Menge an Daten erhoben werden, die Laien eignen sich mit der Zeit Artenkenntnis an und haben Freude bei der sinnvollen Tätigkeit in der Natur. Das folgende Informationsblatt gibt einen Einblick in laufende Citizen-Science-Projekte, an denen sich teilweise auch Jugendliche beteiligen können:

Informationsblatt *Biomonitoring zum Mitmachen* [[docx](#)] [[pdf](#)]