

NATURA Abiturtraining

Ökologie Lösungen

Hanna Eckebrecht
Lilla-Eliza Hell

Ernst Klett Verlag
Stuttgart Leipzig

1. Auflage

1 5 4 3 2 1 | 23 22 21 20 19

Alle Drucke dieser Auflage sind unverändert und können im Unterricht nebeneinander verwendet werden.

Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis § 60a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internet-Adressen. Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2019. Alle Rechte vorbehalten. www.klett.de

Das vorliegende Material dient ausschließlich gemäß § 60b UrhG dem Einsatz im Unterricht an Schulen.

Autorinnen: Hanna Eckebrecht, Lilla-Eliza Hell

Redaktion: Dr. Detlef Eckebrecht DIDACTIC CONCEPTIONS

Mediengestaltung: Moana Müller

Layoutkonzeption und Gestaltung: Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart

Illustrationen: Otto Nehren, Achern; Nora Wirth, Frankfurt

Satz: SatzKiste, Stuttgart

Lösungen zu ISBN 978-3-12-049140-8

Libellenlarven in ihrem Lebensraum (Seite 2)

- 1 Ein Gewässer in Bayern wurde an verschiedenen Standorten bezüglich der dort jeweils herrschenden abiotischen Faktoren wie pH-Wert, Wasserhärte, Strömungsgeschwindigkeit und Turbulenz des Wassers untersucht. Gleichzeitig wurde das Vorkommen der beiden Libellenarten ermittelt. Der pH-Wert und die Wasserhärte wurden mit chemischen Methoden getestet, die Strömungsgeschwindigkeit und die Turbulenz mit mechanischen Methoden.

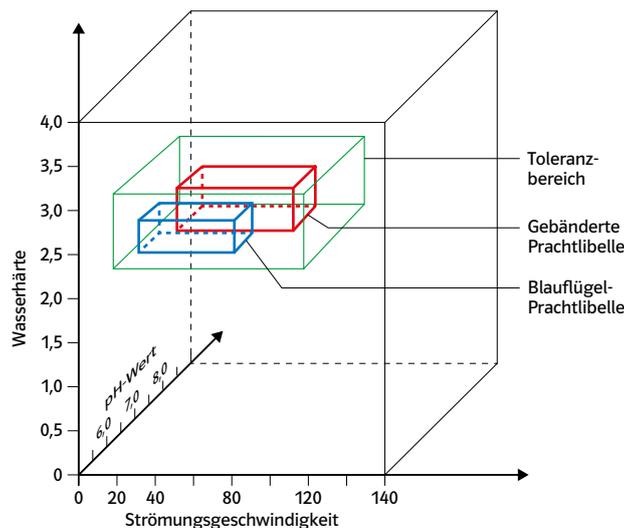
(Hinweis: Bei Gewässeruntersuchungen ist es üblich, zusätzlich die Luft- und Wassertemperatur, die Lichtstärke am Ort der Probenentnahme, den Sauerstoffgehalt und die Konzentration von Wasserinhaltsstoffen wie Nitrat, Sulfat oder Phosphat zu bestimmen.)

- 2 Vergleicht man die verstreuten Vorkommen der Larven der beiden Libellenarten, so kann man feststellen, dass sie in fast identischen Messwertbereichen hinsichtlich der vier vorgestellten Faktoren vorkommen können. Die Vorzugsbereiche, in denen die Tiere sehr häufig vorkommen, sind bei den pH-Werten deutlich unterschiedlich (Blaufügel-Prachtlibelle: pH = 6,0 – 6,3, Gebänderte Prachtlibelle: pH = 7 – 7,7). Die Werte der bevorzugten Wasserhärten sind ähnlich ($c(\text{CaO}) = 2 - 2,7 \text{ mmol/l}$) mit einem kleinen Überlappungsbereich. Die Variationsbreite der Strömungsgeschwindigkeit ($v = 5 - 80 \text{ cm/s}$) zeigt einen großen mittleren Überlappungsbereich. Die bevorzugte Turbulenzstärke umfasst gleiche Ausmaße (gering – stark).

- 3 individuelle Lösung.

Modell für die ökologische Nische der Larven der beiden Libellenarten mit drei ausgewählten Faktoren:

Verteilung bei verstreutem Vorkommen (Toleranzbereich) und bei sehr häufigem Vorkommen von Blaufügel-Prachtlibellen und Gebänderten Prachtlibellen

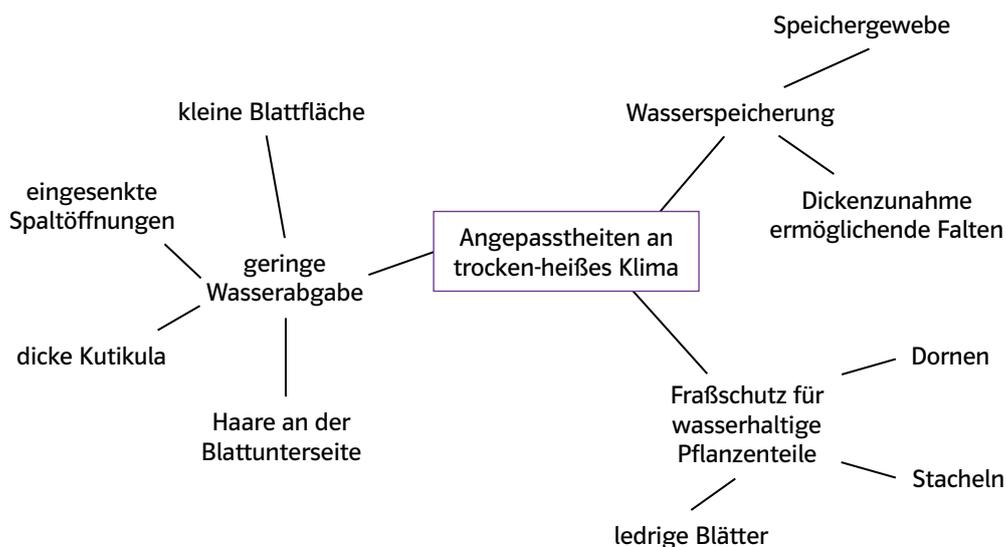


Modell der ökologischen Nische

- 4 Die dargestellten Werte im Modell zeigen nur einen kleinen Ausschnitt der Ansprüche der Libellenlarven an ihren Lebensraum. Von den vier genannten Faktoren können nur drei Faktoren für das dreidimensionale Modell verwendet werden. Weitere abiotische und biotische Faktoren, die die Ansprüche der Arten an ihre Umwelt beschreiben, werden hier nicht berücksichtigt. Dennoch eignet sich das Modell gut zur Demonstration der Nischendifferenzierung. Bei sehr häufigem Auftreten der Larven sind sie nicht gemeinsam anzutreffen. Sehr häufig werden die Tiere nicht in Wasser mit pH = 6 oder 7 gemeinsam vorkommen. Es sind unterschiedliche Nischen zu erkennen, allerdings sind ihre Toleranzbereiche nahezu identisch. Je häufiger die Tiere vorkommen, desto mehr Konkurrenzvermeidung ist bei gleicher Ausprägung des Ökofaktors zu beobachten.

Pflanzen trockener Regionen (Seite 3)

- 1 Das Klimadiagramm weist auf trocken-heiße Sommermonate und auf mild-feuchte Winter hin.
 Der *Feigenkaktus* hat stark verdickte, grüne Sprossachsen (Wasserspeicher und Fotosyntheseort mit geringer Oberfläche), keine Blätter (reduzierte Oberfläche, also reduzierte Verdunstung) und ist mit Stacheln bewehrt (Fraßschutz).
 Der *Kandelaberkaktus* hat die gleichen Eigenschaften wie der Feigenkaktus. Außerdem hat er ein extrem weit ausgebreitetes Wurzelwerk, das es ihm ermöglicht, während Regenschauern schnell viel Wasser aufzunehmen, das dann im Spross gespeichert werden kann. Der Kaktus kann sich offenbar stark ausdehnen, indem die Falten gespreizt werden. Dies erlaubt die Speicherung großer Wassermengen.
 Beim *Oleander* weisen die dicke Kutikula und besonders die eingesenkten Spaltöffnungen mit Haaren in den Vertiefungen auf Anpassungen zum Verdunstungsschutz hin. Das Mikroklima in der Einbuchtung reduziert den Übergang von Wasserdampf aus dem Blatt in die Umgebungsluft.
 Der *Mäusedorn* hat fleischige Blätter mit Kutikula und Dornen als Schutz.
- 2 individuelle Lösung. Die Gliederung der Mind-Map kann sich z. B. an den beteiligten Pflanzenorganen oder an der Funktion (z. B. Verdunstungsschutz, Fraßschutz etc.) orientieren.

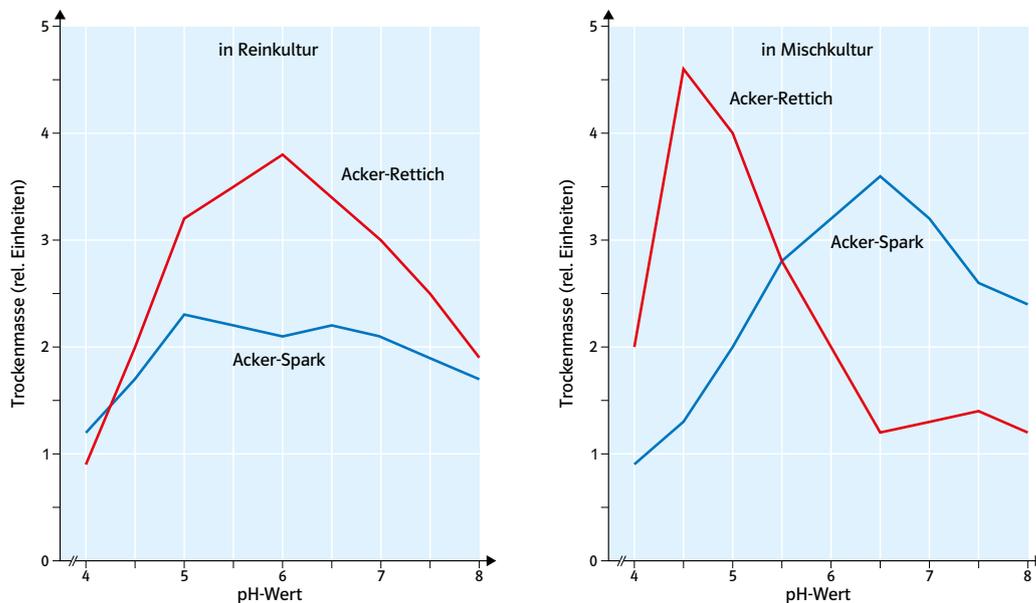


- 3 Spross und Seitensprosse können ein viel größeres Volumen aufnehmen, wenn sie den Wasserspeicher im Pflanzenkörper füllen. Dabei hilft das großflächige Wurzelsystem, das bei Regen große Mengen Wasser und Mineralstoffe aufnehmen kann. Blätter mit großer Fläche zur Verdunstung fehlen. In der hellen Umgebung reicht die Sprossoberfläche zur Fotosynthese. Indirekt stellen auch die Stacheln eine Anpassung dar. Sie schützen den für viele Tiere attraktiven, wasserhaltigen Pflanzenkörper zumindest teilweise davor, von Tieren gefressen zu werden.
- 4 An der spanischen Küste können vermutlich Feigenkaktus und Sträucher so schnell wachsen, dass sie konkurrenzstärker beim Kampf um Licht sind als der Kandelaberkaktus mit seiner geringen Oberfläche.

Konkurrenz und abiotische Bedingungen (Seite 4)

- 1 Die physiologische Potenz beschreibt, unter welchen Bedingungen eine Art ohne Konkurrenten langfristig existieren und sich fortpflanzen kann. Die ökologische Potenz gibt an, unter welchen Bedingungen eine Art mit anderen Arten, also auch Konkurrenten, langfristig existieren kann. Der Toleranzbereich ist der Bereich zwischen Minimum und Maximum eines Umweltparameters, in dem Individuen einer Art existieren können.

○ 2



- 3 Beide Arten zeigen in getrennten Kulturen im pH-Bereich von 5–7 relativ starkes Wachstum. Während der Acker-Rettich ein deutliches Optimum bei pH 6 aufweist, entwickelt sich der Acker-Spark fast gleich gut im Bereich von 5 bis 7. Es ist ein Beispiel für das Prinzip der Konkurrenzvermeidung.
- 4 In der Mischkultur konkurrieren die beiden Arten um die Ressourcen Licht und Mineralstoffe. Es zeigt sich, dass der Acker-Rettich bei niedrigen pH-Werten wesentlich stärker wächst als der Acker-Spark, also im sauren Bereich konkurrenzstärker ist als der Acker-Spark. Das Optimum liegt bei pH 4, bei dem der Acker-Spark kaum noch wächst. Bei höheren pH-Werten ist es umgekehrt. Bei pH 6 hat der Acker-Spark maximalen Zuwachs. Hier tritt beim Acker-Rettich ein Minimum auf. Unter den Konkurrenzbedingungen profitiert eine Art von der Wuchsschwäche der anderen.

Braunbären in der nördlichen Hemisphäre (Seite 5)

- 1 Die Bergmann'sche Regel besagt, dass homoiotherme Tiere einer Art oder nahe verwandter Arten in kälteren Regionen größer und schwerer sind als in wärmeren Regionen. Für diese Beobachtung wird eine bio-physikalische Erklärung gegeben.

Sie beruht darauf, dass Tiere mit einem großen Körper eine geringe Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen haben. Ein großes Körpervolumen entspricht einer großen Wärmeproduktion, eine kleine Oberfläche führt zu geringerer Wärmeabgabe. Daher gibt ein großer Körper im Vergleich zu einem kleinen relativ wenig Wärme über seine relativ geringe Körperoberfläche nach außen ab. Der kleinere Körper hat ein geringeres Volumen, aber eine verhältnismäßig große Oberfläche. Er würde bei gleicher Umge-

bungstemperatur relativ mehr Wärme über die große Oberfläche nach außen abgeben. Somit ist die Größe der Tiere in den verschiedenen Klimazonen als Anpassung zur Erhaltung ihrer Körpertemperatur zu deuten.

- 2 Die vorgestellten Braunbären gehören alle zu verschiedenen Unterarten der Art *Ursus arctos* und können demnach miteinander verglichen werden. Gemäß der Bergmann'schen Regel wird erwartet, dass Braunbären in einem kälteren Habitat größer und schwerer sind als Braunbären in einem wärmeren, in dem Fall südlicheren Habitat. Das trifft für die Grizzlybären (2 a, 2 b) zu. Das gilt ebenfalls für die vorgestellten Vertreter des Europäischen Braunbären (3 a, 3 b, 3 c).

Auffälligkeiten, die nicht die Bergmann'sche Regel stützen, sind die Befunde zu den Körpergrößen der Grizzlybären aus Küstengebieten und Inlandbereichen Nordamerikas. Die Tiere aus den Küstenbereichen sind unerwartet größer als die Tiere aus dem nördlichen Inland (2 c, 2 d). Auch die Zunahme der Körpergrößen der Braunbären ist in Eurasien von Westen nach Osten erstaunlich (3 a, 3 b, 4). Der Kodiakbär aus Amerika und der Kamtschatkabär aus Asien sind die größten Braunbären. Hier ist zu erkennen, dass Braunbären mit leichtem Zugang zu Fleischnahrung sehr groß und schwer werden. Die Temperaturbedingungen sind bei diesen Allesfressern entgegen der Bergmann'schen Regel zweitrangig. Auch der Himalayabär ist für die Region, in der er lebt, noch relativ groß.

- 3 Wie eingangs beschrieben, sind Bären Allesfresser, die sich sowohl von Pflanzenmaterial als auch von erbeuteten Tieren oder von Aas ernähren. Die Abbildung 2 macht deutlich, dass die Bären, die in der Nähe von Lachsvorkommen aufwachsen, deutlich größer werden als solche Tiere, die weniger Zugang zu dieser ernährungsphysiologisch wertvollen Fleischnahrung haben. Mit dieser Erkenntnis ist auch zu erklären, dass Bären in Küstenregionen größer sind als die Tiere im Landesinneren (2 c, 2 d), weil sie in den Flussmündungen leichteren Zugang zu Fleischnahrung haben. Die Abbildung 3 zeigt, dass der Anteil an Fleischmaterial (Wirbeltierbeute) im Nahrungsspektrum der Braunbären umso größer ist, je nördlicher die Tiere vorkommen, also in der Reihenfolge gemäßigte Zone → nördliche Zone → Tundra. Die Ursache wird in der fehlenden Verfügbarkeit von nährstoffhaltigen Nüssen, Körnern oder Wirbellosen in der kalten Tundra gesehen. Der hohe Anteil an Fleischnahrung in der Tundra (ca. 60%) scheint das Größenwachstum der dort lebenden Braunbären zu fördern. Die beachtliche Größe von Kamtschatkabär und Kodiakbär kann analog auch mit dem Anteil an Fleischnahrung in den Küstengebieten erklärt werden. Die geringeren Größen der Braunbären in den Alpen oder im Himalaya ist demnach im Umkehrschluss eine Folge der geringeren Verfügbarkeit von Beutetieren in den Gebirgsregionen.

Insgesamt wird deutlich, dass die Körpergröße der Braunbären in der nördlichen Hemisphäre weniger von der Temperatur als vom Nahrungsangebot in den Gebieten ihres Vorkommens abhängt.

Verschiedene Lebensräume der Pinguinarten (Seite 6)

| | Galapagos-Pinguin | Magellan-Pinguin | Kaiserpinguin |
|-------------------------------|-------------------|--|---------------|
| Lebensraum | Galapagos-Inseln | Chile, Argentinien, Uruguay, Falkland-Inseln | Antarktis |
| Körperlänge | 50 cm | 75 cm | 125 cm |
| Masse | 2,5 kg | 6,5 kg | 37 kg |
| Jahresdurchschnittstemperatur | 20 °C | 5 °C | -20 °C |

- 2 Diese Aussage ist nicht richtig; $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur, diese gibt aber nur einen Hinweis auf zu erwartende Temperaturen. In warmen Monaten kann es tagsüber deutlich wärmer werden und in kalten Monaten nachts sehr viel kälter. Die Kaiserpinguine müssen also auch viel höhere und viel niedrigere Temperaturen aushalten können.
- 3 Die Bergmann'sche Regel besagt, dass die Körpermasse bei homoiothermen Tieren nahe verwandter Arten oder Unterarten in kälteren Regionen größer ist als in wärmeren. Hierdurch ist das Verhältnis Wärme abgebender Körperoberfläche zu Wärme speicherndem Körpervolumen kleiner.
Bei den drei Pinguinarten entspricht die Verteilung den Erwartungen nach der Bergmann'schen Regel. Galapagos-Pinguine wiegen nur bis zu 2,5 kg und leben in der wärmsten Region mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kaiserpinguine wiegen bis zu 37 kg und leben in der kältesten Region mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Magellan-Pinguine liegen mit 6,5 kg bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dazwischen.
- 4 Verschiedene Lösungen möglich.
Beispielsweise kann die Vegetation ein entscheidender Einflussfaktor sein. Dichte Wälder sind für große, breite Tiere schlechter zu durchqueren als für leichte, kleine. Daher kann teilweise beobachtet werden, dass Tierarten, die in dichten Wäldern leben, eine geringere Körpermasse aufweisen als nahe verwandte Arten in wärmeren, unbewaldeten Regionen.
Die Körpermasse kann auch eine Angepasstheit an die Ernährungsweise darstellen, beispielsweise weil Raubtiere mit einer entsprechenden Körpermasse eher in der Lage sind, häufig vorkommende Beutetiere zu erlegen.
Eine Körpermasse, die von den Erwartungen nach der Bergmann'schen Regel abweicht, kann auch eine Angepasstheit an eine Konkurrenzsituation darstellen. Große Laubfresser können so beispielsweise auch in warmen Regionen Blätter fressen, die für kleinere Tiere unerreichbar sind.

Anpassung und Angepasstheit (Seite 7)

- 1 Zwei mögliche Aspekte der Lösung zum Blattbau der Rotbuche sind: Die Ausbildung von Sonnen- oder Schattenblättern stellt am jeweiligen Ort in der Baumkrone eine Anpassung der Rotbuche an die dort herrschenden Lichtverhältnisse dar (Anpassung des Materialaufwandes an die mögliche Lichtausbeute). Die Fähigkeit, beide Typen von Blättern herzustellen, kann als Angepasstheit an die Ausbildung großer Baumkronen aufgefasst werden.
Die Fellfarbe bei Bären stellt eine Angepasstheit an den jeweiligen Lebensraum dar, da ein Bär seine Fellfarbe nicht aktiv ändern kann.
Die Körperfarbe der Pantherchamäleons stellt eine Anpassung an Lebensereignisse dar. Die Tiere ändern aktiv ihre Färbung in Anpassung an die Kampfsituation.
- 2 Unter ca. 10‰ Salzgehalt ist bei der *Rauen Strandschnecke* keine Aktivität feststellbar. Bei steigendem Salzgehalt steigt die Anzahl aktiver Tiere ab 15‰ sprunghaft an. Am höchsten ist die Aktivitätsrate bei einem Salzgehalt von ca. 25‰ (Optimum). Bei einem höheren Salzgehalt fällt der Anteil aktiver Schnecken deutlich ab, bis zu einem Salzgehalt von 40–50‰, bei dem nur noch ca. 25% der Schnecken aktiv sind. Bei einem Salzgehalt von 60‰ oder darüber findet keine Aktivität mehr statt.
Bei der *Spitzen Strandschnecke* kann bei einem Salzgehalt unter 15‰ keine Aktivität beobachtet werden. Bei einem steigenden Salzgehalt steigt der Anteil aktiver Schnecken stark an, bis ca. 95% der Schnecken bei einem Salzgehalt von ca. 35‰ aktiv sind. Bei

einem Salzgehalt von 40‰ sind alle Spitzen Strandschnecken aktiv. Bei weiter steigendem Salzgehalt sinkt der Anteil aktiver Schnecken langsam auf 80% (bei einem Salzgehalt von 60‰).

Beide Schneckenarten leben an der Nordseeküste. In der Spritzwasserzone bilden sich bei Ebbe Pfützen, aus denen Wasser verdunstet, teilweise bis die Pfützen austrocknen. Durch den Wasserverlust steigt die Salzkonzentration des verbleibenden Wassers in den Pfützen. Hier können nur Tiere überleben, die eine sehr hohe Salzkonzentration tolerieren können, wie die Spitze Strandschnecke. Die Raue Strandschnecke hingegen ist nur in Wasser mit geringerer Salzkonzentration aktiv und lebt daher unterhalb der Hochwasserlinie, also im Bereich von Wasser mit nahezu konstantem Salzgehalt.

Die beiden Strandschneckenarten haben somit unterschiedliche ökologische Nischen. Wichtiger Unterschied ist dabei ihre unterschiedliche Toleranz bezüglich Schwankungen des Salzgehaltes im umgebenden Meerwasser. Auch wenn es Überschneidungsbereiche bezüglich der Lebensbedingungen gibt, ist die Konkurrenz dadurch doch stark reduziert.

- 3 Bei den Strandschnecken gibt es zwei richtige Lösungen: Die Fähigkeit zum Tolerieren unterschiedlicher Salzgehalte des Meerwassers stellt eine Angepasstheit dar, da sie von den Tieren nicht verändert werden kann. Das Aufsuchen der Spritzwasserzone oder das Verbleiben unter der Hochwasserlinie ist eine Anpassung an die jeweiligen Bedingungen, denn die Schnecke kann ihren Aufenthaltsort aktiv ändern.

Die Besenheide — eine Pflanze im Moor (Seite 8)

- 1 Das Rollblatt der Besenheide hat eine deutlich dickere Kutikula (a) und eine großzellige Epidermis (b) als ein für gemäßigte Zonen typisches, bifaziales Laubblatt (mit deutlicher Ober- und Unterseite) eines typischen Mesophyten (Wechselfeuchtpflanze). Die beiden Schichten sind gleichmäßig um das Blatt verteilt. Das dichte Palisadengewebe (c) ist sowohl an der oberen Seite als auch an der unteren Seite deutlich zweilagig. Das lockere Schwammgewebe (d), in dem sich das Leitbündel befindet, ist gleichmäßig verteilt und grenzt direkt an die tiefe Furche an der nach außen zeigenden Blattseite, die der anatomischen Blattunterseite entspricht. Daher liegen die Spaltöffnungen (Schließzellen (e)) nur in dieser Rinne und sind dort von zahlreichen Haarzellen (f) umgeben.
- 2 Die dicke Kutikula mit der darunter liegenden Epidermis setzt die kutikuläre Transpiration herab. Die stomatare Transpiration ist dadurch verringert, dass die Spaltöffnungen geschützt in einer Rinne liegen. Die sie umgebenden Haare setzen zusätzlich die Luftbewegungen herab, sodass insgesamt die Wasserdampfabgabe nach außen erschwert ist. Hier entsteht ein feuchtes Mikroklima. Auf diese Weise wird die austrocknende Wirkung von Wind abgeschwächt. Es handelt sich um ein typisches xeromorphes Blatt. Dies ist wichtig, da die Blätter immergrün sind und im Winter nicht abgeworfen werden. Auch die geringe Blattoberfläche und die Stellung der Blätter zueinander unterstützen den Transpirationsschutz.
Ein Nachteil dieser Blattstruktur liegt darin, dass mit den eingesenkten Spaltöffnungen auch der Gasaustausch von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in diesen kleinen Blättern herabgesetzt wird, sodass das stark ausgeprägte Palisadengewebe nur eingeschränkt Fotosynthese betreiben kann.
- 3 In Abbildung 3 sind die Netto-Fotosynthese und die Netto-Atmung der beiden Heidekräuter Besenheide und Rauschbeere in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke dargestellt. Bei zunehmender Lichtstärke nimmt die Fotosyntheserate der Besenheide im Gegensatz zu der der Rauschbeere deutlich zu. Die Lichtkompensationspunkte der beiden Heidekrautgewächse unterscheiden sich. Der Lichtkompensationspunkt der

Rauschbeere ist bei einer geringeren Lichtstärke erreicht als der der Besenheide. Das bedeutet, dass die Besenheide bei voller Beleuchtung gut wachsen und Fotosynthese betreiben kann, die Rauschbeere hingegen bei geringerer Beleuchtungsstärke überlegen ist. Bei geringer Lichteinstrahlung ist die Rauschbeere konkurrenzstärker und verdrängt folglich die Besenheide. Die Besenheide ist als Sonnenpflanze und die Rauschbeere als Schattenpflanze zu charakterisieren. Da die Besenheide sonnige Standorte bevorzugt, wird sie in einem austrocknenden Moor bei Beschattung durch Bäume und höhere Sträucher verkümmern und eingehen. Sie wird ersetzt durch die besser an schattige Bodenbereiche angepasste Rauschbeere.

Der Kampf um Biomasse (Seite 9)

- 1 Der verzweigte Bau führt zu einer regionalen Verteilung des abgegebenen Giftes im umgebenden Boden. Dadurch werden die Bakterien in der näheren Umgebung des Pilzes abgetötet.
- 2 In den ersten Stunden vermehren sich alle Bakterien in allen Konstellationen exponentiell. Danach zeigt sich, dass in Gegenwart von Kolonien von Stamm I weder Kolonien von Stamm II noch Kolonien von Stamm III dauerhaft überleben können, wobei Stamm II schneller ausstirbt. Stamm III ist konkurrenzstärker als Stamm IV, ähnlich wie Stamm I konkurrenzstärker ist als Stamm II. Lediglich Stamm II und IV können über die ganze Versuchsdauer nebeneinander existieren. Stamm I kann durch die Ausscheidung von Antibiotika die Vermehrung von Bakterien der Stämme II und III deutlich reduzieren. Bakterien des Stamms III produzieren einen Stoff, der Bakterien von Stamm IV am Wachstum hindert, diese Wirkung jedoch nicht bei Stamm I zeigt. Die Stämme II und IV schränken sich gegenseitig nicht oder kaum im Wachstum ein. Die Bakterienzellen produzieren zumindest teilweise wirksame Antibiotika, die jedoch nicht auf alle Bakterienarten wirken.
- 3 Im Waldboden können sich abgegebene Giftstoffe anreichern, bis sie evtl. durch Regen ausgewaschen werden. Im Meerwasser werden abgegebene Stoffe verdünnt und in tiefere Bodenschichten gespült. Sie wirken vielleicht in geringster Konzentration oder haften an der Oberfläche der abgebenden Bakterien oder an potenziellen Nahrungspartikeln.

Ressourcenverteilung bei Pflanzen (Seite 10)

- 1 individuelle Lösung. Mögliche Stoffgruppen sind Nucleinsäuren mit den stickstoffhaltigen Basen, Proteine mit den Aminogruppen der Aminosäuren als Ausgangsstoff, Photosynthesepigmente mit den stickstoffhaltigen Ringsystemen oder Reduktionsäquivalente bildende Wasserstoff-Überträger NAD^+ oder NADP^+ bzw. Trägerstoffe des Energiehaushaltes wie ATP und GTP.
- 2 Ab Juni gelangt der aufgenommene Stickstoff in den Pflanzenkörper der Mutterpflanze. Es entwickelt sich ein üppiges Kartoffelkraut mit vielen Blättern, die mithilfe der Photosynthese Biomasse für ihr Wachstum erzeugen. Im Juli erreicht die Verwendung von aufgenommenem Stickstoff für das Wachstum von Stängel und Blättern ihren Höhepunkt, während die Verwendung für das Wachstum von Kartoffelknollen ständig zunimmt. Ab August gelangt mehr Stickstoff in die Kartoffeln als in die Sprosse. Dies entspricht einer überwiegenden Investition in die Vermehrung in der letzten Lebensphase der Pflanze.

- **3** Bis Anfang Juli führt eine mittlere bzw. hohe Versorgung mit Stickstoff zu geringfügig höheren Massen der kleinen, heranwachsenden Knollen. Mit zunehmendem Fortschreiten der Vegetationsperiode nimmt der Unterschied ständig zu. Bei der Ernte erhält man bei hohem Stickstoffangebot ca. 50 % mehr Kartoffelmasse im Vergleich zum geringen Angebot.
- **4** Das Krautwachstum ist die Voraussetzung für die Einlagerung von Nährstoffen in die Kartoffeln. Schon relativ geringe Unterschiede bei der Ausbildung der fotosynthetisch aktiven Gewebe führen zu starken Unterschieden bei der Kartoffelbildung, die wesentlich zur reproduktiven Fitness beiträgt.
(Anmerkung: Der Aspekt der Zucht auf hohen Ernteertrag sei hier vernachlässigt.)

Wechselbeziehungen im australischen Regenwald (Seite 11)

- **1** Die Eier der Gespenstschrecken ähneln Samen und werden von den Ameisen der Art *Leptomyrmex ruficeps* in ihr Nest verbracht. Hier herrschen ideale Bedingungen für die Entwicklung der Gespenstschrecken und sie sind zudem vor Fressfeinden geschützt. Von diesem Verhalten profitieren nur die Gespenstschrecken. Die Ameisen sammeln die Eier ein, putzen sie und beschützen sie, fressen sie aber nicht. Die Gespenstschrecken stehen damit in parasitischer Beziehung zu den Ameisen (Brutparasitismus). Im ersten Larvenstadium ähneln die jungen Gespenstschrecken den Ameisen. Dies ermöglicht ihnen zum einen das ungehinderte Verlassen des Armeisennestes, zum anderen schreckt es mögliche Fressfeinde ab.
- **2** Die Ameise und die Larve der Gespenstschrecke haben einen dunklen Körper, helle lange Beine und einen auffallenden roten Kopf. Der Hinterleib kann aufgerichtet werden, bei den Ameisen *Leptomyrmex ruficeps* ist dies eine Drohhaltung vor dem Versprühen eines Wehrsekretes. Als Unterschied fällt auf, dass der Körper der Gespenstschrecken in kleinere Segmente gegliedert ist. Dadurch heben sich Kopf und Hinterleib nicht so stark hervor. Der Hinterleib ist zudem dünner. Die Fühler sind kürzer als bei der Ameise und die Körperoberfläche erscheint weniger glatt.
- **3** Mimese bezeichnet bei Tieren die Nachahmung von Objekten oder Pflanzenteilen zur Tarnung. Adulte Gespenstschrecken ähneln in ihrem Aussehen Laubzweigen. So werden sie leicht von möglichen Beutegreifern übersehen. Eine andere Art der Nachahmung ist die Mimikry, auch Scheinwartracht genannt. Einige Tierarten, die selbst wenig wehrhaft sind, ähneln wehrhaften Tierarten im gleichen Lebensraum. Potenzielle Räuber, die die wehrhafte Tierart meiden, meiden dann auch Exemplare der nicht wehrhaften Art. Die jungen, wehrlosen Gespenstschrecken ähneln den wehrhaften Ameisen. Insektenfresser meiden die jungen Gespenstschrecken, wenn sie Erfahrungen mit Ameisen haben, da diese den Ameisen in Drohhaltung ähnlich sehen. Die Überlebensrate der Gespenstschrecken erhöht sich also durch die Nachahmung der Warnsignale der Ameisen. Je nach ihrem Entwicklungsstadium schützen sich Gespenstschrecken also durch Mimikry oder Mimese.

Symbiose (Seite 12)

- 1 Die sterilen Bedingungen am Versuchsanfang führen dazu, dass keine Knöllchenbakterien mit den heranwachsenden Erbsenpflanzen in Kontakt kommen. Sie entwickeln sich relativ kümmerlich. Erst durch das Gießwasser für Gefäß B gelangen Knöllchenbakterien aus der Erde des Erbsenbeets an die Wurzeln der dort heranwachsenden Erbsenpflanze. Sie entwickelt sich dadurch wesentlich besser als die Pflanze in Gefäß A, weil ihr nun von Knöllchenbakterien fixierter Stickstoff zur Verfügung steht.
- 2 Eine Symbiose liegt vor, wenn Lebewesen verschiedener Arten vom Zusammenleben wechselseitig profitieren. Die Knöllchenbakterien fixieren Luftstickstoff und erzeugen daraus für sie im Überschuss vorliegende stickstoffhaltige Mineralstoffe. Diese gelangen durch das Wurzelgewebe in die Leitbündel der Pflanze und fördern das Wachstum. Die Knöllchenbakterien entziehen dem Phloemsaft der Erbsenpflanze in den Blättern produzierte und dann in die Wurzeln transportierte Kohlenhydrate. Durch den „Mineralstoff-gegen-Nährstoff-Tausch“ profitieren die Vertreter beider Arten.
- 3 Wenn auf einem Acker Hülsenfrüchtler angebaut werden und man sie danach unterpflügt, verbleiben alle dem Boden entzogenen Mineralstoffe auf dem Acker. Wenn die Knöllchenbakterien zusätzlich aus Luftstickstoff pflanzenverwertbare Mineralstoffe mit Stickstoffgehalt produziert haben, stehen auch sie den in der Folge angebauten Pflanzen zur Verfügung.

Drei-Partner-Beziehung — Symbiose zu dritt? (Seite 13)

- 1 Die pilzf freien Individuen des Rispengrases *Dichanthelium lanuginosum* gedeihen nach einer Beimpfung mit dem virushaltigen Pilz *Curvularia protuberata* (A) in dem Hitzestress gut. Nur $\frac{1}{5}$ des Bestandes ist bei den extremen Versuchsbedingungen etwas eingeschränkt vital, d.h. die Pflanzen verfärben sich gelb. Die pilzf freien Graspflanzen ohne erneuten Pilzbefall (C) bzw. diejenigen, die mit virusfreien Pilzen infiziert wurden (B), sterben überwiegend (>75 %) im Hitzestress ab. Die überlebenden Individuen sind stark beeinträchtigt.
Folgerung: Nur die auf den Pilz *Curvularia protuberata* spezialisierten Viren *CthTV* verleihen zusammen mit diesem Pilz der Graspflanze eine gesteigerte Hitzetoleranz.
- 2 Definition Symbiose: Zwei-Partnerbeziehung, bei der die Individuen zweier unterschiedlicher Arten mit beiderseitigem Nutzen.
Unter Berücksichtigung dieser Definition kann man das Zusammenleben des Rispengrases *Dichanthelium lanuginosum* und des infizierten Pilzes *Curvularia protuberata* als eine Symbiose bezeichnen. Der Vorteil für das Gras ist die hohe Hitzetoleranz, die ein Wachstum bei hohen Bodentemperaturen und Energiegewinnung (Fotosynthese) ohne interspezifische Konkurrenz ermöglicht. Der Vorteil für den symbiotischen Pilz ist die Versorgung mit Assimilaten, Wasser und Mineralstoffen durch seinen hitzetoleranten Symbiosepartner, der bei den hohen Bodentemperaturen gedeihen kann. Die alleinige Zwei-Partnerbeziehung zwischen Graspflanze und dem virusfreien Pilz steigert kaum die Hitzetoleranz der Pflanze bzw. senkt sie sogar. Erst die Beziehung zwischen Pflanze und infiziertem Pilz hat enorme Vorteile für die Pflanze (Hitzetoleranz). Dies wiederum fördert das Wachstum und die Verbreitung des infizierten Pilzes.
Das Virus *CthTV*, das den Pilz infiziert hat, ist keine echte Lebensform, da es auf den Stoffwechsel seines Wirts angewiesen ist. Unter diesem Aspekt kann man die beschriebene Wechselwirkung nicht als Symbiose zu dritt bezeichnen.

Die Beziehung zwischen Pilz und Virus kann als eingeschränkter Mutualismus aufgefasst werden. Der Pilz hat in der Koexistenz mit dem Virus den Vorteil, in heißeren Gebieten leben zu können, und das Virus hat den Vorteil der weiteren Existenz. Unter diesem Gesichtspunkt kann man diese Drei-Partner-Beziehung als Symbiose im weiteren Sinne auffassen.

- 3 Über die Hälfte der Tomatenpflanzen gedeihen nach einer Beimpfung mit dem virushaltigen Pilz *Curvularia protuberata* gut (A). Viruslose Tomatenpflanzen (B, C) sterben zu ca. 80% oder mehr ab.
Der Hitzeschutz, den die auf den Pilz *Curvularia protuberata* spezialisierten Viren *CthTV* den Tomatenpflanzen indirekt verleihen, ist deutlich geringer als die Wirkung, die sie auf das Rispengras haben.
Insgesamt ist das Ziel der Versuchsreihe, Tomatenpflanzen mit einer erhöhten Hitzetoleranz zu erhalten, erreicht worden. Es ist gelungen, den natürlicherweise symbiontenlosen Pflanzen einen zusätzlichen Schutz durch die virushaltigen Pilze zu verleihen. Es wurde eine künstliche Symbiose geschaffen.

Ölkäfer imitieren Sandbienen (Seite 14)

- 1
 - 1 Im Frühjahr schlüpfen die fertig entwickelten adulten Ölkäfer und kriechen aus dem Boden.
 - 2 Sie suchen die Futterpflanzen auf und fressen daran. Dabei treffen sich auch die Sexualpartner.
 - 3 Es findet die Paarung statt.
 - 4 Das Ölkäfer-Weibchen legt seine Eier in eine Röhre im Boden in der Nähe einer Futterpflanze.
 - 5 Die geschlüpften L1-Larven kriechen aus dem Boden an die Oberfläche und auf die Halme der Futterpflanze.
 - 6 An den Pflanzenstängeln sammeln sie sich zu Hunderten in Klumpen, die Sandbienen-Weibchen ähneln, und werden von paarungswilligen Sandbienen-Männchen zur Begattung angefliegen.
 - 7 Beim Begattungsversuch klammern sich die L1-Larven am Pelz der Biene fest und werden anschließend auf diese Weise weitertransportiert.
 - 8 Das paarungswillige Sandbienen-Männchen mit seinem Larvenpaket trifft bei einem 2. Begattungsversuch auf ein begattungsbereites Weibchen und kopuliert.
 - 9 Die L1-Larven wechseln bei der Kopulation das Wirtstier, sodass das begattete Sandbienen-Weibchen anschließend das L1-Larvenpaket trägt. So beladen sucht es seine Brutröhre auf, kriecht hinein und transportiert dabei die L1-Larven des Ölkäfers an den Futterplatz.
 - 10 Die L1-Larven fressen dort den Pollen, den Nektar und die Brut selbst, und entwickeln sich weiter (Larvenstadien, Puppe) und überwintern. Im folgenden Frühjahr schlüpfen sie als Imagines (nach einer Puppenruhe) und kommen an die Erdoberfläche.
- 2 Versuchsreihe A: Die Anflüge für Begattungsversuche wurden an natürlichen L1-Larvenklumpen und an künstlichen Nachbildungen mit und ohne Beschichtung mit dem Larvenextrakt gezählt. Die Nachbildung ohne Beschichtung wurde im Gegensatz zu den beiden anderen Objekten nicht angefliegen, die Nachbildung mit Beschichtung wurde sogar häufiger als normale Larvenklumpen besucht. Auf diese Weise wurde festgestellt, dass chemische Stoffe der Larven, nicht das Erscheinungsbild des Larvenklumpens für die Anlockung verantwortlich sind.
Versuchsreihe B: Die Anflüge zu den in Käfigen separat gehaltenen Bienenweibchen oder -männchen wurden beobachtet. Nur die Weibchen wurden angefliegen, die Männchen blieben, genauso wie leere Käfige, unbeachtet.

Versuchsreihe C: Die Bestandteile der künstlichen Extrakte von Sandbienenweibchen, -männchen und Ölkäferlarven wurden auf die Nachbildungen von Larvenklumpen aufgebracht und sie zeigten den Effekt, dass Inhaltsstoffe aus den Extrakten der Bienenweibchen und der L1-Larven gleichermaßen als Lockmittel fungieren und angefliegen werden. Die Stoffe aus Sandbienenmännchen zeigen eine deutlich geringere Wirkung. Keinerlei Wirkung hat dagegen das Lösungsmittel, das für die Extraktgewinnung genutzt wurde. Folglich sind die chemischen Stoffe von Bienenweibchen und von L1-Larven wirkungsgleich.

- **3** Die Analyse der Duftstoffe der verschiedenen Extrakte von Sandbienenweibchen, -männchen und L1-Ölkäferlarven zeigt, dass viele langkettige Kohlenwasserstoffe (Alkene) jeweils als Gemisch vorkommen. Da Männchen kaum angefliegen werden, spielen ihre Duftstoffe wohl nur eine untergeordnete Rolle. Die Bienenweibchen besitzen ein großes Spektrum an Duftstoffen. Vergleicht man die drei Analyseergebnisse, stellt man einige identische Duftstoffe (Gruppen: C23, C25, C31) bei den drei Tieren fest. Außerdem gibt es 2 Duftstoffe (Gruppen: C23, C25), die nur bei Sandbienenweibchen und L1-Larven identisch sind. Diese Stoffe werden für die Attraktivität der Bienenweibchen sowie der L1-Larven gegenüber den Bienenmännchen verantwortlich sein. Die L1-Larven enthalten keine weiteren Duftstoffe. Ihr Geruch ist also rein und wird nicht durch andere Stoffe beeinträchtigt, sodass die Sandbienenmännchen mit großer Sicherheit getäuscht werden.

Die Duftstoffe stellen chemische Sexuallockstoffe (Pheromone) dar. Die Nachahmung chemischer Substanzen einer anderen Organismenart zum eigenen Vorteil wird als chemische (molekulare) Mimikry bezeichnet.

Die Sandbienenmännchen werden von den Pheromonen, die die L1-Ölkäferlarven aussenden, angelockt und dienen nach dem irrtümlichen Paarungsversuch als Transporteur für die Larven zu einem echten Sandbienenweibchen, das sie zu ihrer benötigten Futterquelle, der eigenen Brut, bringt. Würden die Sandbienenmännchen nicht gut getäuscht, würden sie nicht fehlgeleitet und der Entwicklungszyklus der Ölkäfer wäre beendet.

(Anmerkung: Die Phoresie ist eine 2-Partner-Beziehung, hier zwischen den Sandbienen und den L1-Larven, bei der ein Tier den Partner als Transportmittel zur Ortsveränderung nutzt und sich dabei an ihn aktiv oder passiv anheftet.)

„Hundemalaria“ in Deutschland (Seite 15)

- **1** Nachdem die Nymphe aus dem Ei geschlüpft ist, befällt sie zunächst kleine Säugetiere, wie Mäuse oder Hasen. Danach erfolgt eine Häutung. Anschließend ist die Nymphe größer und parasitiert neben den bekannten auch weitere, größere Säugetiere wie Katzen. Nach einer weiteren Häutung werden noch größere Säugetiere wie Hunde, Wildschweine und Hirsche befallen. Auf diesen findet die Paarung statt. Danach legen die Weibchen Eier. Der Vermehrungszyklus dauert 1 bis 1,5 Jahre.
- **2** Mögliche Lösungsteile:
 - *Babesia canis* ist ein Einzeller, die Auenwaldzecke hingegen ist ein Mehrzeller.
 - Die Auenwaldzecke setzt sich auf den Körper der Wirte und beißt diese mit ihrem Mundwerkzeug (Exoparasit). *Babesia canis* hingegen dringt vollständig in den Körper ein (Endoparasit).

- Bei der Auenwaldzecke findet keine ungeschlechtliche Vermehrung statt, bei *Babesia canis* hingegen schon.
 - Die Auenwaldzecke selbst tötet keinen Zwischenwirt, *Babesia canis* hingegen schon.
 - *Babesia canis* ist in der Wahl der Wirte sehr viel spezifischer als die Auenwaldzecke.
- 3 Als Endwirt bezeichnet man jenen Wirt, auf oder in dem die geschlechtsreifen Tiere leben. Der Endwirt der Auenwaldzecke ist dementsprechend der Hund, das Wildschwein oder der Hirsch. Hier findet die geschlechtliche Vermehrung statt. Der Endwirt von *Babesia canis* ist die Auenwaldzecke. Nur in ihr findet die geschlechtliche Vermehrung statt. Die Vermehrung im Hund findet ungeschlechtlich durch Zellteilung statt.
- 4 Die Unterscheidung von Raubtier und Parasit ist nicht immer eindeutig. Im Allgemeinen gilt: Parasiten ernähren sich zwar von ihren Wirten, schaden ihnen damit und haben davon einen Vorteil, töten ihre Wirte aber in der Regel nicht. Die Auenwaldzecke beißt ihre Wirte und trinkt das Blut, doch die Wirtstiere sterben dabei nicht. Der Tod des Wirtes droht nur, wenn ein Wirtstier durch zu viele Zecken gleichzeitig geschwächt wird oder die Zecke Krankheitserreger unabsichtlich überträgt. Der Tod des Wirtes ist für die Zecke von Nachteil. Der Wirt steht der Zecke als Nahrungsquelle damit nicht weiter zur Verfügung. Ein Raubtier hingegen tötet seine Beute, um sie anschließend zu verzehren. Die Beute überlebt also nicht.

Die ökologischen Nischen der Rohrsänger (Seite 16)

- 1 Die Habitate der Rohrsängerarten können durch die Lage der Nester und die am häufigsten beobachteten Aufenthaltsbereiche beschrieben werden.

Sumpfrohrsänger: Nester in Vegetationshöhe von 1,80 – 3,90 m; max. 5 cm Wassertiefe,
 Seggenrohrsänger: Nester in Vegetationshöhe von ca. 1,20 m; max. 10 cm Wassertiefe,
 Schilfrohrsänger: Nester in Vegetationshöhe von 1,90 – 2,80 m; 5 – 20 cm Wassertiefe,
 Mariskensänger: Nester in Vegetationshöhe von 2,50 – 3,00 m; 18 – 60 cm Wassertiefe,
 Teichrohrsänger: Nester in Vegetationshöhe von 2,60 – 3,60 m; 10 – 65 cm Wassertiefe,
 Drosselrohrsänger: Nester in Vegetationshöhe von 3,20 – 5,00 m; 35 – 105 cm Wassertiefe.

- 2 Die ökologische Nische beschreibt die Gesamtheit der abiotischen und biotischen Umweltbedingungen, die eine Art für ihre langfristige Existenz benötigt. Man kann verschiedene Teilnischen betrachten, wie die im Material vorgestellten Habitat- und Nahrungsflächen.

Zum Nahrungsspektrum der Rohrsänger gehören überwiegend Insekten und Spinnen. Ergänzend können je nach Art Schnecken oder bei dem größten Rohrsänger, dem Drosselrohrsänger, auch junge Amphibien als Beute hinzukommen. Teichrohr- und Mariskensänger konkurrieren um ihre Grundnahrung, doch der Teichrohrsänger vermindert die Konkurrenz durch sein erweitertes Beutespektrum.

Außerdem werden die verschiedenen Habitate der sechs Rohrsängerarten im Schilfgürtel der Verlandungszone im Sinne des Konkurrenzvermeidungsprinzips deutlich. Es kommt nur zu geringer Überlappung der Habitate, weil die Arten entweder über verschiedener Wassertiefe oder in verschiedener Vegetationshöhe vorkommen, wie z. B. bei Schilf-, Teich-, Drosselrohrsänger. Trotz der Habitatüberlappung beim Teich- und Drosselrohrsänger oder beim Teichrohr- und Mariskensänger verfügen jeweils beide Arten über

weite Bereiche ohne Konkurrenz. Es sind in vertikaler Richtung verschiedene bevorzugte Aufenthaltshöhen der Rohrsänger zu erkennen. Trotz einiger Überlappungen ergibt sich für ihren Aufenthalt in abnehmender Vegetationshöhe die Reihenfolge: Drosselrohr-, Teichrohr-, Marisken-, Sumpfrohr-, Schilfrohr-, Seggenrohrsänger.

Bedeutsamer sind die horizontal unterschiedlichen Aufenthaltsbereiche der Rohrsänger. Es ergibt sich für das Vorkommen der Rohrsänger in wasserseitiger Vegetation die Reihenfolge bei zunehmender Wassertiefe: Marisken-, Teichrohr-, Drosselrohrsänger. Sie sind mit ihren Klammerfüßen morphologisch besser an dieses Habitat angepasst als die Vögel, die bevorzugt landseitig vorkommen. Dort ergibt sich die Reihenfolge im Vorkommen nach zunehmender Wassertiefe: Sumpfrohr-, Seggenrohr- und Schilfrohrsänger. Insgesamt haben die vorgestellten Arten unterschiedliche ökologische Nischen, da sie sich in mindestens einem Aspekt ihrer Umweltansprüche unterscheiden. Somit ist die interspezifische Konkurrenz um Nahrung und Habitat reduziert.

- **3** Je nach Vorkommen bestimmter Pflanzenarten in der Schilfregion herrschen bestimmte Lebensbedingungen für die verschiedenen Rohrsängerarten. Mit dem Alter des Schilfgürtels verändern sich diese Lebensbedingungen für die Arten. Ein junges Schilfgebiet mit entsprechenden biotischen und abiotischen Umweltbedingungen kann nur von einigen Teichrohrsängern (ca. 6,5 Reviere / ha) als passendes Brutrevier genutzt werden. In 5-jährigen Beständen, die bereits mit abgestorbenem Schilf durchsetzt sind, ist das Vorkommen der Teichrohrsänger gestiegen (18 Reviere / ha). Gleichzeitig kommen Drosselrohrsänger und Mariskensänger in maximaler Populationsdichte (etwa 2 Reviere / ha) vor. In 10-jährigen Altschilfbeständen ist dagegen die Revierdichte beim Drosselrohrsänger wieder gesunken, die beim Mariskensänger bleibt ungefähr gleich. Die Revierdichte beim Teichrohrsänger hat trotz abgestorbener Halme weiter zugenommen (ca. 28,5 Reviere / ha).
Folglich sind die drei Rohrsängerarten sehr spezialisiert auf die in dem untersuchten Areal vorkommende Dichte, die Struktur und das Alter der Pflanzen. Die Faktoren sind in dem Untersuchungsgebiet für die Teichrohrsänger offensichtlich am günstigsten.

Leben unter Tage (Seite 17)

- **1** Die ökologische Planstelle umfasst lockeren Boden, in dem Gänge gegraben werden können. Im Boden muss Nahrung zu finden sein, beispielsweise Insekten, Würmer oder Wurzeln.
- **2** Zu den Anpassungen gehören zum Beispiel:
 - walzenförmige Körperform,
 - verkürzte Ohren und häufig verkürzter Schwanz,
 - kurze Beine,
 - geringe oder keine Sehfähigkeit,
 - guter Tast-, Geruchs- oder Gehörsinn
 - Ausbildung von Graborganen (Finger, Grabklauen, Krallen oder Zähne).
- **3** Eine ökologische Nische ist die Gesamtheit aller abiotischen und biotischen Ansprüche einer Art an die Umwelt. Sie kann auch als die Summe aller ökologischen Potenzen einer Art beschrieben werden.

- 4 Bodenwühler kommen auf fast allen Kontinenten vor. Dort wo der Boden nicht nass, nicht zu steinig und nicht gefroren ist, können kleine Säugetiere graben. Die meisten legen Gänge an und leben darin. Sie können auch ihre Nahrung darin finden, wenn Wurzeln, Würmer oder Insekten im Erdreich leben. Diese und weitere Faktoren beschreiben die ökologische Planstelle. Sie stellt eine mögliche Lebensform in einem Ökosystem dar.

Wird dieses Angebot genutzt und die ökologische Planstelle von einem Tier besetzt, beschreiben diese Faktoren seine ökologische Nische. Die ökologische Nische kann aber noch durch weitere Faktoren bestimmt sein. Die Tierarten in Abbildung 3 nutzen beispielsweise unterschiedliche Körperteile zum Graben. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Ansprüche an ihre ökologische Nische. Ähnliches gilt für ihre Ernährung und ihre Sinnesleistung.

Lohnende Beute (Seite 18)

- 1 Der Energiegewinn pro Zeiteinheit hat bei etwa 23 mm langen Miesmuscheln ein Maximum. Kleine Muscheln sind mit wenig Energieaufwand zu knacken, bieten jedoch auch nur eine kleine Portion Nahrung. Große Muscheln können von den Krabben nur mit großem Kraftaufwand geöffnet werden. Obwohl sie relativ viel Nahrung bieten, sind mittelgroße Muscheln die bessere Nahrungsquelle mit optimalem Verhältnis von Aufwand und Gewinn. In der Natur bevorzugen die Krabben Muscheln, die etwas kleiner sind als die im Experiment ermittelte optimale Größe. Besonders große bzw. kleine Muscheln werden wenig gefressen. Das Wahlverhalten der Krabben ist an eine optimale Beutegröße angepasst.
- 2 Bei allen angebotenen Mischungen wählten die Strandkrabben mehr Individuen der Art *Mytilus edulis* als der Art *Mytilus californianus*. Als Ursache ist die Tatsache zu vermuten, dass *M. californianus* dickere Schalen hat. Dadurch ist der Energiegewinn bei gleicher Muschelgröße bei Individuen dieser Art geringer. Die Beutewahl stellt eine Anpassung der Strandkrabbe an eine optimale Nahrungsversorgung dar.
- 3 Die gestichelte Linie in Abb. 5 gibt die zu erwartenden Anteile für den Fall an, dass die Krabbe keine der beiden Arten bevorzugt. Alle Werte liegen oberhalb der Kurve.
- 4 Eine besonders lohnende Beute zeichnet sich dadurch aus, dass mit relativ geringem Aufwand relativ viel Nahrung beschafft werden kann.

Pinguine auf den Falkland-Inseln (Seite 19)

- 1 Es werden je zwei Brutkolonien der drei Pinguinarten untersucht. Die beiden Kolonien einer Art sind jeweils weit voneinander entfernt. Für die Jagd schwimmen die Tiere der nördlichen Kolonien in nördliche Regionen, die voneinander getrennt sind: Nordwesten (A), Norden (C), Nordosten (E). Bei den Jagdausflügen kommen oft Entfernungen von 40 km und mehr von den Brutkolonien vor. Die Tiere der südlichen Kolonien jagen in südlichen Bereichen, die sich etwas überlappen. Auch hier werden Entfernungen von durchschnittlich 40 km erreicht.
- 2 Die drei Pinguinarten haben das gleiche Nahrungsspektrum: Fische, Springkrebse, Tintenfische, Krill. Die Anteile der Beutetiere an der Gesamtnahrung sind bei den Arten unterschiedlich. Krill bildet den geringsten, Fisch den größten Nahrungsanteil. Bei den

Felsenpinguinen (A) sind die vier Beutegruppen fast gleich häufig vertreten (22% – 28%). Bei den Magellanpinguinen (C) ist ein deutlicher Unterschied festzustellen: 12% Krill, 23% Tintenfische, 26% Springkrebse, 39% Fische. Bei Eselspinguinen (E) sind die Unterschiede noch größer: 10% Krill, 22% Tintenfische, 26% Springkrebse, 42% Fische. Auch die beiden Populationen einer Pinguinart unterscheiden sich jeweils in geringem Ausmaß in ihren tatsächlichen Nahrungsanteilen, allerdings bei ähnlicher Beutebevorzugung.

- **3** Die drei Pinguinarten unterscheiden sich in ihrer maximal erreichten Tauchtiefe. So können die Felsenpinguine ca. 70 m, die Magellanpinguine ca. 100 m und die Eselspinguine bis 140 m tief tauchen. Die Arten unterscheiden sich bei ihrer Nahrungssuche auch in ihrer Verweildauer in verschiedenen Tiefen, abhängig von der Tageszeit. So jagen die Felsenpinguine vormittags häufiger im oberen Bereich (bis 20 m Tauchtiefe) als nachmittags und tauchen außerdem häufig bis in eine Tiefe von 40 m. Die Magellanpinguine suchen bevorzugt in den oberen 15 m des Meeres nach Beute. Zudem tauchen sie nachmittags insgesamt länger in Wassertiefen von 20 bis 60 m als vormittags. Die Eselspinguine suchen oft ihre Nahrung in den oberen 10 m des Meeres. Außerdem tauchen sie häufig kurz in größere Tiefen und verweilen dort bevorzugt in einer Tiefe von 90 bis 110 m. Die jeweiligen Populationen der Arten unterscheiden sich etwas in der Dauer ihrer Tauchgänge in verschiedene Tiefen. So tauchen die Felsenpinguine der nördlichen Population vormittags kürzer, nachmittags länger als ihre Artgenossen der südlichen Population. Die Eselspinguine der nördlichen Population haben vormittags längere Tauchgänge als nachmittags. Eine längere Verweildauer ist bei ihnen in einer Tiefe von 85 bis 100 m zu verzeichnen. Beide Populationen tauchen auch häufig bevorzugt in Tiefen von 115 m.
- **4** Die Koexistenz der drei Pinguinarten wird durch intraspezifische und interspezifische Konkurrenzvermeidung möglich. Die Konkurrenz um Brutgebiete, Jagdgebiete und dort um die Nahrung wird durch eine räumliche und zeitliche Aufteilung des gemeinsamen Lebensraums ermöglicht. Die Jagdgebiete der nördlichen Populationen der verschiedenen Arten zeigen im Gegensatz zu den südlichen Populationen keine Überlappung. Gleichzeitig wird die Nähe zu den Kolonien der Seelöwen, ihrer Fressfeinde, vermieden. Bei den Vertretern der südlichen Populationen mit größeren Überlappungszonen sind dagegen deutlichere Unterschiede in den Anteilen ihrer erbeuteten Nahrung zu finden als bei ihren Artgenossen in den nördlichen Populationen. Das Jagdgebiet unter Wasser ist durch verschiedene Tauchtiefen der Arten und unterschiedliche Verweilzeiten während der Tauchgänge im Verlauf der Tageszeit aufgeteilt. Die Verweildauer und die Tauchtiefe sind wahrscheinlich Anpassungen an den Aufenthalt der gesuchten Beutetiere, sodass die feststellbaren Unterschiede als Faktoren zur Minderung der Nahrungskonkurrenz gedeutet werden können.

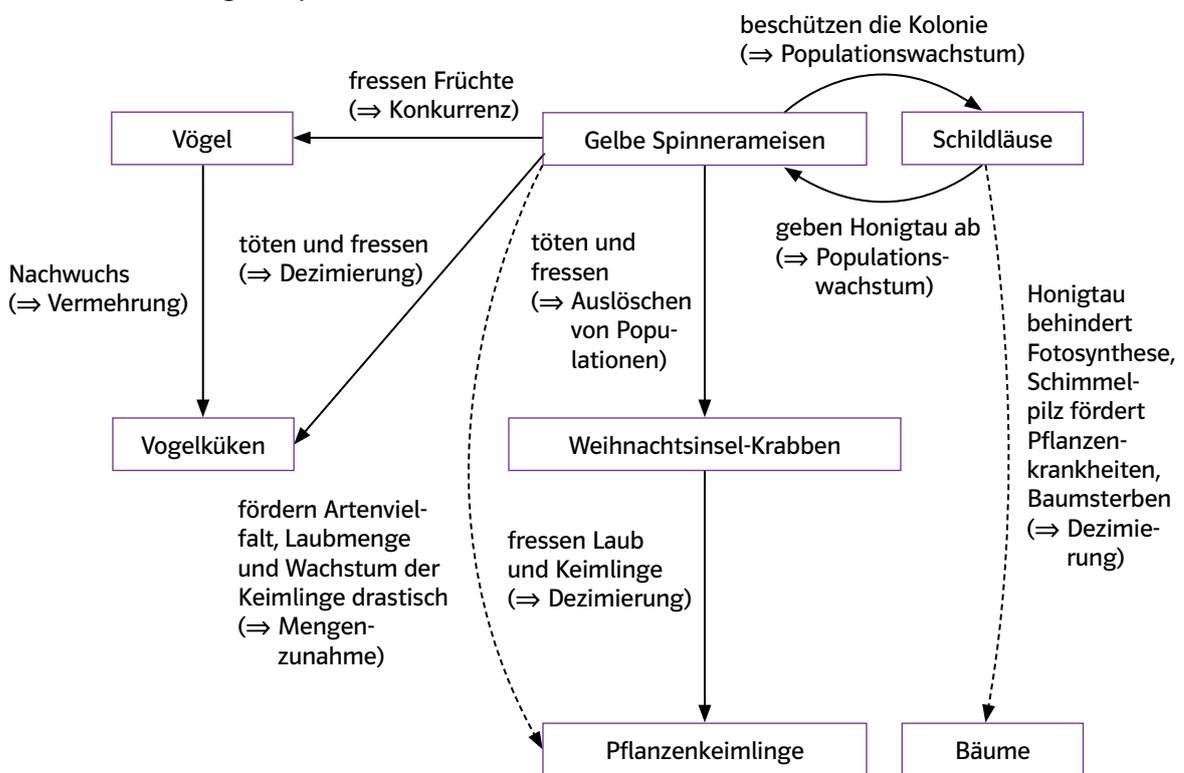
Fortpflanzungsstrategien (Seite 20)

- **1** r-Strategen weisen eine hohe Reproduktionsrate (r) auf. Bei vielen Nachkommen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass auch ohne Brutpflege oder Gelegeverteidigung zumindest einige Nachkommen überleben. K-Strategen haben relativ wenige Nachkommen. In ihrem Lebensraum hat die Population meist die Kapazität (K) des Lebensraums weitgehend ausgeschöpft, sodass die Überlebenswahrscheinlichkeit von vielen Nachkommen gering wäre. Die Überlebensrate der wenigen Nachkommen wird typischerweise durch intensive Brutfürsorge gesteigert.
- **2** Der Grasfrosch produziert viele Eier, die er dann weder verteidigt noch in irgendeiner Weise schützt. Im Vergleich zu Arten wie dem Erdbeerfrosch mit wenigen Nachkommen

und aufwendiger Fürsorge trifft für ihn eher die Bezeichnung r-Strategie zu, während die Fortpflanzung beim Erdbeerfrosch eher der eines K-Strategen entspricht. Bei den dargestellten Arten gilt: Je geringer die Anzahl produzierter Eier, desto intensiver die Brutfürsorge. Nach Nachkommenanzahl und Brutfürsorge gehören Erdbeerfrosch, Dreifarbenblattsteiger und Geburtshelferkröte eher zu den K-Strategen und Grasfrosch, Rotaugenfrosch und Lidblasenfrosch eher zu den r-Strategen.

Gelbe Spinnerameisen auf der Weihnachtsinsel (Seite 21)

- 1 In einem von den Gelben Spinnerameisen dicht besiedelten Gebiet kommen die Weihnachtsinsel-Krabben auf dem Waldboden 100-mal häufiger vor als in einem von den Ameisen nicht besiedelten Gebiet. Die Weihnachtsinsel-Krabben sind in einem intakten Regenwald 42-mal häufiger anzutreffen als in einem Waldgebiet mit Ameisenkolonien. Dort sind dagegen viele tote Krabben zu finden im Gegensatz zu einem nicht von den Ameisen befallenen Gebiet. In einem Areal mit Ameisen befindet sich doppelt so viel Laub, die Keimlingsdichte ist 30-mal höher und die Artenvielfalt der Keimlinge ist 3,5-mal so groß wie im Vergleichsareal ohne Ameisen. Die Anzahl der Ameisen, die an Ästen laufen, ist viel höher als in nicht befallenen Gebieten. Dies korreliert mit dem stark erhöhten Schildlaus-Vorkommen (15-fache Häufigkeit) und der dadurch erzeugten Honigtau-Verschmutzung. Gleichzeitig wird beobachtet, dass in diesen von Ameisen eroberten Gebieten das Wachstum der Äste in den Baumkronen verringert ist und dass das Baumsterben in diesem Gebiet fast verdreifacht ist.
- 2 individuelle Lösung. Beispiel:



Zeichenerklärung: —▶ direkte Wirkung
 ---▶ indirekte Wirkung
 => direkte Folge

Concept-Map für die Wirkungen der Gelben Spinnerameisen

- **3** Auf der Weihnachtsinsel wurden die Folgen der erfolgreichen Besiedlung durch ein Neozoon analysiert. Durch fehlende Räuber oder Konkurrenten und durch ausreichend Futter kommt es zur starken Vermehrung der Gelben Spinnerameise. Bei der Ernährung spielt die symbiotische Beziehung zwischen Ameise und Schildlaus eine große Rolle. Durch die hohe Populationsdichte der Spinnerameisen kommt es zu Veränderungen in der Dichte der heimischen Arten. Das wiederum zieht Strukturveränderungen im Ökosystem nach sich. So werden Populationen der endemischen Weihnachtsinsel-Krabbe nahezu ausgelöscht. Da die Krabben Pflanzenfresser sind, hat die Abnahme ihrer Populationsdichte auch Folgen für die Regenwaldstruktur. Die Artzusammensetzung und der Baumbestand verändern sich. Die Kraut- und Strauchschicht ist dichter. Auch die Populationsdichten der Vögel nehmen in Gegenwart der Gelben Spinnerameisen ab. Die Sekrete der Schildläuse sind nicht nur Ameisennahrung, sondern schädigen auch die Pflanzen. Das bestehende ökologische Gleichgewicht in der vorhandenen Lebensgemeinschaft wird durch das Neozoon gravierend verändert.

Metapopulationen (Seite 22)

- **1** Eine Population ist eine Gruppe von Individuen einer Art in einem Lebensraum, die sich prinzipiell alle miteinander fortpflanzen könnten (Panmixie). Eine Metapopulation besteht aus verschiedenen großen, verschiedenen stabilen Teilpopulationen, in denen jeweils Panmixie vorliegt, zwischen den Teilpopulationen liegen jedoch unterschiedliche Intensitäten der Migration vor. Das bedeutet, dass Panmixie nur eingeschränkt gegeben ist. Die genetische Vielfalt ist in den Teilen einer Metapopulation meist sehr unterschiedlich.
- **2** Die Migration führt dazu, dass Biotope, in denen die Teilpopulation ausgestorben ist, durch Migration immer wieder besiedelt werden können. Außerdem verhindert die Migration die Entstehung von Populationen mit extrem geringer genetischer Varianz, die aufgrund geringer Anpassungsfähigkeit an sich verändernde ökologische Bedingungen mit größerer Wahrscheinlichkeit aussterben.
- **3** Wenn die sehr kleinen Gartenteiche für eine langfristige Besiedlung durch Frösche ungeeignet sind, so können sie als Trittsteinbiotope dennoch dazu beitragen, dass besser geeignete Biotope durch Migration neu besiedelt werden können bzw. sich deren genetische Varianz erhöht.

Kojote und Beifußhuhn in der Prärie (Seite 23)

- **1** individuelle Lösung. Beispiele möglicher Nahrungsketten:
 Steppen-Beifuß → Beifußhuhn → Rotfuchs (oder Silberdachs oder Ziesel) → Kojote
 Steppen-Beifuß → Beifußhuhn → Kojote
- **2** Im Habitat der Beifußhühner gibt es verschiedene Räuber, die sich von unterschiedlicher oder teils gleicher Beute ernähren. Solche Räuber-Beute-Beziehungen sind:
 Steinadler — Ziesel, Steinadler — Beifußhuhn, Steinadler — Präriehase
 Kojote — Präriehase, Kojote — Ziesel, Kojote — Beifußhuhn, Kojote — Silberdachs,
 Kojote — Rotfuchs
 Präriehase — Krautige Pflanzen, Präriehase — Steppen-Beifuß
 Beifußhuhn — Steppen-Beifuß

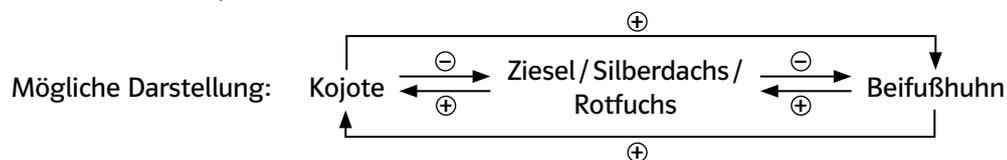
Wenn Tiere die gleiche Beute fressen, konkurrieren sie um die Nahrung. Solche Konkurrenzbeziehungen sind:

Präriehase — Beifußhuhn: Nahrungskonkurrenz um Steppen-Beifuß und andere krautige Pflanzen

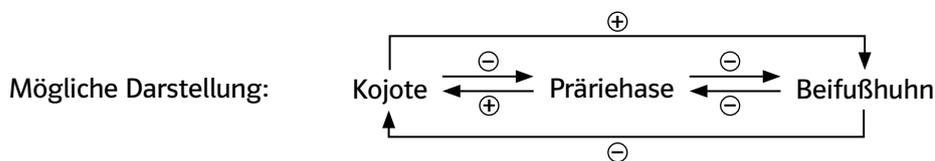
Steinadler — Kojote: Nahrungskonkurrenz um Präriehase, Beifußhuhn, Ziesel

● 3 individuelle Lösung. Beispiele:

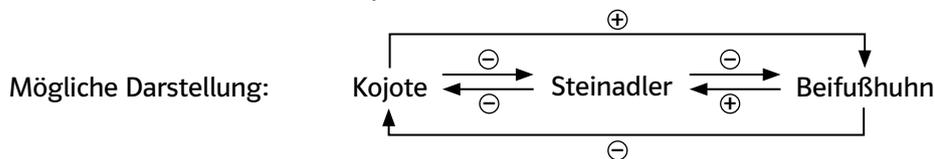
- Wenn der Kojote bejagt wird, wird die Population der Beifußhühner durch ihn als direktem Räuber weniger dezimiert. Diese Dezimierung ist aber nur geringfügig, da Vögel nur einen kleinen Teil (<10%) des Beutespektrums der Kojoten ausmachen.
- Wenn die Anzahl der Kojoten durch die Bejagung sinkt, entfällt sein Räuberdruck auf die Nesträuber Ziesel, Silberdachs und Rotfuchs, die die Eier und Jungtiere des Beifußhuhns fressen. Folglich würde die Anzahl dieser Räuber zunehmen, was wiederum zu einer verstärkten Reduzierung der Anzahl der Beifußhühner führen würde. Indirekt schützt der Kojote durch seine Räuberfunktion die Existenz der Beifußhühner.



- Wird die Populationsdichte der Kojoten durch Bejagung verringert, entfällt ein wichtiger Fressfeind der Präriehasenpopulation, weil Hasen zur Hauptbeute der Kojoten zählen. Folglich wird die Populationsdichte der Präriehasen zunehmen. Diese Hasen stehen mit den Beifußhühnern in Konkurrenz um ihre Nahrung Steppen-Beifuß. Durch die verschlechterten Nahrungsbedingungen werden die Beifußhühner in Folge in ihrer Populationsdichte abnehmen. Indirekt schützt der Kojote durch das Erbeuten der Hasen den Bestand der Beifußhühner.



- Nimmt die Populationsdichte der Hasen zu, weil der Kojote als wichtiger Räuber entfällt, dann wird mehr Nahrung für den Nahrungskonkurrenten des Kojoten, den Steinadler, zur Verfügung stehen. Folglich können sich die Steinadler besser vermehren, ihre Populationsdichte nimmt zu. Dann werden sie nicht nur vermehrt Hasen, sondern auch Beifußhühner erbeuten. Dadurch wird die Populationsdichte der Beifußhühner dezimiert. Auch in diesem Aspekt beeinflusst der Kojote indirekt den Bestand der Beifußhühner positiv.



Die Bejagung der Kojoten zum Schutz der Beifußhühner hätte wahrscheinlich aus den genannten Gründen den gegenteiligen Effekt. Durch die Entfernung eines konkurrierenden Endkonsumenten aus dem bestehenden Nahrungsnetz können die beschriebenen nachteiligen Folgen entstehen.

Chemische Schädlingsbekämpfung (Seite 24)

- **1** Regel 1: Die Größen der Beute- und der Räuberpopulation schwanken periodisch. Die Maxima und Minima der Räuberpopulation folgen phasenverzögert denen der Beutepopulation.
Regel 2: Die langfristigen Mittelwerte der Größe von Beute- und Räuberpopulation sind konstant.
Regel 3: Nach einer proportional gleichen Dezimierung der beiden Populationen erholt sich die Beutepopulation schneller als die Räuberpopulation.
- **2** Der Azodrin-Einsatz führt kurzfristig zu einer Reduktion der Raupen. Bereits nach wenigen Wochen übertrifft die Anzahl der geschädigten Kapseln nach der Giftnwendung den Wert für das unbehandelte Feld. Die Anzahl der Larven ist höher, die der natürlichen Feinde der Larven dagegen geringer. Allerdings vergrößert sich auch auf der unbehandelten Kontrollfläche die Anzahl der Schädlinge und die Anzahl der Larvenfeinde nimmt ab. (*Anmerkung*: Möglicherweise waren die Kontrollflächen nicht weit genug von der Fläche mit dem Pestizideinsatz entfernt.)
- **3** Nach der dritten Lotka-Volterra-Regel erholt sich eine Beutepopulation schneller von einer katastrophalen Reduktion als die Räuberpopulation. Ursache dafür ist die höhere Reproduktionsrate bei den Beutetieren und eine schnellere Generationenfolge durch frühe Geschlechtsreife der Nachkommen. Außerdem ist nach einer Katastrophe die Ernährungsgrundlage für die Beute dank der geringen Konkurrenz in der Regel gut, für die Räuber jedoch schlecht, wenn keine andere Beute verfügbar ist. Der Fehlschlag beim Azodrin-Einsatz beruht vermutlich auf dieser Gesetzmäßigkeit, die in Abbildung 4 exemplarisch dargestellt ist. So kann erklärt werden, dass die Anzahl der Beutetiere nach dem Pestizideinsatz rasant ansteigt, die der Feinde jedoch nicht.

Der Buchsbaumzünsler — ein invasives Neozoon (Seite 25)

- **1** Die Buchsbaumzünsler sind poikilotherme Tiere, ihre Körpertemperatur ist von der Umgebungstemperatur abhängig. Die Geschwindigkeit der Raupenentwicklung ist temperaturabhängig. Bei Temperaturen von 7°C dauert die Raupenentwicklung 10 Wochen, bei 30°C nur 3 Wochen. Die bei der Entwicklung beteiligten Stoffwechselprozesse sind chemische Reaktionen. Alle chemischen Reaktionen laufen entsprechend der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel ab. Diese besagt, dass die Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Reaktionen bei einer Temperaturerhöhung um 10°C ungefähr verdoppelt bis verdreifacht wird. Daher ist die Raupenentwicklung bei höheren Temperaturen schneller vollendet.
- **2** Das jahreszeitliche Vorkommen des Buchsbaumzünslers wurde mit Fallen mit spezifischen Sexuallockstoffen der Weibchen untersucht. Mit den Sexualduftstoffen wurden die Männchen angelockt und in den Fallen gesammelt. Von der Anzahl der Männchen kann man auf die Gesamtgröße der Population schließen. Ebenso kann man auf die Anzahl der Weibchen rückschließen, wenn man von einer Geschlechterverteilung von 1:1 ausgeht. Die Schmetterlinge kommen in drei Generationen pro Jahr vor. Die Frühjahrsgeneration ist hauptsächlich für 3 Wochen vom 27. Mai bis zum 17. Juni zu finden. Die Sommergeneration ist für 7 Wochen vom 8. Juli bis zum 2. September zu fangen. Die Herbstgeneration tritt ungefähr vom 9. September bis zum 7. Oktober für insgesamt 4 Wochen auf. Die Gesamtzahl der Fänge, und damit auch die der vorhandenen Falter, steigt von Generation zu Generation. In jeder Generation sind zu Beginn und am Ende des Zeitraums relativ wenige Exemplare zu registrieren, in der Hauptflugzeit dagegen viele, z. B. am 3. Juni, 5. August, 18. September.

Das begrenzte Auftreten der Faltergeneration ist mit der kurzen Lebensdauer der adulten Tiere zu erklären. Die geringe Falteranzahl in der Frühjahrs- generation ist auf die hohe Sterblichkeit der überwinterten Raupen oder der Puppen bei kalten Temperaturen zurückzuführen. Die steigenden Fangzahlen in den beiden folgenden Generationen sind durch die hohe Vermehrungsrate (150 Eier pro Weibchen) und die günstigen Witterungsbedingungen zu begründen.

Die Falterweibchen wählen nur Buchsbäume zur Eiablage. Bei der Wahl zwischen verschiedenen Buchsbaumvarietäten zeigt sich, dass alle Varietäten belegt werden, der Großblättrige und der Gelbbunte Buchsbaum werden etwas bevorzugt. Die Raupen, die aus den Eiern auf diesen Buchsbaumvarietäten geschlüpft sind, wachsen alle gleichermaßen gut. Hier gibt es keine Bevorzugung. Die Raupen der Buchsbaumzünsler fressen die Blätter dieser Buchsbaumvarietäten. (Sie sind also monophag.) Entsprechend dieses Nahrungsbedarfs legt das Falterweibchen seine Eier an entsprechenden Futterpflanzen ab.

- **3** Einerseits werden für die Verbreitung Transporte infizierter Pflanzen eine wichtige Rolle spielen. Andererseits treffen die Falter in den gemäßigten Zonen Europas gute Vermehrungsbedingungen an:
 - milde Überwinterungstemperaturen und nicht zu hohe Sommertemperaturen,
 - hohes Nahrungsangebot an Buchsbäumen in Gärten und Parks bei monophager Ernährungsweise,
 - fehlende heimische Fressfeinde (Parasitoide, Asiatische Hornisse).

(*Hinweis:* Diese uneingeschränkte Vermehrungsrate kann modellhaft hochgerechnet werden. Ausgehend von 10 eierlegenden Weibchen der Frühjahrs- generation kann man — das Geschlechterverhältnis 1:1 voraussetzend — bei natürlicher Sterblichkeit eine Nachkommenzahl von ca. 112 000 Tieren in der Herbstgeneration erwarten.)

Der Buchsbaumzünsler als ursprünglich gebietsfremde Art ist ein invasives Neozoon. Er dezimiert den Buchsbaum als heimische Pflanzenart extrem und gefährdet damit das vorhandene Ökosystem.

Eingeschleppte Krebse in Berlin (Seite 26)

- **1** Die Eigenschaften des Roten Amerikanischen Sumpfkreb- ses, die seine Ausbreitung in Deutschland begünstigen, sind:
 - Langlebigkeit,
 - hohe Vermehrungsrate,
 - Besiedlung stehender oder langsam fließender Gewässer mit geeigneten Uferbereichen,
 - Anpasstheit an warmes Wasser im Bereich von ca. 21–27°C (Entwicklungs- optimum),
 - Anspruchslosigkeit bezüglich der Wasserqualität,
 - Anspruchslosigkeit bezüglich der Nahrung (Allesfresser mit einem breiten Nahrungs- spektrum),
 - Nachtaktivität,
 - große Wanderungsgeschwindigkeit,
 - geringer Feinddruck (geringe Anzahl von Fressfeinden)

- **2** Ein Neozoon ist dann problematisch, wenn es durch seine Anzahl und seine weite Verbreitung einen negativen Einfluss auf ein Ökosystem hat, wenn seine Wirkung auf die Biozönose nachteilig ist oder wirtschaftliche und gesundheitliche Schäden zu erwarten sind.

Die negative Wirkung des Roten Amerikanischen Sumpfkrebse auf einen See oder Bach in seinem Einwanderungsgebiet ist gravierend: Als r-Strategie verfügt er bei milden Temperaturen über eine sehr hohe Vermehrungsrate, oft mit zwei Generationen pro Jahr. Als Allesfresser ist er nicht auf bestimmte Nahrung spezialisiert. Er stellt keine Ansprüche an die Wasserqualität, ist in diesem Sinne euryök. Durch seine Anspruchslosigkeit kann er sich gut ausbreiten. Weil der Krebs viel Pflanzenmaterial an den Ufern wegfrisst, Wohnröhren gräbt und in großer Dichte vorkommt, verändert er den dortigen Lebensraum. Er bedroht die Existenz heimischer Arten. Entweder werden dort lebende Tiere verdrängt, oder sie werden gefressen (z. B. Kaulquappen, Abb. 2). Es kommt zu einer Dezimierung der heimischen Arten.

In Portugal verschwanden in einem Untersuchungsgebiet 7 von 13 Amphibienarten, 4 weitere Arten wurden zahlenmäßig deutlich dezimiert (Abb. 1). Die vorherrschende Biodiversität nimmt demnach ab. Die Krebse können aufgrund ihrer großen Wandergeschwindigkeit schnell weite Strecken zurücklegen, sich auf diese Weise in kurzer Zeit weit ausbreiten, neue Gebiete besiedeln und dort ähnliche Schäden anrichten. Ihre Vermehrung kann normalerweise nicht eingedämmt werden, weil im neu eroberten Gebiet nicht ausreichend natürliche Räuber existieren (Füchse, Waschbären). Der Rote Amerikanische Sumpfkrebs kann Überträger der Krebspest (Pilzkrankheit, Abb. 2) sein. (*Anmerkung:* Die Krebspest verläuft beim Roten Amerikanischen Sumpfkrebs harmlos, aber andere Krebse sterben daran, wodurch ganze Populationen ausgelöscht werden.)

- **3** Generell sollte versucht werden, eine weitere Verbreitung von Roten Amerikanischen Sumpfkrebsen zu verhindern. Die biologische Bekämpfung durch neu eingesetzte Räuber, hier heimische Aale, ist sinnvoll, da dadurch frisch gehäutete Krebse während ihre Entwicklung dezimiert werden, auch wenn ein Ausrotten so wohl nicht gelingt. Das zusätzliche Fangen von Krebsen durch Fischer ist eine weitere Möglichkeit, das Populationswachstum einzudämmen. Allerdings ist die Fangerlaubnis für ein Jahr sicherlich zu kurz und sollte für weitere Jahre beantragt werden. Beide Maßnahmen sind vorteilhaft für das Ökosystem. Durch das Aussetzen von Aalen könnten möglicherweise auch andere Arten dezimiert werden als die Sumpfkrebse. Sollte der Fall eintreten, wäre es schwierig, die Aale wieder aus dem Ökosystem zu entfernen. (*Anmerkung:* Als nachteilig wäre z. B. der Einsatz von Giften anzusehen, die über die Nahrungsketten andere Tier, z. B. Vögel, schädigen könnten. Zusätzlich sollte die breite Öffentlichkeit über die Gefahren eines Aussetzens von gebietsfremden Arten aufgeklärt werden.)

Sukzession an einem Baumstumpf (Seite 27)

- **1** In den Abbauphasen (Abb. 1) ist eine zunehmende Holzersetzung durch Pilz- und Pflanzenbefall zu erkennen. Die dafür nötige Feuchtigkeit wird auch durch die Anwesenheit von Algen, Moosen und Flechten gesichert. Am Abbau des Baumstumpfes sind ebenfalls zu einem hohen Anteil kleine Tiere, am häufigsten Insekten beteiligt (Abb. 2). Die Besiedlung des Areals mit verschiedenen Insektenarten als heterotrophe Organismen ist je nach den vorliegenden abiotischen und biotischen Lebensbedingungen, dem Zustand der vorliegenden Nahrung etc. unterschiedlich. In den verschiedenen Phasen können sowohl Neuzuwanderer als auch

mehrere Generationen einer vorhandenen Art auf dem Substrat leben. In den Abbauphasen kommen immer die Ernährungstypen Holzfresser, Pilzfresser, Räuber, Aasfresser vor, ab Phase ③ zusätzlich Algen- und Detritusfresser. Die Artzusammensetzung bei den Insekten ist in den verschiedenen Abbauphasen unterschiedlich. Die Artenvielfalt nimmt von der Initialphase bis zur Phase ④ zu, dann ist aufgrund von fehlendem Holzstumpfmaterial eine Abnahme zu verzeichnen.

- 2 Da sich beim Abbau des Baumstumpfes die Umweltbedingungen in diesem Biotop ändern, ist die jeweilige Zusammensetzung der gefundenen Biozönosen unterschiedlich. Die verschiedenen Artzusammensetzungen sind von der Anpasstheit der einzelnen Arten abhängig, ob sie stenök oder euryök hinsichtlich der herrschenden Bedingungen sind, ob Räuber-Beute-Beziehungen oder Konkurrenzbeziehungen vorliegen.

In der Abbauphase ①, der Initialphase, sind fünf Tierarten anzutreffen, die in trophischer Abhängigkeit stehen und Nahrungsketten bilden, z.B.:

Baumstamm / Holz (P) — Großer Waldgärtner (K I) — Ameisenbunkäfer (K II) oder
 Baumstamm / Holz (P) — Borkenkäferlarve (K I) — Rindenglanzkäfer (D) oder
 Baumstamm / Holz (P) — Pilz (D) — Werftkäfer (K I) — Ameisenbunkäfer (K II)
 (*Hinweis:* Produzent (P), Konsument 1. Ordnung (K I), Konsument 2. Ordnung (K II),
 Konsument 3. Ordnung (K III), Destruent (D))

In der Abbauphase ④ besteht die Biozönose aus elf Arten. Dadurch entsteht ein komplexes Nahrungsnetz aus diversen Nahrungsketten, z.B.:

Baumstamm / Holz (P) — Grubenhalsbock (K I) — Gelbrandiger Schnellkäfer (K II)
 Algen (P) — Glatte Achatschnecke (K I) — Schauffelläufer (K II)
 Baumstamm / Holz (P) — Springschwanz (K I) — Hundertfüßer (K II) — Goldglänzender Laufkäfer (K III)
 Baumstamm / Holz (P) — Springschwanz (K I) — Gelbrandiger Schnellkäfer (K II)
 Baumstamm / Holz (P) — Pilz (D) — Pilzmücke (K I) — Hundertfüßer (K II) — Goldglänzender Laufkäfer (K III)

Die verschiedenen Phasen während des Abbaus eines Baumstumpfes stellen eine Sukzession dar. Es liegt eine zeitliche Abfolge verschiedener Biozönosen vor. Allerdings gibt es keine Klimaxgesellschaft, weil es sich hier um eine Verbrauchssukzession (heterotrophe Sukzession) handelt.

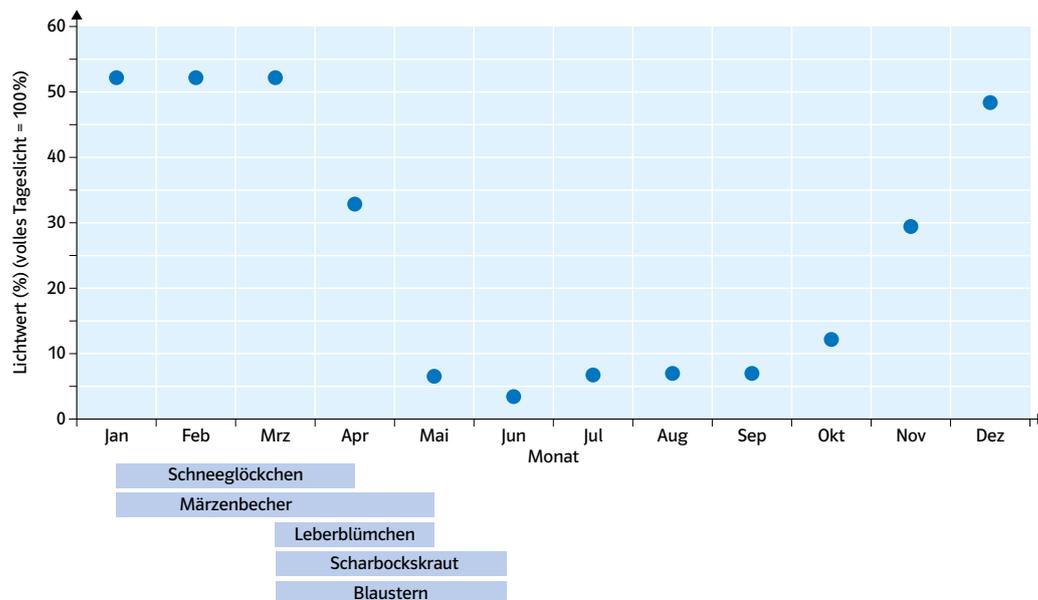
- 3 Die unterschiedlichen Abbaugeschwindigkeiten sind von den abiotischen Faktoren in der Umgebung abhängig: Feuchte und Temperatur. Der hohe Feuchtigkeitsbedarf der Pilze ist für ihre Entwicklung und den Abbau des Substrats wichtig. Die Insektenlarven sind ebenfalls von einer angemessenen Umgebungsfeuchte abhängig, weil sie kaum Verdunstungsschutz aufweisen. Erhöhte Temperaturen bewirken eine Beschleunigung der Stoffwechselprozesse und folglich beeinflussen sie auch die Dauer der Larvalentwicklung der Insekten (RGT-Regel). Bei ausreichender Feuchtigkeit gilt im physiologischen Temperaturtoleranzbereich: Je wärmer die Umgebung, desto schneller der Stoffabbau durch die beteiligten Insekten.

Pilze im Ökosystem Wald (Seite 28)

- 1 Autotrophe Kiefern sämlinge wachsen schneller, wenn eine Mykorrhiza mit einem heterotrophen Pilz besteht (Abb. 3). Bei der Mykorrhiza liegt eine Symbiose vor. Anstelle der Wurzelhaare der Pflanze bilden die Pilzhypfen eine große Oberfläche zum Boden, über die Wasser und viele Mineralstoffe aufgenommen werden können. Der Pilz stellt diese auch für die Pflanze bereit. Der enge Kontakt der Hyphen zu Wurzelgewebe der Pflanze legt den Schluss nahe, dass ein Teil der Fotosyntheseprodukte, die der Baum in die Wurzel leitet, dort von Pilzhypfen entnommen wird.
- 2 Die Kohlenstoffdioxid-Produktion ist ein Maß für Geschwindigkeit des Biomasseabbaus. Sowohl das Bakteriengift Streptomycin als auch das Pilzgift Acitidion senkt die Kohlenstoffdioxid-Freisetzung. In der Vergleichsprobe sind also Pilze und Bakterien am Biomasseabbau beteiligt. Das Abtöten der Pilze führt zu einer Reduktion der Kohlenstoffdioxid-Freisetzung auf etwa die Hälfte, das Abtöten der Bakterien nur zu einem Rückgang um ca. 20%. Die Bakterien und Pilze fördern indirekt das Pflanzenwachstum, indem sie beim Biomasseabbau Mineralstoffe und Kohlenstoffdioxid freisetzen.
- 3 Die Pilzmyzelien wachsen am schnellsten bei einem pH-Wert von 6, wobei *R. roseolus* mehr als doppelt so viel Zuwachs aufweist wie *P. tinctorius*. Bei geringeren pH-Werten wachsen die Myzelien deutlich weniger. Damit entwickelt sich die Mykorrhiza langsamer bzw. nur unvollständig. Das Wachstum der Bäume kann durch ein geringeres Mineralstoffangebot bzw. durch Wassermangel eingeschränkt sein. Der Wald wird also bei saurem Boden leichter durch Trockenperioden geschädigt.

Konkurrenz bei Waldpflanzen (Seite 29)

- 1 und 2



- 3 Kleine Pflanzen am Boden des Waldes stehen mit den größeren Bäumen in Konkurrenz, unter anderem um das Sonnenlicht. Dies ist ein Beispiel für interspezifische Konkurrenz, denn hier stehen Individuen in Konkurrenz zueinander, die zu unterschiedlichen Arten gehören. Stehen zwei Individuen der gleichen Art miteinander in Konkurrenz um Licht, beispielsweise Schneeglöckchen, ist das ein Beispiel für intraspezifische Konkurrenz.

- **4** Das Konkurrenzausschlussprinzip beschreibt, dass verschiedene Arten mit denselben Ansprüchen an knappe Ressourcen nicht langfristig nebeneinander existieren können. Die konkurrenzschwächere Art würde irgendwann verdrängt. Wenn durch die großen Bäume der Waldboden im Sommer stark beschattet wird, gelangt zu den kleineren Pflanzen am Boden nur wenig Sonnenlicht. Bodennahe Pflanzen mit einem hohen Bedarf an Sonnenlicht können sich der Beschattung durch die Bäume aber nicht erwehren. Hier greift das Konkurrenzvermeidungsprinzip. Die energieaufwendige Fortpflanzung der Frühblüher erfolgt, noch bevor das Blätterdach der Bäume zu dicht wird.
- **5** Auch viele Frühblüher sind auf Bestäuber angewiesen. Dabei handelt es sich überwiegend um Insekten. Insekten überwintern in unseren Breiten meist zurückgezogen und stehen im Dezember nicht als Bestäuber zur Verfügung. Außerdem sind die abiotischen Wachstumsbedingungen ungünstig (Wassermangel durch Eisbildung, Gefahr der Gewebezersetzung durch Frost, zu niedrige Temperaturen für hinreichend schnellen Stoffwechsel).

Der tropische Regenwald im Amazonasgebiet (Seite 30)

- **1** Die Luftfeuchtigkeit beträgt ganztägig nahezu 100 % und die Temperatur ist fast konstant 24 °C. Es ist praktisch windstill. In warm-feuchter Umgebung finden Destruenten bei gleichbleibend hohem Angebot an Biomasse ideale Lebensbedingungen vor. Es findet also im bzw. am Boden eine schnelle Zersetzung des Detritus statt.
- **2** Der dichte Bewuchs und die regelmäßigen Niederschläge führen in Bodennähe zu gleichbleibend feucht-warmen Bedingungen. In über 40 m Höhe befinden sich die Baumkronen der Urwaldriesen, die keine geschlossene Kronsicht bilden. Dadurch herrscht bodennah ein feuchtes Klima ohne nennenswerte Schwankungen. In der Schicht der Baumkronen werden höhere Windgeschwindigkeiten erreicht. Am Tag führt die Sonneneinstrahlung zu einem starken Anstieg der Temperatur und damit verbunden zu einem Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit. Nachts sinkt in den oberen Schichten die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit steigt auf 100 %.
- **3** In bodennahen Schichten ist die Windgeschwindigkeit so gering, dass Pollen wenig verbreitet würde. In den oberen Schichten sind die Pflanzen einer Art so weit verteilt, dass nur selten Pollen bei arteigenen Blüten ankommen würde. Tiere als Bestäuber sind besonders dann effektiv, wenn sie auf eine oder wenige Pflanzenarten spezialisiert sind. Dann findet häufig die Übertragung von Pollen der gleichen Art statt und die Bestäuber können durch Anpassungen an die Blütenform besonders effektiv Nahrung aufnehmen.

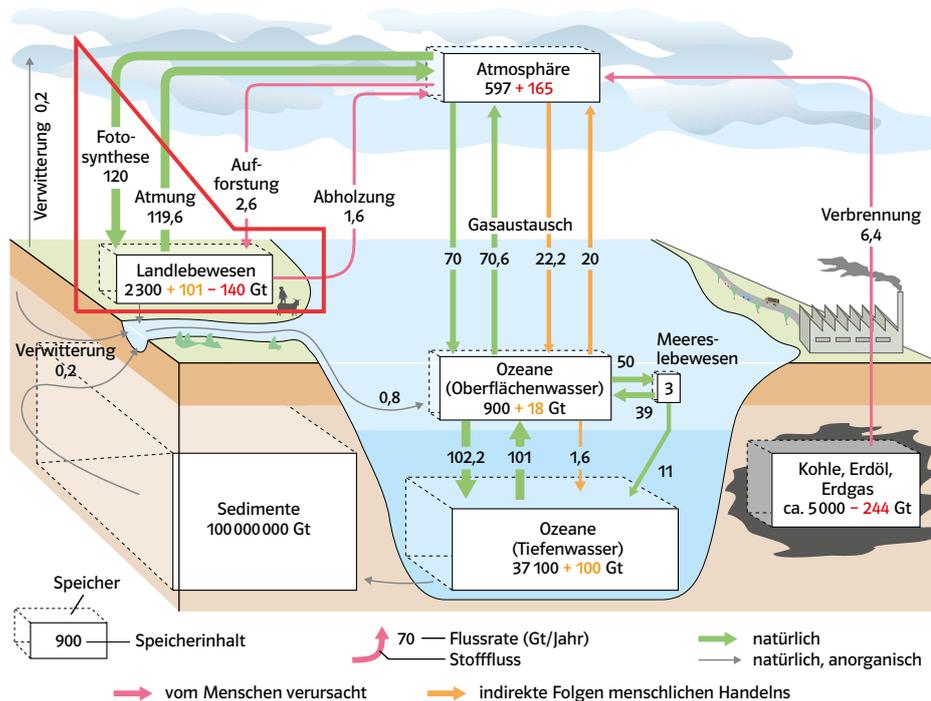
Termiten – Lebewesen mit einer Schlüsselrolle (Seite 31)

- **1** Der oberirdische Teil des Termitenbaus ist von einer harten, schützenden Hülle umgeben. Darin befinden sich Luftschächte, die durch eine Zirkulation im Gasaustausch mit der Umgebung stehen. Aus dem Stoffwechsel im Hügel frei werdendes Kohlenstoffdioxid wird abgegeben und Sauerstoff aufgenommen. Holzstückchen werden durch Versorgungsgänge eingetragen und gefressen bzw. für die Versorgung der Pilze in den Pilzkammern verwendet. Die Pilze dienen als Nahrung. Die Kammer für das Königspaar dient der Fortpflanzung der Termiten und damit dem Fortbestand des Termitenvolkes.
- **2** Im Hügel wie im Darm herrschen warm-feuchte Bedingungen, die ideal für den abbauenden Stoffwechsel durch die Destruenten im Hügel bzw. im Darm sind.

- 3 Das trocken-heiße Klima in der Savanne bietet aufgrund des Wassermangels keine guten Bedingungen für das Leben von Bakterien, Einzellern und Pilzen im Boden. Sich ansammelnde Biomasse enthält Mineralstoffe, wie Nitrate und Phosphate, die für das Pflanzenwachstum in der Regenzeit unverzichtbar sind. Ohne die Termiten wäre der Abbau von pflanzlicher Biomasse nicht hinreichend möglich. Längerfristig würde das Pflanzenwachstum zum Erliegen kommen. Damit könnten auch Pflanzenfresser und schließlich auch Beutegreifer nicht mehr in der Savanne existieren. Die Termiten schließen Stoffkreisläufe für Mineralstoffe. Damit haben sie eine Schlüsselfunktion für die Lebensgemeinschaft in der Savanne.

Kreislauf und Fluss (Seite 32)

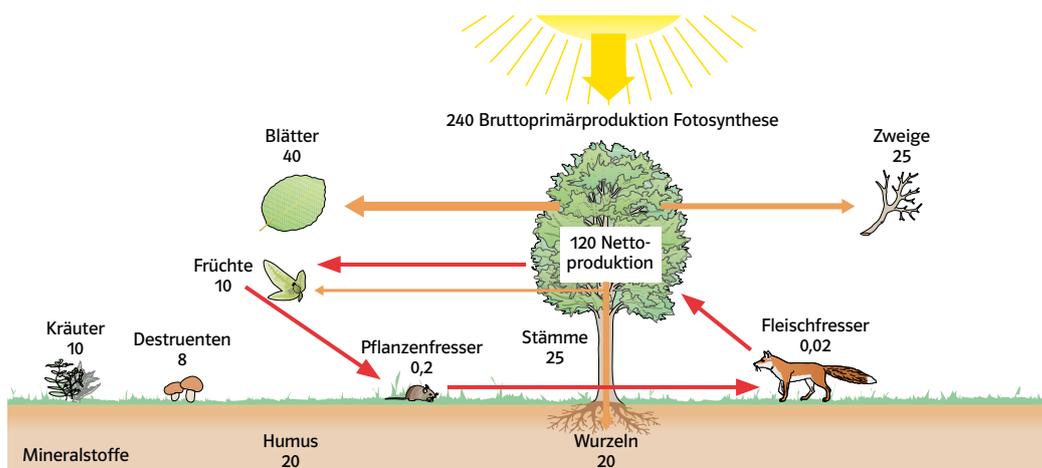
1



- 2 Kohlenstoffatome entstehen auf der Erde nicht neu und es gelangen auch keine aus dem Weltall auf die Erde. Die Kohlenstoffatome bewegen sich in einem Kreislauf. Dabei gehen sie mit unterschiedlichen anderen Atomen (meist andere Kohlenstoffatome, Sauerstoff-, Wasserstoff- oder Stickstoffatome) Bindungen ein. Sie verbleiben teilweise lange Zeiten in einem Speicher, beispielsweise als Kalkstein in Sediment oder Kohle, können von dort aus aber immer wieder in den Kreislauf zurückgelangen. Dadurch gelangen sie in einen anderen Speicher oder erneut in den gleichen.

Die Energie des Energieflusses hingegen gelangt durch die Sonneneinstrahlung auf die Erde. Sie wird zu einem kleinen Teil durch Produzenten chemisch gebunden, während der größte Teil als Wärme abgestrahlt wird. In Nahrungsketten nutzen die Konsumenten die chemisch gebundene Energie, indem sie Pflanzen oder Tiere konsumieren. Daraus aufgebaute Körpermasse wird später letztendlich durch Destruenten abgebaut. Konsumenten und Destruenten nutzen die chemisch gebundene Energie nicht nur zum Aufbau eigener Biomasse, sondern verwenden sie auch für alle Lebensvorgänge und strahlen sie als Wärme ab. Die abgestrahlte Wärme kann aber nicht wieder zur Sonne zurück gelangen oder von den Produzenten genutzt werden. Die Wärme gelangt ins Weltall und wird nicht wieder verwendet. Hier kann es sich folglich nicht um einen Kreislauf handeln.

- 3 individuelle Lösung, beispielsweise:



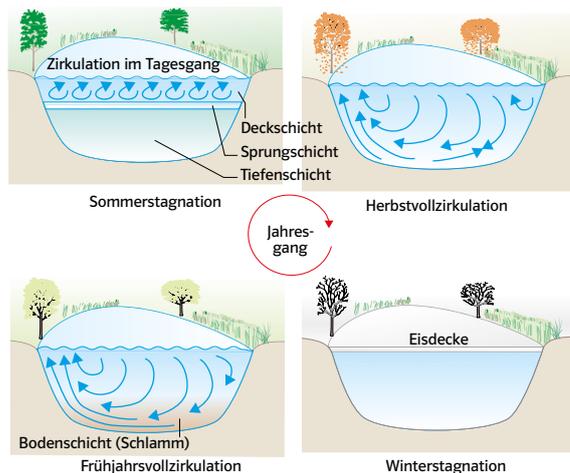
Schwefelpurpurbakterien im See (Seite 33)

- 1 Da Grünalgen für die Fotosynthese auf Licht angewiesen sind, können sie unter einem dichten Teppich von Wasserlinsen nicht existieren, sondern nur im Freiwasser. Wellenlängen, die das Schwefelpurpurbakterium nutzt, durchdringen offenbar den Wasserlinsenteppich, sodass *Chromatium* auch dort leben kann.
- 2 Es handelt sich um die Sommerstagnation mit anaeroben Bedingungen in großer Wassertiefe aufgrund des Sauerstoffbedarfs der Destruenten und hohem Sauerstoffangebot sowie hoher Temperatur in geringer Wassertiefe aufgrund von Wärme und viel Licht für Fotosynthese betreibende Wasserpflanzen und Grünalgen.
- 3 *Chromatium* benötigt einerseits Schwefelwasserstoff und andererseits Licht für die Fotosynthese. Abbildung 5 zeigt, dass Schwefelwasserstoff ab einer Tiefe von ca. 13 m verfügbar ist, in größeren Tiefen jedoch mehr. Allerdings nimmt mit zunehmender Tiefe das Lichtangebot ab. Die Abbildungen 3–5 zeigen, dass sich Wassermassen verschiedener Tiefe im Sommer nicht mischen. Die meisten Schwefelpurpurbakterien findet man in einer Tiefe von 13–15 m, in der das Optimum der Versorgung unter den vorhandenen Bedingungen vorliegt. In etwas größerer Tiefe kommen sie auch vor, evtl. weil manche Individuen abgesunken sind oder weil ein geringes Restlicht vorhanden ist. Die geringe Wassertemperatur stellt für *Chromatium* scheinbar kein Problem dar.

Jahreszeitliche Phasen im See (Seite 34)

- 1 Im Sommer ist lediglich das Wasser in der Deckschicht warm. In der Sprungschicht fällt die Temperatur rapide ab und in der Tiefschicht eines hinlänglich tiefen Sees beträgt sie nur ca. 4 °C. Bei einem längeren Aufenthalt zur Probenentnahme in Wasser mit so niedrigen Temperaturen sind Kälteschutzmaßnahmen notwendig, um nicht auszukühlen.

2



- 3 Im Frühjahr und im Herbst ist der Sauerstoffgehalt in allen Tiefen des Sees gleich, da das Wasser durch die Vollzirkulation vollständig durchmischt wird.

Im Winter ist die Temperatur an der Wasseroberfläche am niedrigsten. Die Wassertemperatur nimmt mit der Tiefe zu. Eine Durchmischung findet nicht statt. In der Tiefe wird Sauerstoff von heterotrophen Organismen aufgenommen, aber kein weiterer gelangt dorthin. Daher ist der Sauerstoffgehalt hier niedriger als an der Oberfläche.

Der See im Sommer ist gekennzeichnet durch eine deutliche Sprungschicht. Oberhalb dominiert die Sauerstofffreisetzung durch Fotosynthese bei gleichzeitig hohen Temperaturen. Ein Teil der hier produzierten Biomasse sinkt in tiefere Schichten ab. Dort dominiert der Biomasseabbau, verbunden mit Sauerstoffzehrung.

- 4 Bleibt die Herbstzirkulation nach der Sommerstagnation aus, erfolgt keine Durchmischung der Wasserschichten. In der Nährschicht würde durch Mineralstoffmangel die Produktion von Biomasse durch Fotosynthese sinken.

Abgestorbene Tier und Pflanzen sinken in die Zehrschicht und werden zersetzt. Die Mineralstoffe werden durch die Destruenten freigesetzt. In der Zehrschicht ist allerdings der Sauerstoffgehalt sehr gering, sodass anaerob lebende Mikroorganismen dominieren, die teilweise giftigen Schwefelwasserstoff freisetzen. Größere Tiere, wie Fische, können hier nicht existieren. Die frei gewordenen Mineralstoffe gelangen nicht wieder in höhere Schichten, wo sie das Pflanzenwachstum anregen könnten. In der Tiefe können die Mineralien von Pflanzen nicht genutzt werden, da dort nicht genügend Licht ankommt, sodass die Pflanzen hier keine Fotosynthese betreiben und damit auch nicht wachsen könnten.

Der Große Quellsee Silver Springs in Florida (Seite 35)

- 1 Der Energiefluss im Ökosystem Silver Springs zeigt die indirekte Weitergabe von Energie in Form energetisch nutzbarer Stoffe in Nahrungsketten von Trophiestufe zu Trophiestufe. Diese Weitergabe entspricht einer „Einbahnstraße“. Die fixierte chemische Energie nimmt bis zum Endkonsumenten hin ab.

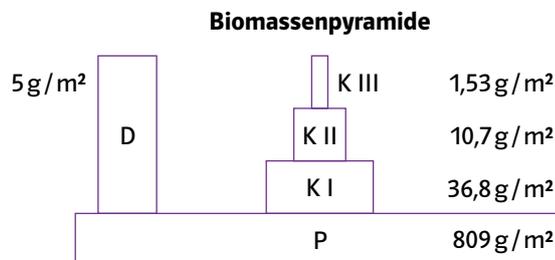
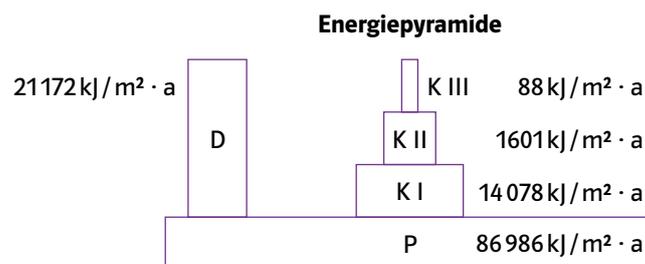
Die pflanzlichen Organismen absorbieren nur einen Teil der eingestrahlten Lichtenergie und bilden auf der Basis fotosynthetisch produzierter Glucose ihre Biomasse als Bruttoproduktion. Nach Abzug der im Rahmen des Stoffwechsels zur Aufrechterhaltung der Körperfunktionen abgegebenen thermischen Energie steht die Nettproduktion den

Konsumenten 1. Ordnung (K I) zur Verfügung. Allerdings wird diese Biomasse nicht vollständig von den Herbivoren verwertet, da abgestorbenes Material die Nahrung der Destruenten ist. Die Herbivoren bilden aus dem gefressenen Material neue, eigene Biomasse, ihre Bruttoproduktion. Ihre Nettoproduktion, die Differenz von Bruttoproduktion und der beim Energiestoffwechsel entstandenen thermischen Energie, steht den Konsumenten der nächsthöheren Trophiestufe zur Verfügung. Dabei muss auch hier berücksichtigt werden, dass totes Material entsteht und Exkrememente ausgeschieden werden. Die Weitergabe der verbliebenen Biomasse erfolgt nach dem gleichen Prinzip über die Konsumenten 2. Ordnung (K II) bis zu den Endkonsumenten, hier den Konsumenten 3. Ordnung (K III). Die Destruenten bauen das tote biologische Material ab und mineralisieren es.

- 2 Vergleicht man die eingestrahlte Sonnenenergie mit der Bruttoproduktion der Pflanzen (Bruttoprimärproduktion), stellt man fest, dass für ihre Bruttoproduktion nur 1,22 % der Einstrahlung genutzt wird. Die restliche Energie führt zur Erwärmung oder wird reflektiert.

Vergleicht man die Bruttoproduktionen zwischen den Mitgliedern der verschiedenen Trophiestufen, so ist festzustellen, dass von den Produzenten (P) zu den Konsumenten 1. Ordnung (K I) ca. 16 %, von den Konsumenten 1. Ordnung (K I) zu den Konsumenten 2. Ordnung (K II) ca. 11 %, von den Konsumenten 2. Ordnung (K II) zu den Konsumenten 3. Ordnung (K III) ca. 6 % von Biomasse als energiereiche Substanz weitergegeben und zum Stoffwechsel genutzt wird. Beim Durchlauf durch die Nahrungsketten sind von der ursprünglich hergestellten Biomasse der Produzenten insgesamt 76 % über thermische Energie an die Umgebung abgegeben worden. Die thermische Energie der Destruenten stellt die restlichen 24 % der ursprünglich durch die Bruttoproduktion fixierten Energie dar. Somit ist das gesamte fotosynthetisch hergestellte energiereiche Material im Energiestoffwechsel veratmet worden. Die durch die Produzenten fixierte Energie kann weder neu erschaffen noch zerstört werden bzw. verloren gehen. Also entspricht die von den Produzenten fixierte Energie ($86\,986\text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$) der Summe der von den einzelnen Mitgliedern des Ökosystems abgegebenen Teilbeträge für die abgegebene thermische Energie ($86\,986\text{ kJ/m}^2 \cdot \text{a}$).

- 3 Zwei mögliche Lösungen:



Seesanieung durch Biomanipulation (Seite 36)

- 1 Die beiden zu vergleichenden Nahrungsketten enthalten prinzipiell die gleichen Mitglieder, nur in unterschiedlicher Häufigkeit: Phytoplankton, kleines und großes Zooplankton und gegebenenfalls Fische. Das Phytoplankton ist Nahrungsquelle des Zooplanktons. Beim Zooplankton werden größere und kleinere Arten unterschieden. Die kleineren werden von zoophagen Vertretern des großen Zooplanktons gefressen. Die Vertreter des großen Zooplanktons, die sich vom Phytoplankton ernähren, werden dagegen häufig von Fischen gefressen.

See mit Plankton fressenden Fischen:

Das Phytoplankton wird vom Zooplankton dezimiert. Große Zooplanktonorganismen sind nur in geringer Dichte vorhanden, weil sich die Fische hauptsächlich von ihnen ernähren. Die kleineren Arten gehören nicht in das Beutespektrum der Fische. Daher ist die Populationsdichte der konkurrierenden kleinen Zooplanktonfresser größer. Diese kleineren Planktonorganismen sind in diesem Beispiel die Hauptkonsumenten des Phytoplanktons, dezimieren es aber nicht merklich.

See ohne Plankton fressende Fische:

In dieser Nahrungskette fehlt der Endkonsument, der das große Zooplankton fressende Fisch. Die großen Zooplanktonarten werden folglich nicht dezimiert. Sie sind nicht Beute, sondern die Endkonsumenten. Daher werden die Vertreter des Phytoplanktons vermehrt gefressen. Da auch der Hüpferling nicht mehr Beute von Fischen wird, wird durch sein Fressverhalten das Vorkommen der kleinen Zooplanktonfresser ebenfalls reduziert. Die Anzahl des Phytoplanktons wird deutlich geringer, weil die großen Zooplanktonfresser eine hohe Fressleistung zeigen.

- 2 In den Versuchsteichen wurden die Veränderungen der Populationsdichten von Phytoplankton und von kleinen und großen Zooplanktonorganismen bei An- bzw. Abwesenheit von Fischen (Planktonfresser) gemessen. Bei Abwesenheit der Fische kommen die Schwebekrebse deutlich häufiger vor, weil der Räuberdruck fehlt. Noch deutlicher wird das beim Auftreten von Wasserflöhen. Deren Nahrungserwerb führt dazu, dass die Dichte des Phytoplanktons abnimmt. Die Rädertierchen werden ohne Fische häufiger von den Hüpferlingen gefressen und dadurch dezimiert. Die Nahrungskonkurrenz durch die großen Zooplanktonarten spielt beim Rückgang dieser Arten in Abwesenheit der Fische ebenfalls eine Rolle. In Gegenwart der Fische sind Wasserflöhe als deren Hauptbeute nur sehr selten anzutreffen. Das hat eine erhöhte Populationsdichte des Phytoplanktons zur Folge. Die Zahl der Hüpferlinge bleibt in beiden Versuchsreihen nahezu konstant. Im Endeffekt wird die Menge des Phytoplanktons beim Fehlen der Fische durch die hohe Anzahl der großen Vertreter des großen Zooplanktons als Fressfeinde deutlich reduziert. (*Anmerkung:* Die Schwankungen der Kurven sind möglicherweise wetter- und klimabedingt. Die Änderungen der Phytoplanktondichten im Jahresverlauf können mit der Zellabnahme nach Algenblüten im Frühjahr und der Zellzunahme während der Algenblüte im Herbst zusammenhängen.)
- 3 Die Sichttiefe in einem See ist abhängig von der Menge des Phytoplanktons und der Schwebstoffe. Wenn die Sichttiefe im Sommer nur etwas mehr als einen Meter beträgt, liegt viel Phytoplankton, also eine Algenblüte vor. Um die Menge des Phytoplanktons zu verringern, wurden sämtliche Fische entfernt. Dadurch wurden die Fische als Konsumenten 2. Ordnung und ggf. 3. Ordnung aus der Nahrungskette entfernt. Es bestand nur noch die Räuber-Beute-Beziehung zwischen Phytoplankton und Zooplankton. Die Dichte des Phytoplanktons wurde durch das nicht dezimierte Zooplankton verringert. Das ist an der größeren Sichttiefe erkennbar. Da weitere Bedingungen im See nicht verändert wurden, könnte sich ein ökologisches Gleichgewicht zwischen Produzenten und Konsumenten 1. Ordnung langfristig einpendeln, was sich in den Folgejahren nach dem Eingriff andeutet.

- **4** Individuelle Lösung:
Mögliche Aspekte: Spezifische Fischgifte, Abfischen der Fische, Einsetzen einer hohen Anzahl von Raubfischen, Einsetzen weiterer heimischer Fressfeinde, z. B. Krebse als Brutfresser.

Untersuchung eines Fließgewässers (Seite 37)

- **1** Messstelle I liegt nahe an der Quelle, gibt also einen Eindruck von der Wasserqualität des Quellwassers. An der Messstelle II kann man einerseits die Qualität des Wassers aus mehreren Quellen gemittelt erfahren und außerdem durch den Vergleich mit den Werten von Messstelle III die Auswirkung von möglichen Einleitungen der Brauerei ermitteln. An Messstelle IV kann man herausbekommen, ob sich der Fluss von möglichen Schäden erholt hat und außerdem durch den Vergleich mit der folgenden Messstelle V die Auswirkungen der Kläranlage bestimmen. Messstelle VI liegt wiederum hinter einer potenziellen Quelle von Wasserverunreinigungen, der Anlage zur Aufbereitung von Klärschlamm.
- **2** Der Vergleich der Werte zu den Messstellen IV und V zeigt eine deutliche Zunahme der oxidierbaren organischen Stoffe und eine starke Trübung und Verfärbung. Auch der Rückgang des Sauerstoffgehaltes und der Geruch nach faulen Eiern (Schwefelwasserstoff) machen deutlich, dass von der Kläranlage Wasser eingeleitet wird, das nur unvollständig von organischen Stoffen gereinigt ist. Dabei wurde Phosphat frei und es entstand giftiger Schwefelwasserstoff in Bereichen mit sehr geringem Sauerstoffangebot. Das trübe Wasser enthält Mineralstoffe, die das Pflanzenwachstum fördern, sobald die Trübung nicht mehr für die Fotosynthese zu stark ist. Die biologische Klärung und das Absetzen des Schlammes müssten verbessert werden. Gegebenenfalls müsste neben der Anreicherung mit Luftsauerstoff durch Verwirbelung auch eine Fällung von Phosphat erwogen werden, wenn es wachstumsbegrenzend wirkt.
- **3** Der Vergleich der Messwerte an den Stellen III und IV zeigt eine deutliche Verbesserung der Gewässergüte an. Der Vergleich von Flusstiefe und -breite zeigt ebenso wie die Karte in Abbildung 1, dass Zuflüsse mit hoher Gewässergüte den Zustand durch Verdünnung verbessert haben. Der Rückgang der Trübung und der starke Rückgang der oxidierbaren organischen Stoffe zeigen, dass Biomasse abgebaut wurde. Dabei ist der Sauerstoffgehalt sogar gestiegen. Die Sauerstoffzufuhr kann sowohl durch Verwirbelungen des Wassers als auch durch Fotosynthese betreibende Pflanzen erfolgt sein. Das Pflanzenwachstum erklärt auch den Rückgang an Mineralstoffen im Wasser.

Medikamentenrückstände im Abwasser (Seite 38)

- **1** Dreistufige Kläranlage:
 - Die mechanische Reinigungsstufe umfasst die Rechenanlage, das Rückhaltebecken mit Sandfang und Fettabscheider, sowie das Vorklärbecken. Hier werden fast alle nicht löslichen Feststoffe entfernt.
 - In der biologischen Reinigungsstufe werden im Denitrifikationsbecken Nitrate anaerob von bestimmten Bakterien zu elementarem Stickstoff reduziert. Im Belebtschlammbecken werden die organischen gelösten Stoffe von anaeroben Mikroorganismen (Bakterien und Einzellern) oxidativ abgebaut.
 - In der chemischen Reinigungsstufe werden die Phosphate mit Fällungsmitteln ausgeflockt und können entsorgt werden.
Der Schlamm aus dem sich anschließenden Nachklärbecken sowie aus dem Vorklär-

becken der mechanischen Reinigungsstufe wird im Faulturm von anaeroben Bakterien in einem Ausfäulungsprozess weiter abgebaut. Die Produkte sind Methan und Kohlenstoffdioxid.

2 Oxacepam:

Das Beruhigungsmittel Oxacepam ruft bei den Flussbarschen ein verändertes Verhalten hervor. Die Versuche zeigen, dass bei steigenden Konzentrationen von Oxacepam im umgebenden Wasser die Aktivität der Tiere (Abb. 1 A), ihr Wagemut (B), z. B. sich in fremdes Areal zu begeben, und ihre Fressgeschwindigkeit (D) steigen. Gleichzeitig nimmt ihr Schwarm- und Jagdverhalten ab (C).

Ethinylestradiol:

Das Hormon Ethinylestradiol erzeugt bei Dickkopf-Elritzen, die ihr ganzes Leben lang dem Hormon ausgesetzt waren, eine verringerte Fortpflanzungsfähigkeit. Die Versuche zeigen, dass es bei steigenden Konzentrationen von Ethinylestradiol im umgebenden Wasser zu einer Abnahme der befruchteten Eier oder sogar zu einem Ausbleiben der Eiablage (Abb. 2 A) kommt. Auch nimmt die Anzahl der aufgefundenen Männchen deutlich ab, bei hohen Konzentrationen kommen gar keine Männchen vor (B). Die deutlichen sekundären Geschlechtsmerkmale sind bei höheren Hormonkonzentrationen weniger oder gar nicht zu finden (C). Das Hormon vermindert stärker bei Weibchen das Längenwachstum (D).

Diclofenac:

Das Schmerzmittel Diclofenac löst bei erwachsenen Regenbogenforellen Organschäden bei Leber, Nieren und Kiemen aus (Abb. 3). Bei steigenden Konzentrationen von Diclofenac im umgebenden Wasser zeigen diese Tiere in der Regel zunehmend Organschäden.

3 individuelle Lösung. Mögliche Beispiele:

- Flussbarsche, die Oxacepam aufgenommen haben, werden leichter Beute, weil sie durch ihr verändertes Verhalten vereinzelt anzutreffen sind. Dadurch wird die Population der Flussbarsche stärker verringert als in unbelasteten Gewässern.
(Hinweis: Außerdem fressen die Fische Wasserflöhe, die normalerweise das Phytoplankton vertilgen, sehr schnell. Durch eine starke Dezimierung des Zooplanktons könnte es folglich zu mehr Algenwachstum (Algenblüte) kommen.)
- Falls die Schülerinnen und Schüler Geschlechtsumbildungen bei Fischen kennen: Bei Dickkopf-Elritzen wird deutlich, dass der Anteil männlicher Tiere und die Ausprägung sekundärer männlicher Geschlechtsmerkmale bei Männchen mit steigender Hormonkonzentration zurückgehen. Die Erklärung ist, dass junge männliche Tiere mit einer Geschlechtsumbildung, einer Verweiblichung auf die Hormongaben von Ethinylestradiol reagieren. Bei hohen Hormonkonzentrationen kommen keine Männchen mehr vor. Bei geringeren Konzentrationen ist die Männchenanzahl reduziert, was zu einem geringeren Fortpflanzungserfolg der Weibchen in der betroffenen Population führen wird. Zusätzlich sind die Weibchen körperlich durch hohe Hormonkonzentrationen beeinträchtigt, ihre Eiproduktion, d.h. ihre Fertilität, sinkt. Aufgrund dieser Beeinträchtigungen wird es zu einer Verringerung der Populationsdichte, eventuell sogar zu einer Auslöschung der Population kommen.
- Regenbogenforellen, die durch Diclofenac Organschäden bekommen, werden langfristig Krankheitserscheinungen zeigen und eine kürzere Lebensdauer haben. Dadurch wird ihr Reproduktionserfolg und ihre Populationsdichte verringert. Das wird sich auf die Dichten der von ihnen abhängigen Räuber- und Beutepopulationen auswirken.

Fotosynthese in der Tiefsee? (Seite 39)

- 1 Dem Wirkungsspektrum der GSB1-Zellen liegen die Absorptionsspektren der beiden Fotosynthesepigmente zugrunde. Bacteriochlorophyll c zeigt zwei Absorptionsmaxima bei den Wellenlängen von ca. 400 nm und 750 nm. Chlorobacter besitzt ebenfalls ein Absorptionsmaximum im Wellenlängenbereich von 450 nm. Diese Wellenlängenbereiche sind auch im Spektrum des geothermischen „Lichts“ zu finden. Die beiden Sorten von Fotosynthesepigmenten können die Lichtwellen des geothermischen „Lichts“ erfolgreich absorbieren.
- 2 Die GSB1-Bakterien besitzen Chlorosomen, in denen sich die Fotosynthesepigmente Bacteriochlorophyll c und Chlorobacter befinden. Das Chlorobacter gehört zu den Carotinoiden, die die Aufgabe von Hilfspigmenten bzw. Antennenpigmenten haben. Das Bacteriochlorophyll c hat eine ähnliche Struktur wie Chlorophyll a und b mit einem lichtabsorbierenden Ring und einer langen Kohlenwasserstoffkette. In dem Lichtsammelkomplex wird die absorbierte Lichtenergie aus dem geothermischen „Licht“ von Chlorobacter über Bacteriochlorophyll an ein Reaktionszentrum weitergeleitet. Dort werden Elektronen in den angeregten Zustand versetzt. Dadurch werden die Schwefelwasserstoffmoleküle in Schwefelatome und Wasserstoffatome (Elektronen und Wasserstoff-Ionen) gespalten. Aus dem Kohlenstoffdioxid wird in weiteren Reaktionen Glucose aufgebaut. Auf diese Weise wird eine energiereiche Verbindung hergestellt. Das geothermische „Licht“ ist zwar sehr schwach, aber es reicht aus, dass die Fotosynthesepigmente der grünen Schwefelbakterien die Strahlung absorbieren und die Folgereaktionen ablaufen können. Auf diese Weise können die grünen Schwefelbakterien der Art GSB1, die auf die Fotosynthese angewiesen sind, in der dunklen Tiefsee überleben.
- 3 Mit dem Begriff „Fotosynthese“ werden üblicherweise bei grünen Pflanzen der Aufbau von Glucose mithilfe von Sonnenlicht und die gleichzeitige Bildung von Sauerstoff assoziiert. Nach der ursprünglichen Wortbedeutung ist die Fotosynthese (griech.: *phos* „Licht“ und griech.: *synthesis* „Zusammensetzung“) ein Vorgang, bei dem ein Stoff mithilfe von Licht hergestellt wird. Sonnenlicht erreicht zwar nicht den Boden der Tiefsee, aber das schwache geothermische „Licht“ des Black Smokers enthält auch Wellenlängen, die von den Fotosynthesepigmenten für eine Fotoreaktion absorbiert werden können. Das Substrat ist nicht wie bei Landpflanzen das Wasser, sondern Schwefelwasserstoff. Deshalb wird kein Sauerstoff gebildet, sondern Schwefel. Es wird allerdings wie bei der Fotosynthese in Pflanzen als ein Endprodukt die energetisch nutzbare organische Verbindung Glucose gebildet. Die GSB1-Zellen in der Tiefsee führen demnach eine Fotosynthese ohne Sonnenlicht, aber mit geothermischem „Licht“ durch.

Tracer verfolgen den Nahrungsweg (Seite 40)

- 1 In der Untersuchung wird die Radioaktivität der Tiere in Abhängigkeit von der Zeit nach der Markierung gemessen. Der Nachweis der Radioaktivität ist bei den Ameisen sofort nach der Markierung, bei den anderen Tieren frühestens nach drei Tagen möglich. Die Pflanzenfresser weisen in einem ähnlichen Zeitraum fast identische Radioaktivitätswerte auf (15. – 21. Tag: ca. 60 Impulse / min · mg Biomasse). Die Insektenfresser erreichen zu einem späteren Zeitpunkt höhere Radioaktivitätswerte (28. Tag: ca. 90 Impulse / min · mg Biomasse bei *Arenea*). Zum gleichen Zeitpunkt zeigt der Laufkäfer das Maximum seiner Radioaktivitätswerte (28. Tag: ca. 20 Impulse / min · mg Biomasse). Der Detritusfresser nimmt mit dem Pflanzenmaterial ebenfalls die radioaktiven Stoffe auf, zeigt allerdings eine geringere Intensität (Schnecke: 5 – ca. 20 Impulse / min · mg Biomasse). Im weiteren zeitlichen Verlauf sinken die Radioaktivitätswerte deutlich.

- **2** Durch die Markierung bestimmter Pflanzen mit dem Tracer ^{32}P konnten konkrete interspezifische Beziehungen im Ökosystem Grasland identifiziert werden. Die Tracer wurden in neue Biomasse eingebaut und in der Nahrungskette weitergegeben.

Die Pflanzenfresser konkurrierten um die Pflanzennahrung. Bei dem Ergebnis wird das Konkurrenzvermeidungsprinzip offensichtlich. Die Spezialisierung auf bestimmte Pflanzenteile, d.h. die Bevorzugung jüngster oder junger, kleiner oder älterer, großer Pflanzenteile entspricht unterschiedlichen ökologischen Nischen. Die Spinnen sind Insektenfresser, die in Räuber-Beute-Beziehungen zu den verschiedenen Insekten stehen. Die Laufkäfer in der Streuschicht sind ebenfalls Carnivore.

Die Schnecken sind Detritusfresser und fressen u.a. vermoderndes Pflanzenmaterial. Die Radioaktivitätswerte der Tiere zeigten, dass sie entweder direkt radioaktives Pflanzenmaterial aufgenommen hatten oder aber ein Tier gefressen hatten, das zuvor radioaktives Pflanzenmaterial gefressen hatte. Die Ameisen wurden als erste radioaktiv, weil sie junge Pflanzenteile fressen. Sie und die Grillen erreichten durch ihre Nahrungsaufnahme zeitgleich den ersten Hochpunkt der Radioaktivitätskurve. Die größeren Pflanzenfresser, die Heuschrecken, erreichten später den Hochpunkt ihrer Kurve. Die Radioaktivitätskurve der Räuber stieg stark, während die Kurven der Beutetiere wieder deutlich sanken. Das Maximum der Werte wurde für die Spinnen erst 28 Tage nach der Markierung der Pflanzen erreicht und lag höher als die Maximalwerte der Pflanzenfresser.

Damit wurde die Akkumulation des Tracers im Endkonsumenten dieses Nahrungsnetzes in der Kraut- und Blütenschicht trotz gleichzeitigen radioaktiven Zerfalls deutlich.

Die in der Streuschicht lebende Schnecke zeigte nur geringe Radioaktivitätswerte, was daran liegen kann, dass in der Untersuchungszeit nur wenig markierter Detritus angefallen war. Den ebenfalls in der Streuschicht lebenden Räubern, den Laufkäfern, standen auch die radioaktiv markierten Insekten oder Schnecken als Nahrung zur Verfügung. Sie zeigten auch die maximale Radioaktivität am 28. Tag nach der Markierung.

Alle Nahrungsketten beginnen mit dem gleichen autotrophen Produzenten.

Beispiele: Graspflanzen → Grille → Spinne,
Graspflanzen → Heuschrecke → Spinne,
Graspflanze → Grille → Laufkäfer,
Graspflanze → Schnecke → Laufkäfer.

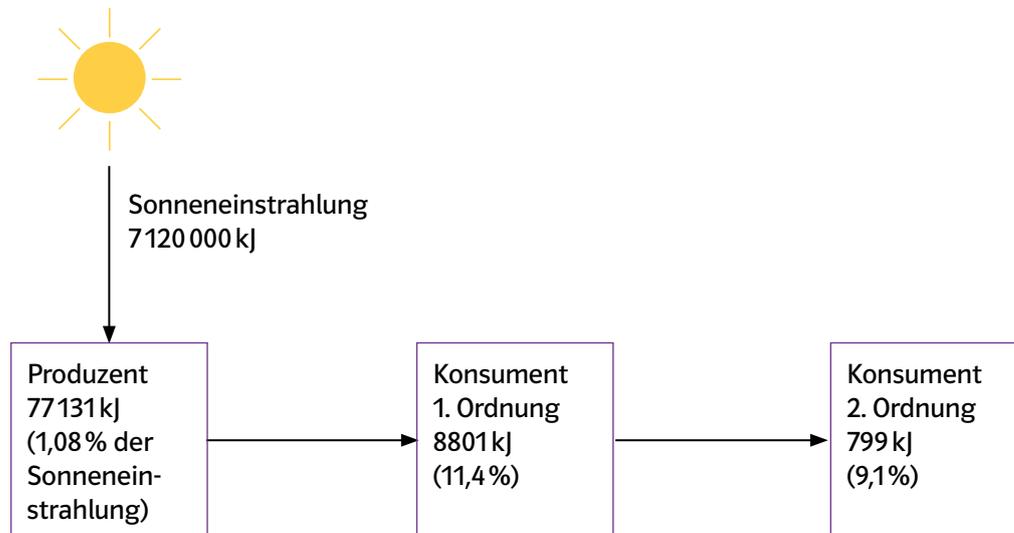
- **3** Das Ziel der Untersuchung war, auf einer natürlich gewachsenen Grasfläche die Räuber-Beute-Beziehungen in einer Nahrungskette bzw. in einem Nahrungsnetz zeitlich zu verfolgen. Auf diese Weise ließ sich die Weitergabe der Biomasse als Energiefluss dokumentieren. Dafür erfolgte die Markierung bestimmter Produzenten (Graspflanzen) in einem abgegrenzten Gebiet durch Einspritzen einer radioaktiven Phosphat-Lösung. Die Lösung wurde nicht einfach auf die Fläche gesprüht, um einerseits sicherzugehen, dass ausschließlich bestimmte Pflanzen einer Art die gewünschte Tracer-Konzentration aufwiesen, und um andererseits zu verhindern, dass der Erd- und Detritusbereich und seine Organismen mit den Tracern bereits zu Versuchsbeginn kontaminiert waren. Für die Sicherstellung eines geschlossenen Bereichs musste die Versuchsfläche nach außen abgedichtet sein, damit keine Ab- oder Zuwanderungen von Tieren möglich waren. Durch die Wahl des Tracers ^{32}P mit einer Halbwertszeit von 14,3 Tagen konnte der Verbleib des Tracers unter Freilandbedingungen für mehr als 4 Wochen verfolgt werden. In bestimmten Zeitabständen wurde die Radioaktivität der im Areal vorkommenden Tiere nach dem Wiederfangverfahren bestimmt. Dadurch ließ sich die Reihenfolge der Nahrungsbeziehungen unter natürlichen Bedingungen darstellen.

Die Bedeutung der Miesmuschel im Watt (Seite 41)

- **1** Die Vorgänge zum Auf- und Abbau phosphorhaltiger Biomasse sind an Land und im Meer vergleichbar. Die Vorgänge entsprechen einem Recycling. In beiden Phosphorkreisläufen wird Phosphat von den Pflanzen als Mineralstoff aufgenommen. Die Pflanzen bauen als Produzenten Biomasse auf, die phosphorhaltige Verbindungen enthält. Diese werden von Konsumenten 1. Ordnung gefressen, die wiederum daraus phosphorhaltige tierische Biomasse herstellen. Diese Konsumenten werden von Konsumenten höherer Trophiestufen gefressen. Die toten organischen Substanzen von abgestorbenen Pflanzen und Tieren oder Exkremente werden von Destruenten (Detritusfresser und Phosphat produzierende Bakterien) wieder in anorganisches Phosphat umgewandelt. Dieses Phosphat kann im Boden oder im Oberflächenwasser des Meeres erneut von Produzenten für die Bildung von Biomasse verwendet werden. Die Phosphatkonzentration im Meer kann zusätzlich durch Phosphateintrag über Flüsse direkt oder indirekt (tote organische Substanz) erhöht werden. Wenn Phosphat in tiefere Meeresschichten absinkt, kann es zum Teil durch Strömung wieder ins Oberflächenwasser gelangen. Anderenfalls wird Phosphat in Sedimenten abgelagert. Aus solchen Sedimenten kann Phosphat abgebaut oder bei Verwitterung freigesetzt werden und an Land als Dünger für Nutzpflanzen verwendet werden.
- **2** individuelle Lösung. Beispiel: Der Phosphorkreislauf ist weniger komplex als der Kohlenstoff- oder Stickstoffkreislauf, weil nur Phosphat als die einzige anorganische Verbindung in der Natur vorkommt. Es liegen keine oxidierten oder reduzierten Phosphorverbindungen vor. Die Atmosphäre ist im Gegensatz zum Kohlenstoff- oder Stickstoffkreislauf nicht beteiligt. Als Ressourcen kommen nur Sedimente in Frage. Diese Phosphor-Reserven sind endlich.
- **3** Miesmuscheln sind Strudler und Filtrierer. Im Oberflächenwasser sind sowohl gelöste als auch ungelöste Phosphorverbindungen enthalten. Die phosphorhaltigen Schwebstoffe werden zusammen mit Nahrungspartikeln eingestrudelt, allerdings überwiegend nicht verdaut. Von $5,5 \text{ mg/m}^3$ Phosphor in den aufgenommenen Schwebeteilchen werden $5,2 \text{ mg/m}^3$ Phosphor im Schlick als Scheinkot deponiert. Der Schlick ist kein Schwebstoff mehr, sondern sinkt als dichter Scheinkot auf den Boden. Im Schlick werden die Schwebeteilchen im Oberflächenbereich zurückgehalten, sodass dieses Material nicht in tiefere Meeresschichten abgetrieben und auf diese Weise dem Kreislauf entzogen wird. Der tägliche Umsatz der Miesmuscheln an phosphorhaltigen Schwebstoffen ist sehr groß, er beträgt 37% der Gesamtmasse dieser Schwebstoffe. Dieser Anteil bleibt dem Ökosystem erhalten. Das bedeutet, dass fast zwei Drittel der Schwebstoffe im Wasser verbleiben. Von dem phosphorhaltigen Schlick wird durch Destruenten dann gelöstes Phosphat geliefert, das den Pflanzen (Spartina, bodenbewohnende Algen, Phytoplankton) zur Assimilation zur Verfügung steht.

Zucht von Speisefischen (Seite 42)

○ 1



Die Produzenten nutzen ca. 1% der Sonneneinstrahlung zum Aufbau von Biomasse. Die Konsumenten nutzen ca. 10% der Biomasse ihrer Nahrung zum Aufbau eigener Biomasse.

- 2 Ein Großteil der Energie, die in der aufgenommenen Biomasse enthalten ist, wird nicht in den Aufbau eigener Biomasse investiert, sondern in andere Lebensvorgänge, wie Bewegung, Verdauung, Atmung, Fortpflanzung usw.
- 3 Der Graskarpfen ist ein Pflanzenfresser, der auch mit Grasschnitt oder jungen Getreidepflanzen ernährt werden kann. Damit sind die einzusetzenden Futtermittel leicht verfügbar und günstig. Er erreicht eine Länge von bis zu 120 cm und 40 kg Masse, also eine Größe wie sie bei Speisefischen im Handel üblich ist, und darüber hinaus. Allerdings ist der Graskarpfen in Deutschland nicht ursprünglich heimisch. Er könnte bei der Zucht auch in heimische Ökosysteme gelangen. Außerdem müssen die Teiche teilweise zusätzlich mit Mineralstoffen gedüngt werden. Dabei gelangen die Düngemittel auch in den Boden und das Grundwasser und können eine langfristige Belastung des Zuchtteiches fördern.

Der Hecht ist ein einheimischer Fisch, der sich neben Fischen auch von Fröschen und jungen Wasservögeln ernährt, die den Teich aufsuchen. Er wächst schon im ersten Jahr auf 30 cm Länge heran.

Allerdings muss der Hecht kostenintensiv mit Fischmehl oder Fischen ernährt werden. Er frisst auch kleinere Artgenossen, die dann nicht mehr durch den Menschen gefischt werden können.

Der Hecht ist ein Konsument 2. Ordnung, der Graskarpfen hingegen ein Konsument 1. Ordnung. Betrachtet man das Futter, das den Tieren angeboten werden muss, ergibt sich daraus ein deutlicher Unterschied. Mit der Menge Pflanzen, von 1 m² Anbaufläche, können eine bestimmte Menge Graskarpfen ernährt werden. Diese verwenden ca. 10% der aufgenommenen Nahrung für den Aufbau eigener Biomasse. Würde zur Ernährung des Hechtes dieselbe Menge Pflanzen zunächst an pflanzenfressende Fische verfüttert und diese anschließend als Hechtfutter genutzt, so würde dabei nur 1% der pflanzlichen Biomasse zum Aufbau der Biomasse beim Hecht genutzt werden. Die gleiche Pflanzenmenge würde nur zu einem Zehntel der Fischbiomasse führen. Die Zucht von Graskarpfen ist demnach effizienter bezüglich der Fläche und des Aufwandes zur Herstellung von Futter.

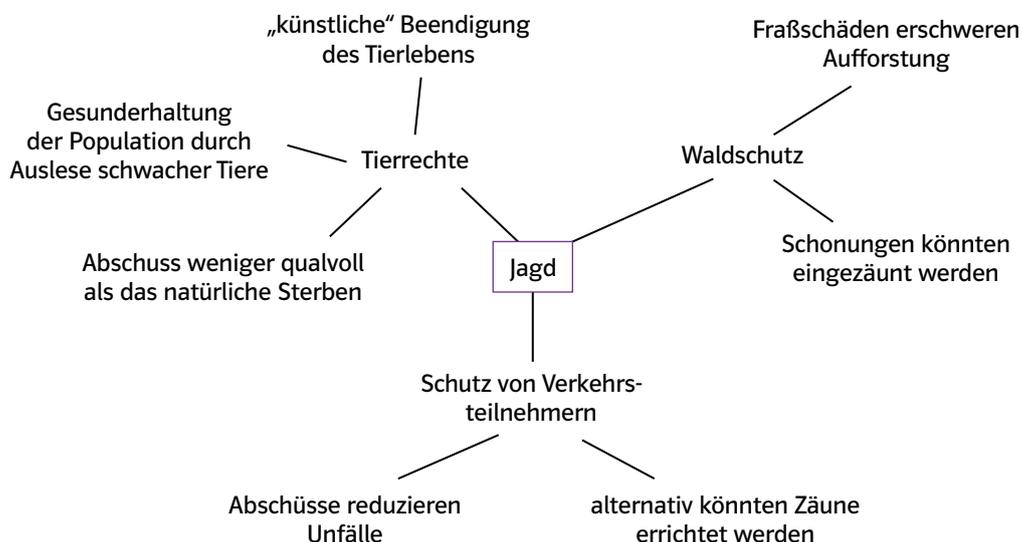
Die Stickstoff-Fixierung beim Algenfarn *Azolla* (Seite 43)

- 1 Der Algenfarn *Azolla* hat zweilappige Blätter. Der Unterlappen liegt auf der Wasseroberfläche, der Oberlappen ragt in die Luft und kann Fotosynthese betreiben. In diesem Oberlappen ist ein gasgefüllter Hohlraum vorhanden, in dem sich Zellfäden des Cyanobakteriums *Anabaena azollae* befinden. Diese Fäden bestehen aus je einer Kette von vegetativen Zellen und einzelnen größeren Zellen, den Heterocysten. In den Heterocysten findet die Fixierung von elementarem Stickstoff statt. Diese Reaktion wird durch das Enzym Nitrogenase katalysiert. Das Produkt dieser biotischen Stickstoff-Fixierung ist Ammoniak (ein Zellgift), das sofort zum wasserlöslichen, unschädlichen Ammonium-Ion weiterreagiert. Sowohl den vegetativen Zellen von *Anabaena azollae* als auch den Zellen von *Azolla* wird dieses Ammonium-Ion anschließend für den Aufbau organischer Substanz zur Verfügung gestellt.
Der Algenfarn wird von seinen Symbionten mit Ammonium zum Aufbau organischer Substanz versorgt, das er über die Haarzellen aus dem Hohlraum aufnimmt. Er ist demnach nicht auf eine externe Aufnahme von gelösten Stickstoffverbindungen wie Nitraten oder Ammoniumsalzen angewiesen. Im Gegenzug bietet *Azolla* als Wirt seinen Symbionten Schutz, Licht an der Wasseroberfläche, Luft (inklusive elementarem Stickstoff) und Wasser.
- 2 Die *Azolla*-Zellen enthalten in den Chloroplasten das Fotosynthesepigment Chlorophyll a und die Hilfspigmente Chlorophyll b und β -Carotin. Die Cyanobakterien *Anabaena azollae* enthalten ebenfalls das Chlorophyll a als Fotosynthesepigment und als Hilfspigmente neben β -Carotin zusätzlich rotes Phycoerythrin und blaues Phycocyanin. Alle Blattfarbstoffe absorbieren aus dem Spektrum Licht bestimmter Wellenlängen. Sie haben verschiedene Absorptionsmaxima. Die Absorptionsmaxima von Chlorophyll a liegen im blau-violetten sowie im roten Bereich. Durch die Absorption von Lichtenergie wird Chlorophyll a angeregt und kann in diesem angeregten Zustand Elektronen an einen passenden Elektronenakzeptor in der Fotoreaktion (Lichtreaktion) abgeben. Die Hilfspigmente leiten die von ihnen absorbierte Lichtenergie auf das Chlorophyll-a-Molekül im Reaktionszentrum eines Fotosystems weiter. Da die zusätzlichen Pigmente der symbiotischen Algen ihre Absorptionsmaxima im grünen und im gelben Bereich des Lichtspektrums haben, wird der Bereich, in dem die Chlorophylle und Carotine nur sehr wenig absorbieren („Grünlücke“), vollständig abgedeckt. Dadurch haben die Cyanobakterien die Fähigkeit, mit ihrem Wirt *Azolla* gemeinsam in Konkurrenz um Licht erfolgreich zu überleben und sich zu vermehren.
- 3 Wenn die abgestorbenen Algenfarn-Pflanzen zu Boden sinken oder wenn sie als kompostiertes Pflanzenmaterial in den Boden eingearbeitet sind, wirken sie als natürlicher organischer Dünger. Die Stickstoffverbindungen, die sie enthalten (Aminosäuren, Stickstoffbasen etc.), werden von den Destruenten im Boden oder im Wasser abgebaut. Diese Destruenten sind ammonifizierende und nitrifizierende Bakterien. Die ammonifizierenden Bakterien bilden die wasserlöslichen Ammonium-Ionen, die von den Pflanzen wiederum als Mineralstoffe aufgenommen werden können. Zusätzlich synthetisieren die nitrifizierenden Bakterien aus den Ammonium-Ionen Nitrate, die auch den Reispflanzen als Mineralstoffe zur Verfügung stehen.

(Anmerkung: Dieser Stickstoffanteil wird nur gemeinsam mit dem Phosphatanteil, der aus dem Pflanzenmaterial ebenfalls bakteriell zurückgewonnen wird, und weiteren Mineralstoffen (z. B. Kalium-Ionen) für eine erfolgreiche Düngung sorgen (NPK-Düngung).)

Bewertung der Jagd (Seite 44)

- 1 Abb. 2: Der Forstwirt kritisiert den wirtschaftlichen Schaden durch zu viele Rehe und nennt als eine Ursache dafür die Winterfütterung.
Abb. 3: Der Naturfreund kritisiert, dass die Wirtschaftlichkeit nach seiner Meinung Vorrang hat vor dem natürlichem Zustand und dieser für ihn erstrebenswerter ist.
Abb. 4: Der Jäger argumentiert mit dem fehlenden Räuber, wenn er schreibt, dass natürliche Räuber wie Wolf und Luchs nicht oder zu wenig vorhanden sind und dadurch das Räuber-Beute-Gleichgewicht gestört ist. Der Mensch übernimmt die Funktion des Räubers. Er behauptet, die Winterfütterung sei zur Schadensbegrenzung wirtschaftlich motiviert.
Abb. 5: Rehböcke schaden Menschen als Unfallursache.
- 2 Die individuelle Lösung soll eine nachvollziehbare, begründete Position enthalten, unabhängig von der gewählten Form.
Mögliche Mind-Map:



Landwirtschaft und nachwachsende Rohstoffe (Seite 45)

- 1 $2,1 \text{ Mio. ha} / 35,7 \text{ Mio. ha} \times 100 = 5,88 \%$
5,88 % der Gesamtfläche Deutschlands werden für den Anbau von Energiepflanzen genutzt.
- 2 Individuelle Lösung, z.B.: In fast allen Lebensbereichen wird heute auf die Nutzung von Energieträgern zurückgegriffen. Beispielsweise beim Transport von Menschen oder Waren mit Auto, Bus, LKW, Bahn, Schiff oder Flugzeug. Dabei wird mehr Energie verbraucht, als vor 200 Jahren mit dem Transport zu Fuß oder zu Pferde.
Auch vor 200 Jahren wurde in Wohnräumen bereits geheizt, mit Holz oder Holzprodukten. Allerdings wurde deutlich weniger Wohnraum erwärmt, Schlafzimmer blieben oft kalt. Auch wurde bereits in warmem Wasser gebadet, allerdings musste das Wasser aufwendig über dem Feuer erhitzt werden. Daher badeten die meisten Menschen höchstens einmal pro Woche. Heute duschen sich viele Menschen täglich mit warmem Wasser und verwenden für das Händewaschen warmes Wasser. Generell wird heute Energie für die Bereitstellung von fließendem Wasser in Wohnräumen verwendet. Vor 200 Jahren gab es in den meisten Wohnhäusern kein fließendes Wasser.

Die Herstellung von Plastik und Gummi spielten bei der Energienutzung vor 200 Jahren keine Rolle, heute hingegen eine große. Auch Kleidung, Möbel und sonstige Produkte werden heute sehr viel energieaufwendiger produziert. Vor 200 Jahren wurden mehr Produkte gekauft, die auch in der jeweiligen Region produziert wurden. Zur Arbeit, aber auch zur Unterhaltung, werden heute viele elektronische Medien eingesetzt, wie Handys, Computer oder Fernseher. Diese existierten vor 200 Jahren noch nicht.

- **3** Im Jahr 2005 wurden ca. 1,4 Mio. ha für den Anbau von Energie- und Industriepflanzen genutzt. Die Menge stieg bis 2007 erst langsam, dann steiler auf ca. 2,1 Mio. ha an. Im Jahr 2008 fiel die genutzte Fläche auf ca. 1,9 Mio. ha ab. Anschließend stieg sie bis 2012 auf 2,45 Mio. ha an. Danach sank sie leicht, um dann bis 2016 auf fast 2,7 Mio. ha anzusteigen.
- **4** Individuelle Lösung.
Für die Beurteilung sollen zunächst Argumente für und gegen die Nutzung von Anbaufläche für Energie- und Industriepflanzen, statt für Nahrungsmittel genannt werden. Mögliche Argumente für die Nutzung zum Anbau von Energie- und Industriepflanzen sind beispielsweise:
 - Der Energiebedarf steigt, die Menge fossiler Brennstoffe nimmt aber ab.
 - Bei der Verbrennung fossiler Energieträger wie Öl, Gas oder Kohle wird Kohlenstoffdioxid in die Umwelt abgegeben, das zuvor in den Energieträgern gespeichert war. Sie tragen damit zum globalen Klimawandel bei.
 - Bei der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe kann maximal die Menge an Kohlenstoffdioxid freigesetzt werden, die von den Pflanzen zuvor aus der Umwelt aufgenommen und in Biomasse umgewandelt wurde. Die Umwelt wird daher nicht zusätzlich durch Kohlenstoffdioxid belastet.
 - Landwirte erzielen durch den Anbau zusätzlichen Gewinn auf ihren Äckern.
(Hinweis: Tatsächlich übersteigt die jährliche Produktion von Nahrungsmitteln den aktuellen Bedarf an Nahrungsmitteln. Hungerkatastrophen in einigen Ländern der Welt gehen insofern auf eine ungerechte Verteilung und nicht auf mangelnde Produktion zurück.)

Mögliche Argumente gegen die Nutzung zum Anbau von Energie- und Industriepflanzen sind beispielsweise:

- Menschen können ihren Energieverbrauch einschränken, benötigen aber Nahrungsmittel.
- Ein Mangel an Nahrungsmitteln führt zum Tod von Menschen.
- Die gesteigerte Nutzung von Energiepflanzen hat zu einem sehr hohen Bedarf geführt. Dieser konnte nicht sofort bedient werden. Durch Spekulationen mit Mais und Weizen sind die Preise dieser Nahrungsmittel angestiegen. Manche Menschen konnten sie sich so nicht mehr leisten. Dies hat in einigen Regionen der Welt zu Hungerkatastrophen geführt.

Anschließend sollten die Argumente gegeneinander abgewogen werden und ein so begründetes Urteil formuliert werden.

Korallenriffe in Gefahr (Seite 46)

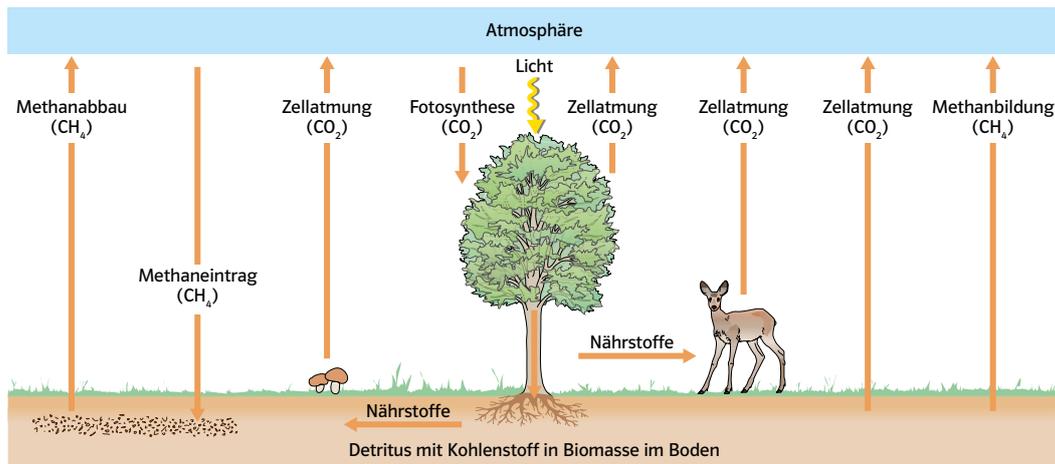
- **1** Korallenpolypen scheiden Kohlenstoffdioxid und Mineralstoffe aus ihrem Stoffwechsel aus. Beides nutzen die Zooxanthellen zur Steigerung der Fotosynthese. Die Polypen erhalten Fotosyntheseprodukte von den Algen. Die Form des Zusammenlebens von Individuen verschiedener Arten mit wechselseitigem Nutzen bezeichnet man als Symbiose.

- **2** Der anthropogene (vom Menschen verursachte) Treibhauseffekt kann durch den Temperaturanstieg zu einem Anstieg der Wassertemperatur führen. Die vermehrte Radikalbildung in den Zooxanthellen kann die Polypen zu deren Abstoßung anregen (Algenblüte). Die steigende Kohlenstoffdioxid-Konzentration in der Atmosphäre und als Folge im Meerwasser senkt den pH-Wert (Versauerung). Durch Verschiebungen bei den Gleichgewichten der Kohlensäurebildung und deren Zerfalls, der Hydrogencarbonatbildung und der Carbonatbildung bzw. deren Rückreaktionen sinkt die Kalkbildung und damit das Wachstum der Korallen. Wasserverschmutzungen können direkt die Polypen oder Endosymbionten schädigen oder durch Trübung des Wassers zu einer Verringerung der Fotosyntheserate führen. Das Entfernen oder Beschädigen von Korallen durch Souvenihändler oder Touristen führt zu direkten Schäden. Durch die Störung biologischer Gleichgewichte durch den Fang von Fischen oder anderen Riffbewohnern kann es zur Massenvermehrung von Polypenfressern kommen.
- **3** Die Kalkbildung durch die Riffpolypen fixiert über Gleichgewichte Kohlenstoffdioxid, das aus der Atmosphäre stammt. Eine Verringerung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts in der Atmosphäre führt zu einer geringeren Erderwärmung.

Waldböden senken die Methankonzentration (Seite 47)

- **1** In einer Tiefe von 4 bis 8 cm unterhalb der Erdoberfläche im Übergangsbereich von der Laubschicht zum Mineralboden befindet sich die Schicht der aeroben, methanotrophen Bakterien. Wegen ihrer Stoffwechseltätigkeit, der Oxidation von Methan, sinkt in diesem Bereich der Sauerstoffgehalt in der Umgebung von 10% auf 5%. In demselben Bereich sinkt die Methankonzentration von ca. 0,0017‰ auf ca. 0,0007‰. In tieferen und höheren Schichten bleibt sie nahezu konstant.
- **2** Die methanotrophen Bakterien sind in der Lage, Methan im Energie- und Baustoffwechsel zu nutzen. Die aeroben Methanotrophen können im Waldboden einen großen Teil des Methans mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid oxidieren. Im Grünland und in Halbwüsten ist dieser Abbau wegen der dort herrschenden abiotischen Faktoren nur wenig möglich. In diesen drei Vegetationstypen wird der Methangehalt der Atmosphäre verringert. In Feuchtbiotopen wird beim Abbau von organischer Substanz Methan in unterschiedlicher Menge freigesetzt. Da die methanotrophen Bakterien nur in Gegenwart von Sauerstoff den Oxidationsprozess durchführen können, ist nachzuvollziehen, dass in einem Auengebiet in Übergangszonen stellenweise Sauerstoff für den Stoffwechsel der aeroben Methanotrophen zur Verfügung steht. Dennoch wird ein Teil des Methans in die Umgebung abgegeben. In anderen Gebieten mit hohem Wasserstand ist die Sauerstoffverfügbarkeit dagegen durch den Wassergehalt des Bodens limitiert. Daher wird das entstandene Methan kaum bzw. nicht von aeroben methanotrophen Bakterien abgebaut. Damit ist in diesen Feuchtgebieten die z.T. starke Methanfreisetzung in die Atmosphäre zu erklären. Die dritte Möglichkeit, durch die Methan in die Atmosphäre entlassen wird, ist die der Tiefseequellen. Den größten Anteil des freigesetzten Methans bauen symbiotische Lebensgemeinschaften von anaeroben Methanotrophen zusammen mit anderen Bakterien ab. Das restliche, nicht oxidierte Methan gelangt an die Meeresoberfläche und damit in die Atmosphäre. In diesen drei Fällen wird die Methankonzentration in der Atmosphäre erhöht.

3 individuelle Lösung. Beispiel:



Kohlenstoffkreislauf

Dünger auf dem Acker (Seite 48)

- 1 Die Grafik A zeigt die Kohlenstoffdioxidabgabe der Organismen in Abhängigkeit von der Zeit in unbestelltem Ackerboden mit Stallmistdüngung und ungedüngtem Boden. Die Kurve der Kohlenstoffdioxidabgabe beim gedüngten Acker verläuft durchgehend oberhalb, fast parallel zu der Kurve beim ungedüngten Feld. Im Winter ist die Atmungsaktivität sehr niedrig. Im Frühjahr und im Spätsommer liegen Maxima vor. Im Sommer (Juli) sinken die Atmungswerte zeitweise.
- 2 Die Kohlenstoffdioxidabgabe weist auf die Atmungsaktivität der Mikroorganismen im Boden hin. Im gedüngten Boden kommen mehr Bodenlebewesen vor, die das zugefügte organische Material abbauen und remineralisieren, als im ungedüngten Feld. Daher ist die Bilanz der Atmung der vielen Organismen — u. a. aerobe nitrifizierende Bakterien — höher als in einem ungedüngten Boden mit weniger Mikroorganismen. Die Mikroorganismen bleiben das ganze Jahr lang konstant aktiv und bauen die organische Substanz langsam ab (Langzeitwirkung). Die Atmungsaktivität ist temperaturabhängig (RGT-Regel). Daher ist im Winter eine niedrige Atmungsrate vorhanden, bei wärmeren Temperaturen im Frühjahr und Sommer dagegen eine hohe Atmungsaktivität. Die Atmungsaktivität der Bodenorganismen ist auch von den Niederschlägen und der Bodenfeuchte abhängig. Mit der Kombination der Faktoren Temperatur und Feuchtigkeit sind sowohl die Anstiege als auch der Abfall der Atmungsaktivität im Jahresverlauf zu erklären. Im gedüngten Feld entstehen bei der Humusbildung auch wasserbindende Bodenteilchen. Diese sorgen für eine relativ gleich bleibende Bodenfeuchte.
- 3 Beim Einsatz eines mineralischen Düngers auf einem unbestellten Ackerboden ist seine Verweildauer in den oberen Erdschichten relativ kurz. Der Dünger besteht bereits aus Mineralsalzen. Er wird daher von Mikroorganismen nicht mehr abgebaut. Ihre Atmungsaktivität wird sich nicht verändern. Da kein zusätzlicher Humus hergestellt wird, sind die gleichen Bodentemperaturen wie beim ungedüngten Feld zu erwarten. Der Mineraldünger wird mit dem Regen in tiefere Erdschichten sickern und eventuell ins Grundwasser gelangen. Diese Düngung führt unter diesen Bedingungen nicht zu einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit. Der Einsatz von Mineraldünger ist gewinnbringend, wenn er an eine bestimmte Pflanzenart und die Vegetationsperiode angepasst und gut dosiert ist.