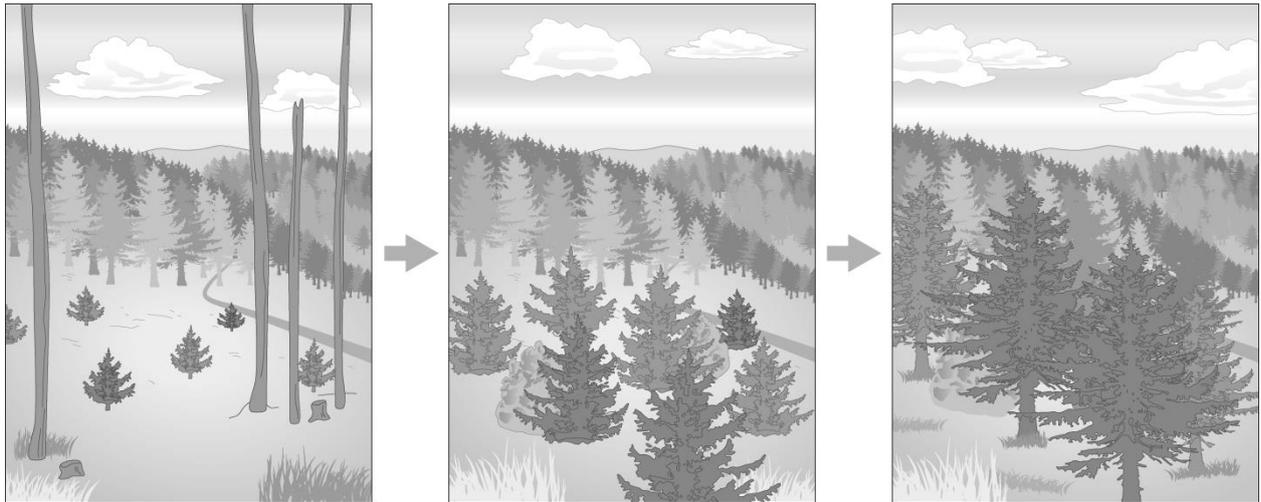


## Biomasseproduktion im Laubwald

Zur Beurteilung des Stoff- und Energiehaushalts eines Ökosystems werden häufig die Biomasse und die Primärproduktion des Ökosystems untersucht. Unter Biomasse versteht man das entstandene und abgestorbene organische Material pro Fläche. Als Primärproduktion wird die von den autotrophen Lebewesen hergestellte neue organische Substanz bezeichnet. Bei Pflanzen geschieht dies durch Fotosynthese. Die Nettoprimärproduktion ist die Differenz aus (Brutto-)Primärproduktion und der abgebauten Biomasse für den Energiestoffwechsel.

In einem Langzeitversuch wurde nach einem Kahlschlag in einem europäischen Laubwald ein neues Stück Wald angepflanzt (Abb. 1). In regelmäßigen Abständen wurden die Primärproduktion und die Biomasse in diesem Gebiet bestimmt (Abb. 2).



1 Heranwachsen des neu angepflanzten Laubwalds

Alter des Waldes (Jahre)	Biomasse B (kg/m <sup>2</sup> )	Nettoprimärproduktion P ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{Jahr}}$ )	Verhältnis P/B (relativer Zuwachs)
0	0	0	
20	4,5	0,50	0,111
30	7	0,90	0,129
40	9	0,89	0,099
60	13	1,03	0,079
80	18	1,04	0,058
100	23	1,04	0,045
120	27	1,05	0,039
140	31	1,05	0,034
160	35	1,06	0,030

2 Messwerte der Biomasse und Nettoprimärproduktion

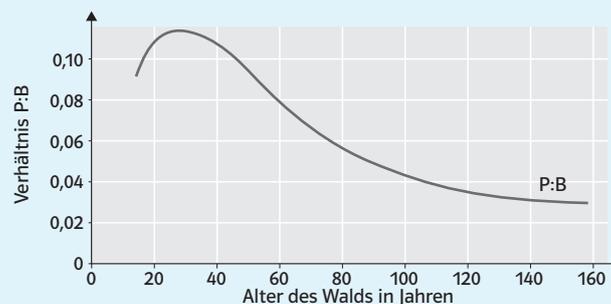
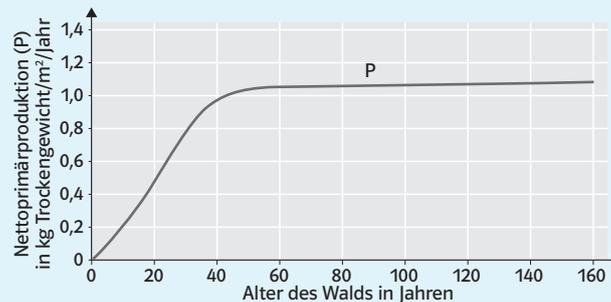
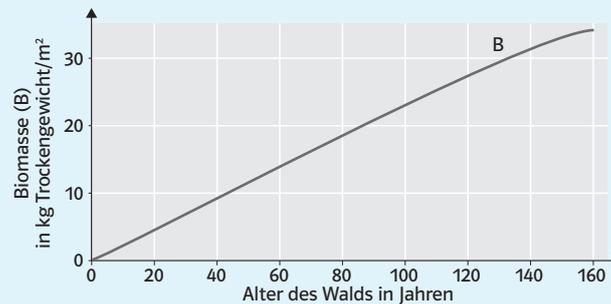
- 1 Stellen Sie die gemessenen Werte der Biomasse, der Nettoprimärproduktion und das Verhältnis der beiden Größen als Kurvendiagramme dar.
- 2 Beschreiben Sie die Verläufe der drei Graphen.
- 3 Erklären Sie die Kurvenverläufe.
- 4 Begründen Sie, warum Bäume (zur Gewinnung von Nutzholz) häufig im einem Alter von ca. 60 Jahren gefällt werden.

## ARBEITSBLATT

## Biomasseproduktion im Laubwald

## Lösungen

## 1 individuelle Lösung. Beispieldarstellung:



- 2 Biomasse:** Die Biomasse nimmt im beobachteten Zeitraum von 160 Jahren bis fast zum Schluss kontinuierlich und gleichmäßig von 0 auf  $35 \text{ kg/m}^2$  zu.  
**Primärproduktion:** In den ersten 35 Jahren steigt die Netto-Primärproduktion stark auf  $1 \text{ kg/m}^2$  und Jahr an (fast exponentiell), etwa ab dem Jahr 50 ist kaum noch eine Steigung erkennbar.  
**Verhältnis P/B:** Das Verhältnis erreicht nach etwa 30 Jahren ein Maximum bei ca. 0,12 und fällt in den folgenden Jahren immer weiter ab, bis es nach 160 Jahren bei 0,035 liegt.
- 3** Im Jugendstadium des Waldes wachsen die Bäume und produzieren über die Fotosynthese immer mehr Biomasse. Fotosynthetisch aktiv sind allerdings nur die grünen Pflanzenteile, hauptsächlich die Blätter der Laubbäume. Je älter die Bäume werden, desto größer wird der Anteil der verholzten, nicht fotosynthetisch aktiven Pflanzenteile (Stämme, Äste sowie die Wurzeln). Da diese Pflanzenteile auch Biomasse darstellen, steigt der Graph der Biomasse weiter kontinuierlich an, während die Primärproduktion kaum noch einen Zuwachs zu verzeichnen hat. Das Verhältnis P/B fällt dementsprechend ab dem 30. Jahr ab, da die Biomasse zwar weiter steigt, die Primärproduktion jedoch kaum noch.
- 4** Ab einem Alter von circa 60 Jahren nimmt der relative Zuwachs der Bäume wieder ab, die Nettoprimärproduktion bleibt annähernd konstant. Um möglichst hohe Ausbeuten an Holz zu erhalten, ist es sinnvoll, das Holz zu ernten, nachdem das Maximum an relativem Zuwachs gerade erreicht bzw. überschritten wurde.

## Praktische Tipps

## Darstellung der Tabellenwerte

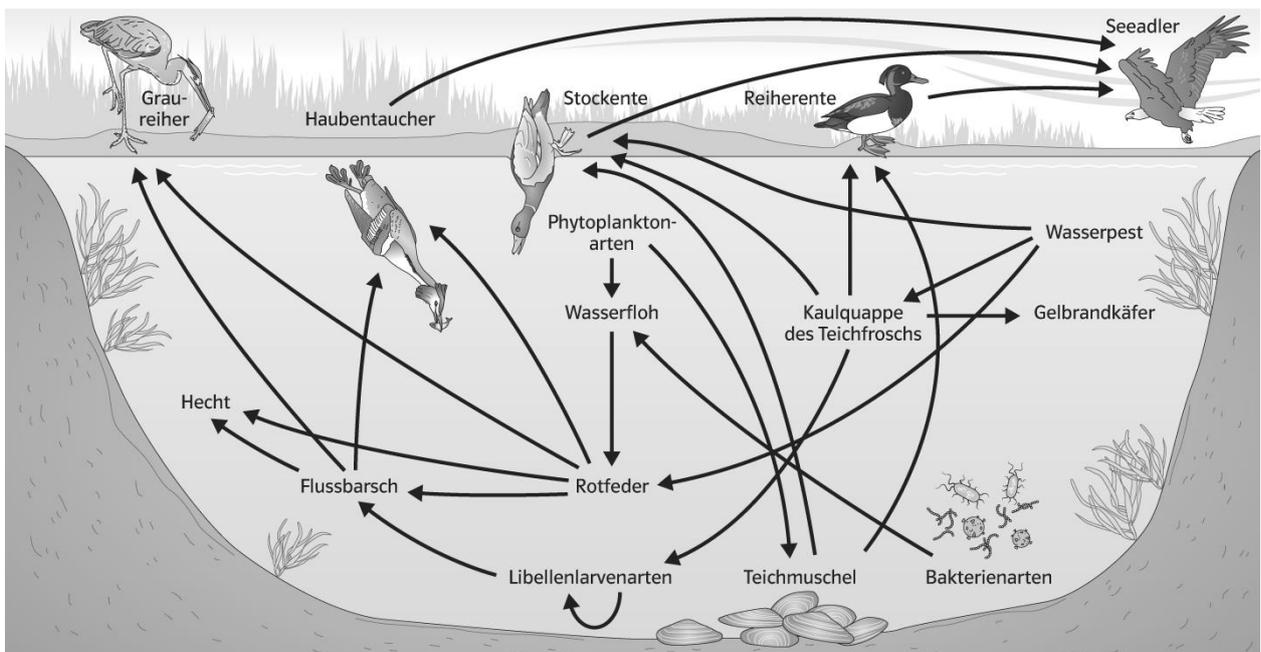
Möglicherweise ist es notwendig, dass die Schülerinnen und Schülern zunächst wiederholen, wie Tabellenwerte sinnvoll grafisch dargestellt werden können. Oft treten Schwierigkeiten dabei auf, die Achsen eines Koordinatensystems zu skalieren und zu entscheiden, welche Größe auf welche Achse aufgetragen wird. In diesem Fall hilft der Hinweis, dass die Messwerte besser in getrennten Koordinatensystemen eingetragen werden.

## Trophiestufen im See

Die Grundlage der Nahrungsbeziehungen in den Ökosystemen bilden sogenannte fotoautotrophe Organismen. Sie verwenden anorganische Materie, wie z. B. Wasser und Kohlenstoffdioxid, um mithilfe der Energie des Sonnenlichts energiereiche organische Substanz (Biomasse) herzustellen, die sogenannte Primärproduktion. Diese Organismen stellen die erste Trophiestufe dar und werden als Produzenten bezeichnet. Zu ihnen gehören alle grünen Pflanzen, aber auch fotoautotrophe Bakterien wie die Cyanobakterien. Organismen, die sich von den Produzenten ernähren, werden als Konsumenten 1. Ordnung bezeichnet und stehen auf der zweiten Trophiestufe. Dies sind die Pflanzenfresser (*Herbivoren*), wie z. B. Kaulquappen, aber auch Allesfresser gehören dazu. Desweiteren gibt es viele Tiere, die andere Tiere fressen. Sie sind Fleischfresser (*Carnivoren*) oder Allesfresser. Wenn diese sich von Pflanzenfressern ernähren, dann sind sie Konsumenten 2. Ordnung und stehen auf der dritten Trophiestufe (z. B. Reiherenten). Ernähren sie sich von Konsumenten 2. Ordnung, sind sie selbst Konsument 3. Ordnung (z. B. Flussbarsch) usw. Der Konsument, der am Ende einer Nahrungskette steht, weil er keinen natürlichen Feind hat, wird als Endkonsument bezeichnet. Konsumenten können je nach Nahrung verschiedenen Trophiestufen angerechnet werden. Da Konsumenten Biomasse mithilfe aufgenommener Biomasse erzeugen, werden sie Sekundärproduzenten bezeichnet.



1 Graureiher beim Beutefang



2 Nahrungsnetz im See

- 1 Geben Sie mithilfe des Nahrungsnetzes mindestens zwei verschiedene, möglichst unterschiedlich lange Nahrungsketten an und geben Sie unter jedem Organismus Ihrer Nahrungsketten an, auf welcher Trophiestufe (Produzent, Konsument 1., 2., ... Ordnung) dieser steht.
- 2 Geben Sie anschließend für alle Lebewesen die Trophiestufe oder die Trophiestufen an, auf denen diese vorkommen.
- 3 Bakterienarten sind nicht nur Nahrungsquelle, sondern bauen als sogenannte Destruenten (Zersetzer) abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial unter Sauerstoffverbrauch zu Mineralstoffen und Kohlenstoffdioxid ab. Erläutern Sie die Rolle der Bakterien für die Nahrungsbeziehungen.

## ARBEITSBLATT

## Trophiestufen im See

## Lösungen

- 1 individuelle Lösung: z.B.:  
 Legende: Produzent (P), Konsument 1. Ordnung (K1), Konsument 2. Ordnung (K2), ..., Endkonsument (E)  
 Phytoplanktonarten (P) → Wasserfloh (K1) → Kaulquappe des Teichfroschs (K2) → Rotfeder (K3) → Flussbarsch (K4) → Hecht (E)  
 Phytoplanktonarten (P) → Wasserfloh (K1) → Rotfeder (K2) → Haubentaucher (K3) → Seeadler (E)  
 Phytoplanktonarten (P) → Kaulquappe des Teichfroschs (K1) → Stockente (K2) → Seeadler (E)  
 Wasserpest (P) → Kaulquappe des Teichfroschs (K1) → Gelbrandkäfer (E)
- 2 Phytoplanktonarten (P), Wasserpflanze (P)  
 Wasserfloh (K1), Kaulquappe des Teichfroschs (K1), Teichmuschel (K1)  
 Rotfeder (K1, K2),  
 Gelbrandkäfer (K2), Stockente (K2), Reiherente (K2),  
 Libellenlarvenarten (K2, K3), Flussbarsch (K2, K3)  
 Haubentaucher (K2, K3, K4), Hecht (K2, K3, K4, E), Graureiher (K2, K3, K4, E)  
 Seeadler (K3, K4, K5, E)  
 Bakterienarten (Destruenten)
- 3 Bakterien sind nicht nur Nahrungsquelle, sondern bauen als sogenannte Destruenten (Zersetzer) abgestorbenes Pflanzen- und Tiermaterial unter Sauerstoffverbrauch zu Mineralstoffen und Kohlenstoffdioxid ab. Damit stellen sie die Stoffe bereit, die die Produzenten für die Fotosynthese und für ihr Wachstum benötigen. Durch die Tätigkeit der Bakterien als Destruenten schließt sich somit der Stoffkreislauf.

## Praktische Tipps

## Hinweise zum Arbeitsblatt

Auf dem Zusätzlichen Arbeitsblatt „Kopiervorlagen der Organismen“ (s. Daten auf DVD, Lehrband S. 336) finden Sie Abbildungen aller auf dem Arbeitsblatt verwendeten Organismen des Sees und des Waldes.

## Abwandlung des Arbeitsblattes auf ein terrestrisches Ökosystem

Sollten Sie das Ökosystem Wald vertieft behandeln, können Sie das Zusätzliche Arbeitsblatt „Trophiestufen im Wald“ (s. Daten auf DVD, Lehrband S. 336) einsetzen.

## Nahrungsketten und die Stellung der Destruenten

Sie können noch einmal besonders verdeutlichen, dass alle Nahrungsketten mit der Nutzung autotropher Organismen beginnen. Dies gilt auch für den Menschen, den man im Prinzip noch an jede Nahrungskette als Endkonsument anhängen könnte.

Destruenten werden nicht als Teil der Nahrungskette geführt. Wenn z.B. Insekten als Destruenten zu Beginn einer Nahrungskette zu stehen scheinen, sollten Sie darauf verweisen, dass die Nahrungskette über die tote Biomasse und den vorher noch lebendigen Organismus wieder bis zu einer Pflanze zurückgeführt werden könnte. Nahrungsketten, die mit einem Destruenten beginnen, werden auch als Detritusnahrungsketten bezeichnet.

## Räuber-Beute-Beziehungen und Parasitismus

Sie können in diesem Zusammenhang noch einmal auf die Räuber-Beute-Beziehung oder Parasitismus eingehen (s. Schülerbuch S. 180/181).

## Zusatzaufgabe

## Erstellung eines Nahrungsnetzes

Sollten Sie mit Ihren Schülerinnen und Schülern noch einmal die Erstellung eines Nahrungsnetzes üben wollen, können Sie dies mit dem Zusätzlichen Arbeitsblatt „Nahrungsbeziehungen im See“ (s. Daten auf DVD, Lehrband S. 336) machen.

Dieses Zusätzliche Arbeitsblatt sollten Sie dann vor dem Arbeitsblatt „Trophiestufen im See“ einsetzen, da das Nahrungsnetz hier bereits vorgegeben ist.

## PCB-Belastung im Lachs

Der Rotlachs (*Oncorhynchus nerka*) ist im Pazifischen Ozean und Arktischen Ozean weit verbreitet und stellt für die Fischerei eine der bedeutendsten Lachsarten dar (Abb. 1). Die Weibchen legen ihre Eier bevorzugt an kiesigen Seeufern oder langsam fließenden Bächen ab, die Jungen schlüpfen im Frühjahr und verbringen ihr erstes Lebensjahr in diesen ruhigen Süßwasserzonen. Dort ernähren sie sich hauptsächlich von winzigen Krebstieren, dem Krill.

Wenn sie ihre Biomasse annähernd verdoppelt haben, wandern sie ins offene Meer, wo sie sich vorwiegend von Zooplankton und Fischlarven, sehr selten von kleineren Fischen ernähren. Nach circa drei Jahren wandern sie zum Ablachen in ihre Geburtsgewässer zurück und sterben auch dort.

In europäischen Aquakulturen wird Lachs gezüchtet. Die Tiere werden in Netzgehegen gehalten, die in Küstennähe installiert sind (Abb. 2). Die Zuchtlachse werden u. a. mit Fischmehl und -öl gefüttert, das aus frei lebenden Fischen, meist Anchovis und Sandaalen, hergestellt wird. Diese kleinen Schwarmfische werden in großem Stil befischt und sind normalerweise Nahrung von Seevögeln, Robben, Haien und Walen. Die Zuchtlachse weisen einen Fettgehalt von ca. 15,8% auf, das ist mehr als das Doppelte wie bei frei lebenden Lachsen.



1 Rotlachs



2 Zuchtbecken

In Deutschland wird der im Handel angebotene Lachs regelmäßig auf seine Schadstoffbelastung untersucht. So beträgt z. B. die zulässige Höchstmenge an PCB 0,1 mg/kg Lachs. Bei einer Messung im Jahr 2004 wurden 24 Stichproben auf ihren PCB-Gehalt untersucht (Abb. 3). PCB (*polychlorierte Biphenyle*) sind eine Gruppe von chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen, die in den 1980er-Jahren bei vielen technischen Verfahren eingesetzt wurden, mittlerweile jedoch verboten sind. Die lipophilen Stoffe stehen im Verdacht, hormonell wirksam zu sein und für Unfruchtbarkeit bei männlichen Tieren sowie andere hormonell bedingte Erkrankungen verantwortlich zu sein. Aufgrund ihrer guten Fettlöslichkeit werden die PCB schon über die Haut aufgenommen, im Fettgewebe abgelagert und kaum wieder aus dem Körper ausgeschieden.

Erzeugnis	Anzahl der Proben	PCB-Gehalt in mg/kg Lachs (Mittelwert)
Lachs aus Aquakulturen; Herkunft Europa	16	0,0055
Wildlachs; Herkunft Nordpazifik	8	<0,0002

3 Durchschnittlicher PCB-Gehalt in Lachsproben

- 1 Beschreiben und erklären Sie die biologische Anreicherung von PCB im Wildlachs.
- 2 Erläutern Sie den unterschiedlichen Gehalt an PCB von pazifischem Wildlachs und Lachs aus Aquakulturen (Abb. 3).
- 3 Stellen Sie die ökologischen Konsequenzen dar, die sich aus dem Betrieb der Aquakulturen ergeben könnten.

## ARBEITSBLATT

## PCB-Belastung im Lachs

## Lösungen

- 1 Die PCB sind sehr stabil und werden nur sehr langsam oder gar nicht abgebaut. Sie können sich daher in den Nahrungsketten anreichern. Die PCB sammeln sich im Meer in kleinen Lebewesen wie zum Beispiel Krill und Fischlarven an, die (wahrscheinlich) Konsumenten 1. Ordnung sind. Diese werden vom Lachs, der der nächsthöheren Trophiestufe zuzuordnen ist, gefressen. Der Lachs muss sehr viel mehr an Biomasse der Lebewesen der niedrigeren Trophiestufe zu sich nehmen als letztlich in seinem Körper in Form von Sekundärprodukten verbleibt. Im Fettgewebe der Lachse reichert sich dadurch das mit der Nahrung aufgenommene PCB aufgrund seiner lipophilen Eigenschaft deutlich stärker an als in anderen Geweben. Es kann nicht mehr ausgeschieden werden. Mit zunehmender Lebensdauer der Lachse wird dadurch der PCB-Gehalt im Körper der Fische höher.
- 2 Die Lachse aus den Aquakulturen weisen einen höheren Gehalt an PCB in ihren Körpern auf als der Wildlachs. Da sich im Fettgewebe mehr PCB ablagern kann als in anderen Körpergeweben, enthält der Zuchtlachs demnach aufgrund seines höheren Fettgehalts insgesamt mehr PCB. Ein zweiter Grund ist die Tatsache, dass Zuchtlachse meist mit Fischmehl und -öl gefüttert werden, das aus Fischen verschiedener Trophiestufen hergestellt worden ist. In Organismen höherer Trophiestufen sind die schädlichen Stoffe bereits angereichert. Somit ist die PCB-Aufnahme entsprechend höher als über die natürliche Nahrungskette, da die Wildlachse nur sehr selten kleine Fische fressen.
- 3 Die Zuchtlachse werden mit Fischmehl und -öl aus frei lebenden kleineren Fischen gefüttert. Bei übermäßiger Befischung dieser Futterfische könnte dies bedeuten, dass durch diesen Eingriff in das Nahrungsnetz die Nahrung für die größeren Tiere reduziert wird, die sich normalerweise von diesen Fischen ernähren (Seevögel, Robben, Haie und Wale). Dadurch könnten diese Arten in ihrer Existenz bedroht werden. Aufgrund der Massenhaltung der Zuchtlachse in den Aquakulturen können sich Krankheiten schnell ausbreiten. Da die Zuchtbecken sich im Meer befinden, können sie auch an Wildbestände übertragen werden. Ebenso könnten die Ausscheidungen der Zuchtlachse, die an die Umgebung (das umliegende Meer) abgegeben werden, das ökologische Gleichgewicht beeinträchtigen, da die Konzentration an Ausscheidungen dort viel höher ist als unter natürlichen Bedingungen.

## Praktische Tipps

## Bild für den Einstieg — Einkaufsratgeber des WWF

**Gute Wahl!**

Nicht überfischt, gute Zucht, minimaler Umwelteinfluss.

Alaska Seelachs	Pazifik — Wildfang
Seelachs	Nordsee — Wildfang
Eismeergarnelen	Nordost/Nordwest-Atlantik — Wildfang
Hering	Nordost-Atlantik, nördliche, zentrale Ostsee — Wildfang
Bio-Lachs	Zucht
Lachs	Pazifik
Zander	Westeuropa — Wildfang

**Lieber nicht!**

Stark befischt, Zucht oder Fang belasten die Natur.

Dornhai/Schillerlocke	Nordost-Nordwest-Atlantik — Wildfang
tropische Shrimps	Wildfang/Zucht
Rotbarsch	Nordostatlantik — Wildfang
Haie	weltweit — Wildfang
Lachs	Chile — Zucht
Tunfisch	weltweit — Wildfang

- 1 *Passage aus einem Einkaufsratgeber*

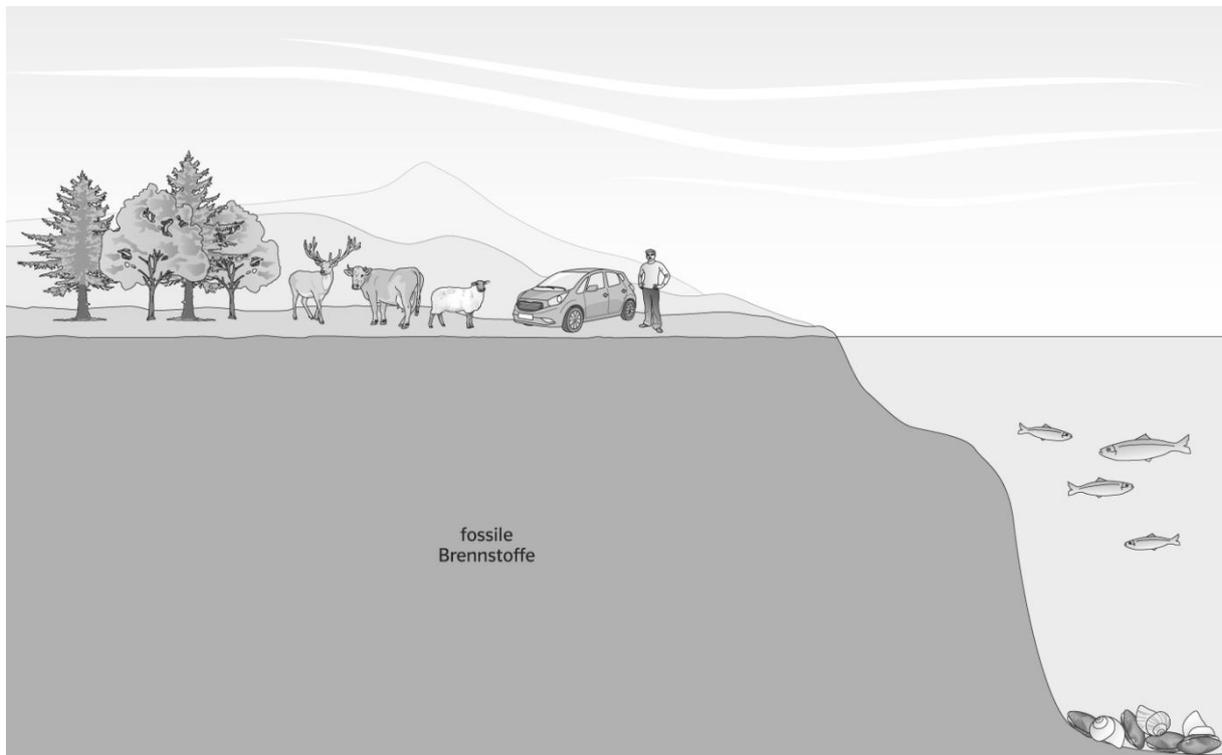
## Der Kohlenstoffkreislauf

Kohlenstoffverbindungen werden nicht nur von allen Lebewesen energetisch genutzt, sie bilden auch das Grundgerüst der gesamten Biomasse. Sie entstehen aus anorganischen Quellen hauptsächlich durch die Photosynthese, bei der Primärproduzenten mithilfe von Licht, Kohlenstoffdioxid und Wasser Glucose und molekularen Sauerstoff herstellen. Bei der Zellatmung wird ein Teil der dabei fixierten Energie unter Sauerstoffverbrauch in Form von ATP für den Organismus nutzbar gemacht. Dabei entsteht wiederum Kohlenstoffdioxid, das von den Organismen in die Atmosphäre abgegeben wird und erneut für die Fotosynthese zur Verfügung steht.

Ein Großteil der Kohlenstoffverbindungen wird aber langfristig fixiert, z. B. auf dem Land im Holz der Bäume und Wälder oder im Wasser durch Schalen bildende Muscheln und Korallen in Form von Kalk. Daher bezeichnet man Wälder und Korallenriffe auch als Kohlenstoffspeicher. Wenn tote organische Materie nicht aerob durch Destruenten zersetzt wird, sondern sich ablagert, entsteht in lang andauernden Prozessen Kohle, Erdöl, Erdgas oder Torf. Auch diese fossilen Brennstoffe stellen einen riesigen Kohlenstoffspeicher dar.

Die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Luft beträgt ca. 0,04 %. Dieser Wert bedeutet eine Steigerung von ca. 40 %, seit in den 1960er-Jahren mit den Messungen begonnen wurde. Der Anstieg ist größtenteils darauf zurückzuführen, dass der Mensch durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen viel Kohlenstoffdioxid freisetzt. Teilweise wird die Zunahme der Kohlenstoffdioxid-Konzentration durch die verstärkte Fotosynthese aufgrund des erhöhten Kohlenstoffdioxid-Angebots verringert. Außerdem löst sich ein weiterer Teil des zusätzlichen Kohlenstoffdioxids im Meerwasser. Es entsteht nämlich Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), die teilweise unter Abgabe von Wasserstoff-Ionen weiter zu Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) reagiert. Je niedriger der pH-Wert des Meerwassers ist, desto weniger Hydrogencarbonat-Ionen reagieren zu Carbonat-Ionen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), die sich mit Calcium-Ionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) als Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), also Kalk, absetzen. Damit ist auch die Schalenbildung bei Meerestieren erschwert.

In der Bilanz ergibt sich eine ständige Zunahme der Kohlenstoffdioxid-Konzentration der Atmosphäre und dadurch ein Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt.



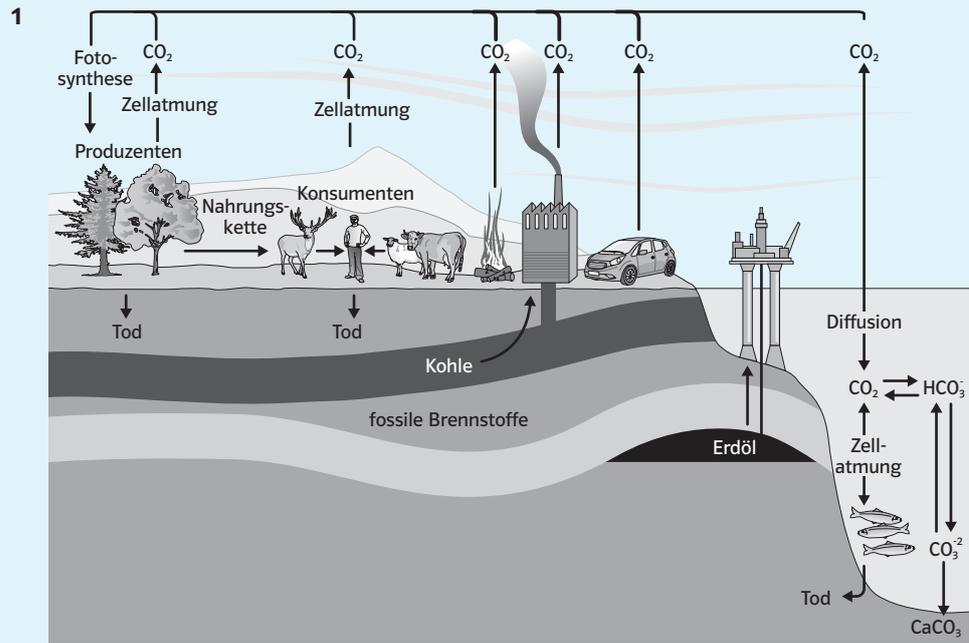
1 Elemente des Kohlenstoffkreislaufs

- 1 Ergänzen Sie das Schema in Abbildung 1, indem Sie die im Text genannten Effekte einzeichnen.
- 2 Erläutern Sie den engen Zusammenhang von Kohlenstoff- und Sauerstoffkreislauf.

## ARBEITSBLATT

## Der Kohlenstoffkreislauf

## Lösungen



- 2 Kohlenstoff- und Sauerstoffkreislauf sind über die beiden Stoffwechselprozesse Photosynthese und Zellatmung eng miteinander verschränkt. Bei der Photosynthese wird Kohlenstoffdioxid verbraucht und es entsteht Sauerstoff ( $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$ ). In der Zellatmung wird Glucose unter Verbrauch von Sauerstoff und der Entstehung von Kohlenstoffdioxid abgebaut ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ ). Die Produkte des einen Prozesses sind also jeweils die Edukte des anderen Prozesses. Daraus ergibt sich ein Kreislauf.



Allerdings ist die Sauerstoff-Konzentration so hoch, dass anthropogene Änderungen von geringer Bedeutung sind.

## Praktische Tipps

## Hinweis zum Einsatz des Arbeitsblatts

Das Arbeitsblatt ist nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn der Kohlenstoffkreislauf bisher nicht gezeigt oder besprochen wurde. Es dient also der selbstständigen Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs durch die Schülerinnen und Schüler.

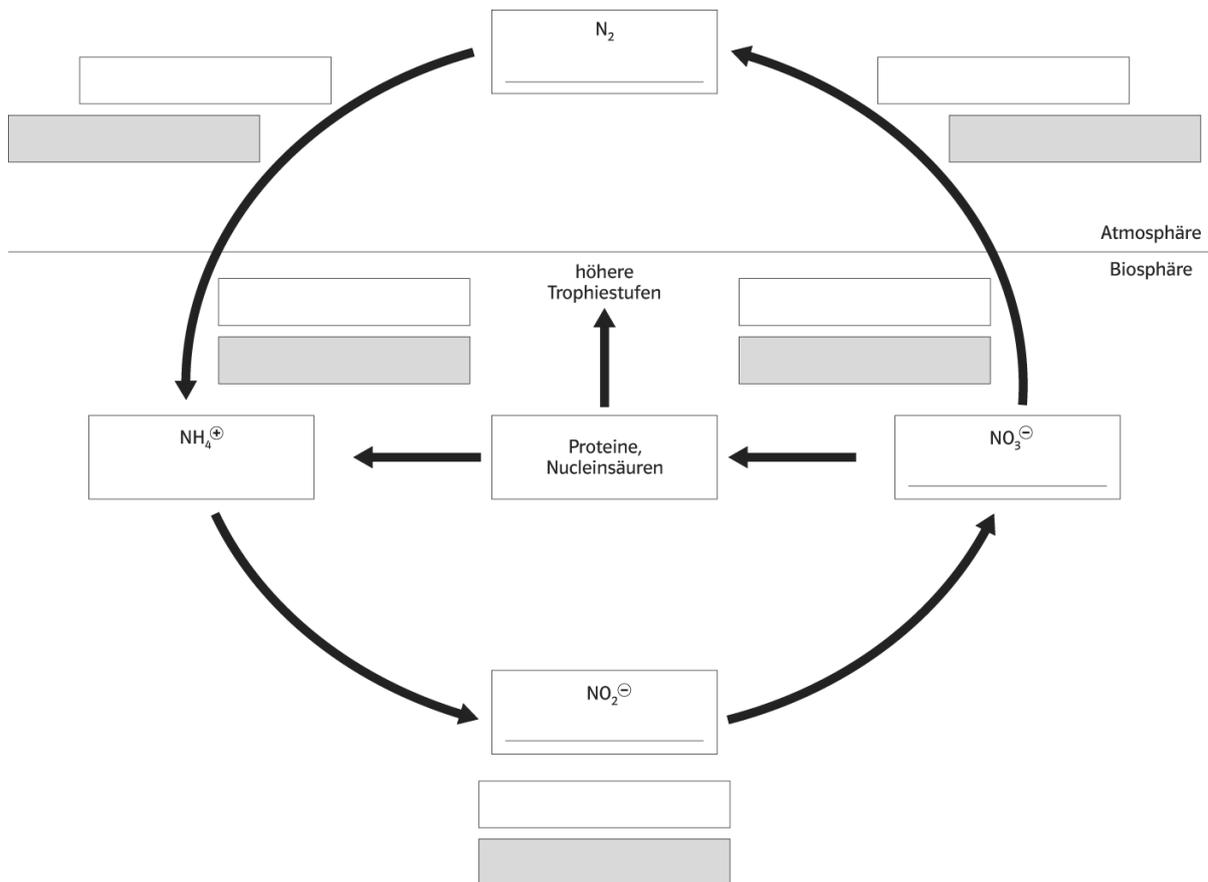
## Zusatzinformation

## Weitere Kohlenstoffspeicher

Auch die Savannen und Steppen mit ihrem hohen Grasvorkommen sind wichtige Kohlenstoffspeicher. Auch Moore binden bei ihrer Entstehung viel Kohlenstoffdioxid, das bei ihrer Trockenlegung jedoch wieder freigesetzt wird.

# Der Stickstoffkreislauf

Neben Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff ist Stickstoff eines der wichtigsten Elemente in Lebewesen, da er Bestandteil der Nucleinsäuren (DNA und RNA) sowie der Aminosäuren und damit der Proteine ist. Obwohl der Stickstoff in elementarer Form zu 78 % in unserer Atmosphäre vorhanden ist, können ihn weder Pflanzen noch Tiere in dieser Form für ihren Stoffwechsel verwenden. Um für diese Lebewesen nutzbar zu werden, muss er zunächst von Mikroorganismen fixiert werden. Das geschieht unter anderem durch Cyanobakterien. Das sind fotosynthetisch aktive Prokaryoten, die in der Lage sind, den elementaren Stickstoff aus der Luft zu binden und damit Ammonium-Ionen ( $\text{NH}_4^+$ ) zu bilden. Eine ähnliche Fähigkeit haben Knöllchenbakterien, die in Symbiose mit bestimmten Wirtspflanzen vorkommen. Die so in die Biosphäre gelangten Ammonium-Ionen sowie die, die bei der Zersetzung durch Destruenten entstehen, werden im Zuge der Nitrifikation durch nitrifizierende Bodenbakterien in zwei Schritten über Nitrit-Ionen ( $\text{NO}_2^-$ ) zu Nitrat-Ionen ( $\text{NO}_3^-$ ) umgewandelt. Als Nitrat-Ion kann der Stickstoff im Zuge der Assimilation von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen und verwertet werden. Im Zuge des Proteinstoffwechsels von Konsumenten gelangt er von den Pflanzen in die höheren Trophiestufen der Nahrungsnetze (Konsumenten, Destruenten). Die Reste der Tiere und Pflanzen (Kot, Urin, abgestorbene Körper) werden unter anderem von Destruenten zersetzt. Der in diesen Resten enthaltene Stickstoff wird wieder in Ammonium-Ionen umgewandelt und gelangt in den Boden (Ammonifikation). Herrschen im Boden anaerobe Bedingungen, werden denitrifizierende Bakterien aktiv, die aus den dort befindlichen Nitrat-Ionen wieder elementaren Stickstoff herstellen, der in die Atmosphäre gelangt (Denitrifikation).



1 Kreislauf des Stickstoffs

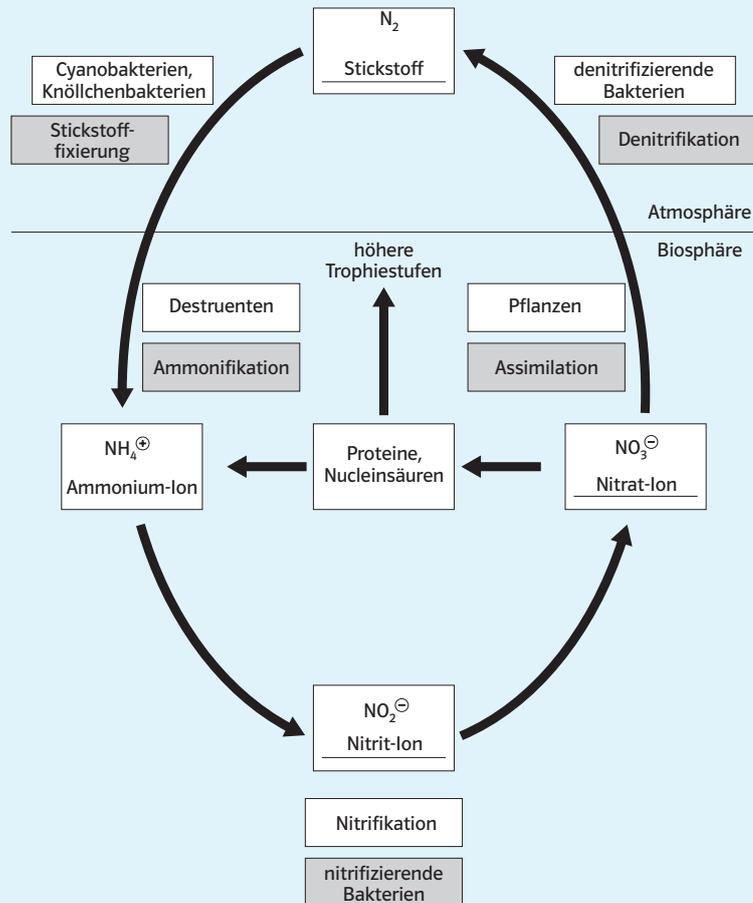
- 1 Werten Sie den Text aus und vervollständigen Sie mit dessen Angaben den Stickstoffkreislauf (Abb. 1). Hinweis: In den Kästen mit den Stoffen sollen die jeweiligen Namen ergänzt werden. An den Pfeilen befinden sich je zwei Felder für die Vorgänge (weiß) und die Lebewesen (grau), von denen die Vorgänge durchgeführt werden.

## ARBEITSBLATT

## Der Stickstoffkreislauf

## Lösungen

- 1 Die verschiedenen Stoffwechselwege in Organismen führen zu Kreisprozessen, in denen Stickstoff-Atome in unterschiedlichen Verbindungen vorkommen.



## Zusatzaufgabe

## Einfluss des Menschen auf den Stickstoffkreislauf

Der menschliche Einfluss hat den Stickstoffkreislauf auf unserem Planeten so stark verändert wie nichts anderes in den letzten zweieinhalb Milliarden Jahren.

- 1 Recherchieren Sie, inwiefern der Mensch Einfluss auf den Stickstoffkreislauf nimmt und die Folgen, die diese Eingriffe haben.

## Lösung:

- 1 Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die Rate der Stickstofffixierung und die Menge der biologisch nutzbaren Stickstoffverbindungen durch den Menschen sehr stark angestiegen. Durch menschliche Aktivitäten wird etwa doppelt so viel Stickstoff aus der Atmosphäre fixiert wie durch natürliche Vorgänge. In der Industrie geschieht dies beim Haber-Bosch-Verfahren (Verfahren zur Ammoniak-Herstellung aus Wasserstoff und elementarem Stickstoff). In den Jahren zwischen 1960 und 2000 ist die Verwendung von Stickstoffdüngern in der Landwirtschaft um 800% gestiegen. Der Dünger wird allerdings teilweise sehr ineffektiv eingesetzt. Das führt dazu, dass bis zu 60% der eingesetzten Menge nicht von den Pflanzen aufgenommen werden kann, sondern über den Boden und das Grundwasser in die Bäche, Flüsse und schließlich ins Meer gelangt. Dort führt das Überangebot an Dünger zu einem übermäßigen Wachstum der Algen. Je mehr Algen es gibt, desto mehr Sauerstoff wird verbraucht. In Extremfällen entstehen sogenannte „Tote Zonen“, das sind sauerstofffreie Zonen am Meeresboden, in denen kein tierisches Leben mehr möglich ist. Zusätzlich werden durch den Menschen immer mehr Stickoxide in die Atmosphäre freigesetzt. Stickoxide haben etwa die 300-fache Treibhauswirkung wie Kohlenstoffdioxid und tragen damit enorm zur globalen Erwärmung bei.