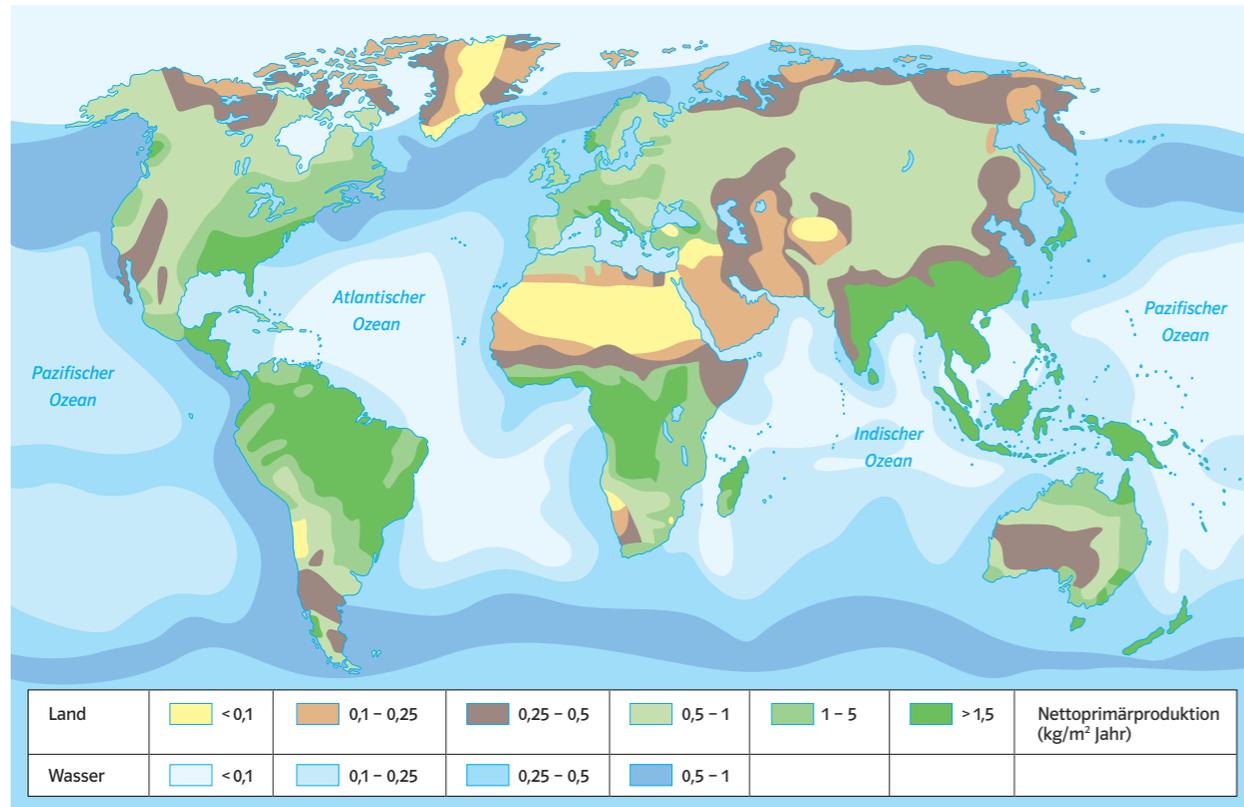


3.3 Systemökologie

Biomasse



1 Globale Nettoprimärproduktion in Land- und Gewässerökosystemen

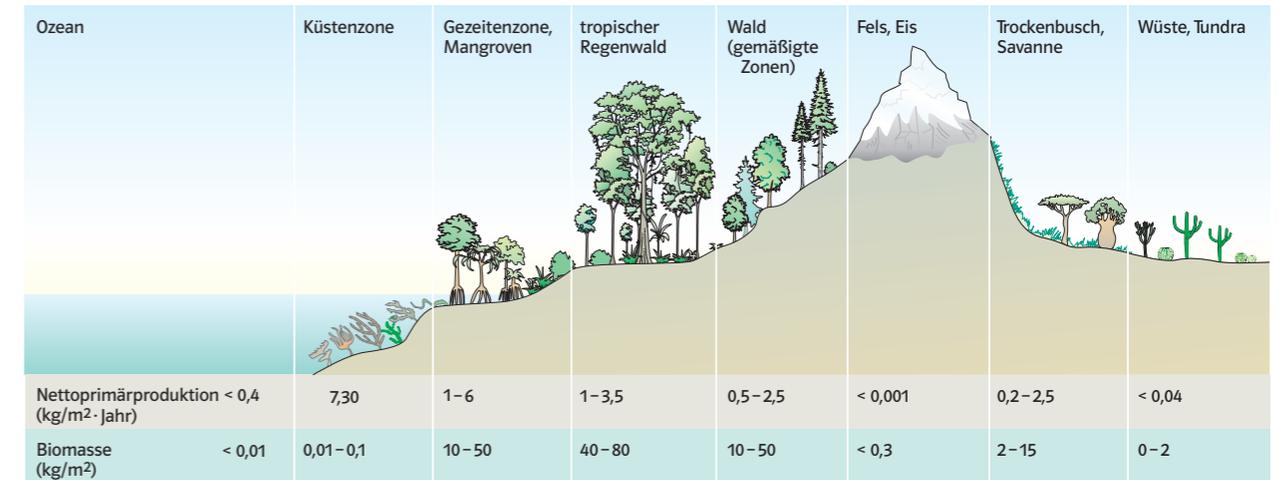
Wo im Winter noch nackter Ackerboden war, wachsen im Sommer schwere Kohlköpfe oder meterhohe Maispflanzen. Die entstandene lebende Substanz pro Fläche wird als *Biomasse* bezeichnet. Ein Vergleich mit der Situation im Winter ergibt den Biomassezuwachs, genannt *Produktion*, gemessen als Biomasse pro Fläche und Zeit.

Primär- und Sekundärproduktion

Autotrophe Lebewesen wie Pflanzen oder Algen erzeugen neue organische Substanz durch Fotosynthese (*Primärproduktion*). Einen Teil davon veratmen sie sofort in ihrem Energiestoffwechsel, den restlichen nutzen sie für Wachstum und Vermehrung, also zum Aufbau körpereigener Biomasse. Daher unterscheidet man zwischen *Bruttoprimärproduktion* und *Nettoprimärproduktion*. Lediglich die Nettoprimärproduktion

steht Pflanzenfressern (*Konsumenten erster Ordnung*) als Nahrung zur Verfügung und ist damit indirekt auch für Fleischfresser (*Konsumenten zweiter und höherer Ordnung*) sowie für Verwerter abgestorbener Substanz (*Destruenten*) zugänglich. Auch diese heterotrophen Lebewesen wachsen und vermehren sich, sie wandeln also einen Teil der Biomasse ihrer Nahrung in körpereigene Biomasse um (*Sekundärproduktion*).

Zur Ermittlung der Nettoprimärproduktion eines Kohlackers reicht es nicht aus, die geernteten Kohlköpfe zu wiegen, denn auch die verworfenen Wurzeln und Außenblätter gehören aus ökologischer Sicht zur Biomasse. Außerdem würden die Ergebnisse je nach Frische des gewogenen Kohls sehr unterschiedlich sein, denn Gewebwasser verdunstet rasch. Man trocknet daher die



2 Nettoprimärproduktion und Biomasse in den Naturräumen der Erde

Pflanzenteile bis zur Gewichtskonstanz. Erst die so ermittelte *Trockenmasse* ergibt vergleichbare Produktionsdaten. Im ökologischen Kontext bezieht sich der Begriff Biomasse also immer auf die Masse von stoffwechselaktiven Lebewesen. In der Energietechnik ist mit Biomasse dagegen energetisch nutzbares organisches Material gemeint und schließt abgestorbenes und ausgeschiedenes Material ein.

Aufbau und Abbau von Biomasse

Naturräume unterscheiden sich in ihrer Nettoprimärproduktion (Abb. 2). Man könnte vermuten, dass Ökosysteme mit hoher Nettoprimärproduktion auch eine große Biomasse pro Fläche aufweisen, wie z.B. der tropische Regenwald. Das ist jedoch nur der Fall, wenn die erzeugte Biomasse von Konsumenten und Destruenten nicht gleich wieder abgebaut, d.h. in schnellen Kreisläufen umgesetzt wird. Dann ist zu jedem Zeitpunkt nur wenig Biomasse vorhanden, wie z.B. in Küstenzonen warmer Meere.

Sonnenlicht und Wärme sowie ein ausreichendes Wasserangebot fördern nicht nur das Wachstum autotropher Organismen, sondern schaffen auch für Konsumenten und Destruenten wie Bakterien und Pilze gute Lebensbedingungen.

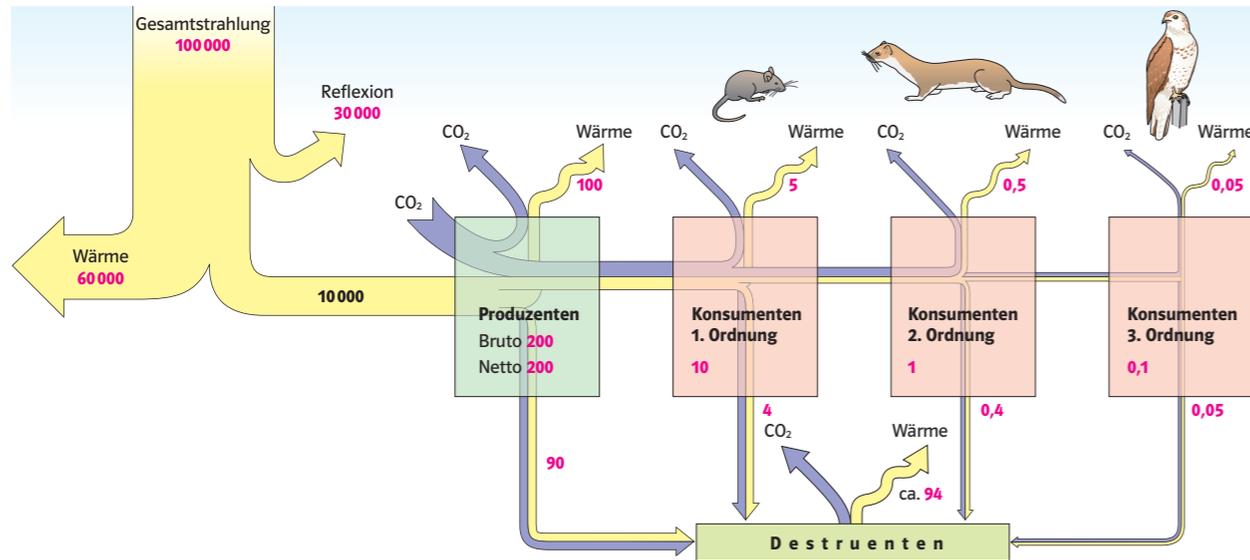
Hohe Jahrestemperaturen fördern abbauliche Stoffwechselprozesse stärker als die Fotosynthese, denn diese wird durch das Lichtangebot begrenzt. Wärme und Feuchtigkeit begünstigen ein schnelles Recycling der Biomasse. Das Gegenteil — wenig Nettoprimärproduktion und langsame Zersetzung — findet man in Ökosystemen mit geringem Wasserangebot, wie z.B. in einer Wüste, oder bei niedrigen Temperaturen, wie z.B. in der Tundra. Trotz geringer Nettoprimärproduktion ist dort die vorhandene Biomasse vergleichsweise hoch.

Die Biomasse in den Naturräumen ist unter natürlichen Bedingungen im langjährigen Mittel konstant. Das bedeutet, dass die Sauerstoff freisetzende Fotosynthese und die Sauerstoff bindende Zellatmung in gleichem Maße ablaufen. Damit bleibt auch das Mineralstoffangebot für die dort wachsenden Pflanzen ausgeglichen.

AUFGABEN >>

- 1 Anders als in Wäldern der gemäßigten Breiten gibt es in tropischen Regenwäldern kaum Bodenstreu. Erklären Sie.
- 2 Nennen Sie die produktivsten Bereiche bei Land- und Gewässerökosystemen.

Trophiestufen und Nahrungspyramiden



1 Täglicher Energiefluss in einem Landökosystem (kJ/m² Tag)

Ein Wiesel im Wald ernährt sich von pflanzenfressenden Mäusen und ist selbst Beutetier des Habichts — die Arten in einer Biozönose sind über Nahrungsbeziehungen miteinander vernetzt.

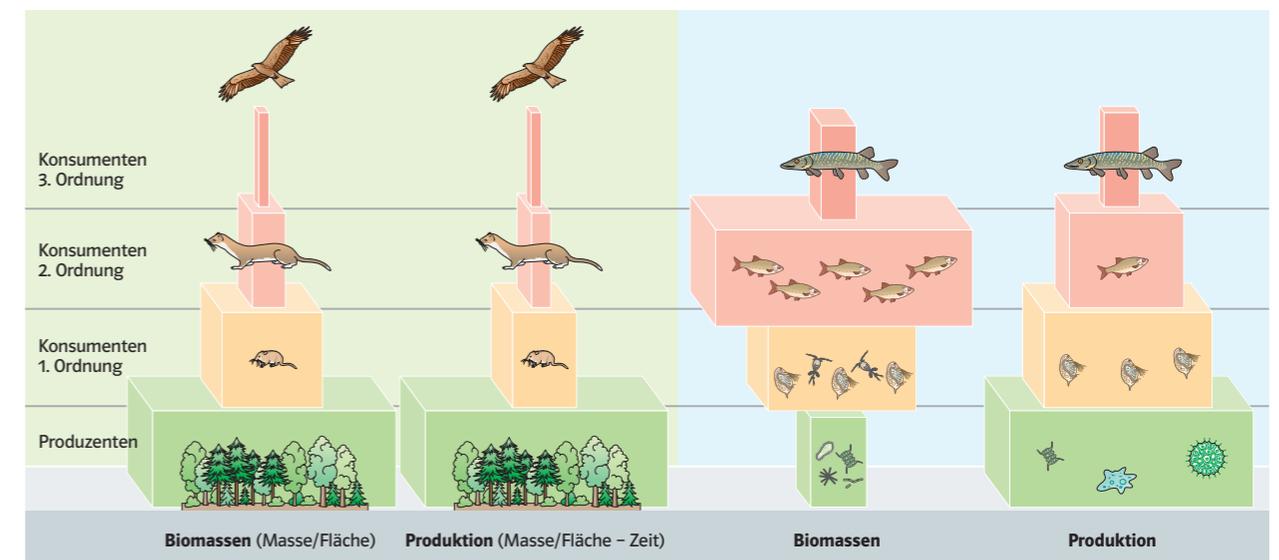
Trophiestufen

Ordnet man die Lebewesen nach ihrer Nahrungsgrundlage, kann man verschiedene *Trophiestufen* (gr. *trophe* Nahrung) unterscheiden. Die Nahrungsbasis eines Ökosystems bilden die autotrophen Lebewesen. Sie erzeugen mithilfe von Fotosynthese oder Chemosynthese Biomasse aus Kohlenstoffdioxid und Wasser, sie sind *Produzenten*. Zur zweiten Stufe gehören die *Konsumenten 1. Ordnung*. Diese Pflanzenfresser sind wiederum die Nahrungsgrundlage für die *Konsumenten 2. Ordnung*. Sie sind Fleischfresser, ebenso wie deren Fressfeinde, die *Konsumenten 3. Ordnung*. Nicht alle Konsumenten lassen sich eindeutig einer Trophiestufe zuordnen, da sie sich sowohl von Pflanzen als auch von Tieren ernähren oder Konsumenten unterschiedlicher Ordnung fressen. Alle Konsumenten haben gemeinsam, dass sie ihre Energie aus dem Abbau der Biomasse anderer Lebewesen beziehen.

Energiefluss

Leben benötigt Energie, sie wird vor allem durch die Strahlungsenergie der Sonne nachgeliefert. Die mit der Nahrung aufgenommenen Nährstoffe werden überwiegend energetisch genutzt. Da man jeweils nur die zur Verfügung stehende Energiemenge betrachtet, spricht man vereinfachend von einem Energie„fluss“, obwohl eigentlich energetisch nutzbare Stoffe weitergegeben werden und thermische Energie abgegeben wird (Abb. 1). Geht man von einer jährlichen Sonneneinstrahlung von 30 – 40 Mio. kJ/m² aus, sind das täglich rund 100.000 kJ/m². Bis zu den Pflanzen dringen täglich etwa 10.000 kJ/m² vor. Im Rahmen der Fotosynthese entstehen Stoffe, die bei energetischer Nutzung 200 kJ/m² liefern können. Die Pflanzen nutzen davon die Hälfte in ihrem Betriebsstoffwechsel.

Konsumenten setzen den größten Teil der Energie aus der gefressenen Biomasse für Bewegung, Verdauung, Atmung usw. ein. Dabei nehmen sie Sauerstoff auf und geben Kohlenstoffdioxid und thermische Energie ab. Eine grobe Faustregel besagt, dass von einer Konsumentenstufe nur etwa 10% der



2 Nahrungspyramiden in Land- und Gewässerökosystemen

vorhergehenden Biomasse in die folgende Konsumentenstufe gelangt und dort energetisch genutzt werden kann. Das ist der Wirkungsgrad oder die *Produktivität* von Stufe zu Stufe in einem Ökosystem.

Nahrungspyramiden

Die Biomasse aller Lebewesen einer gemeinsamen Trophiestufe lässt sich ermitteln. In europäischen Wäldern ist die Biomasse der Produzenten (Waldpflanzen) weit größer als die aller Konsumenten bzw. Destruenten zusammen. Bei den Konsumenten verringert sich die Biomasse von Stufe zu Stufe. Jeder Trophiestufe steht nur ein Bruchteil der Biomasse der darunter liegenden Stufe zur Verfügung. Daraus erklärt sich die Pyramidenform bei der Darstellung von Biomasse und Produktion in Landökosystemen (Abb. 2).

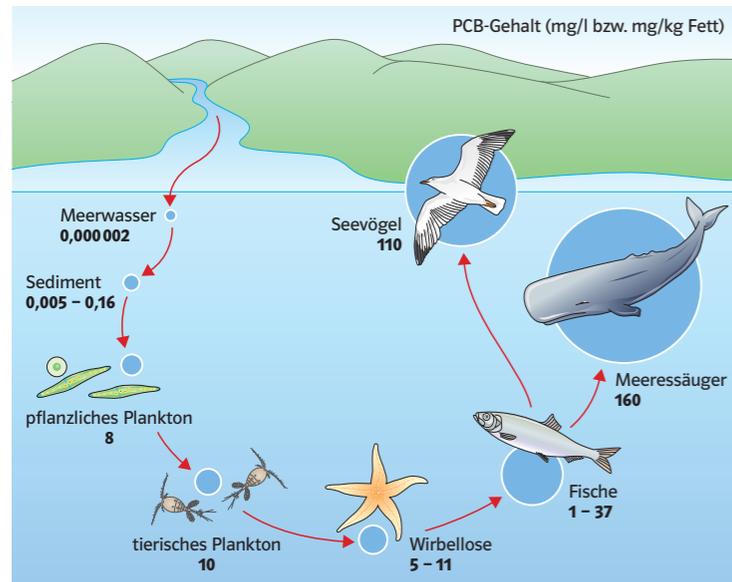
Anders als in Landökosystemen beruht die Primärproduktion in größeren Gewässern und im Meer vor allem auf Einzellern, die in der oberen Wasserzone Fotosynthese betreiben. Auch die Konsumenten 1. Ordnung (tierisches Plankton) sind winzig, haben aber ebenfalls viele Nachkommen und eine schnelle Generationenfolge, also eine hohe

Geburtenrate. Trotzdem ist ihre vorhandene Biomasse kleiner als die der übergeordneten Stufen, denn sie werden laufend von Konsumenten höherer Ordnung gefressen, haben also eine hohe Sterberate. Konsumenten wie die Fische sind vergleichsweise langlebig und bauen ihre große Biomasse aus vielen Produzentengenerationen auf. Die Biomassepyramide steht also quasi auf dem Kopf. Das lässt sich mit den Lebensmittelvorräten im Kühlschrank veranschaulichen. Sie wiegen weniger als der betreffende Verbraucher, denn dieser ergänzt sie laufend durch neue Einkäufe. Wie in Landökosystemen ist die Produktion der Konsumenten aber auch in Gewässerökosystemen kleiner als die Primärproduktion. Produktionswerte ergeben grundsätzlich die typische Pyramide mit breiter Basis.

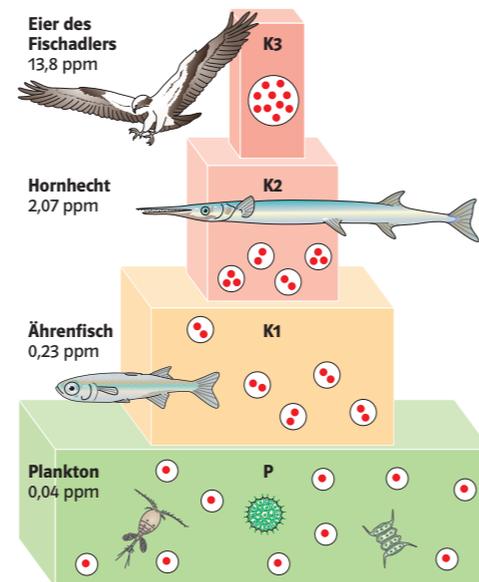
AUFGABEN >>

- 1 Beschreiben Sie den Aufbau von Biomasse- und Produktionspyramide in großen Gewässern.
- 2 Skizzieren Sie eine ökologische Pyramide für den Flächenbedarf (Reviere) von Konsumenten in Landökosystemen.

Stoffanreicherungen

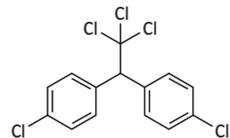


1 Anreicherung von PCB in der Nahrungskette

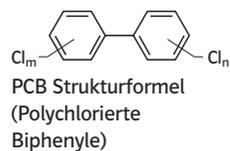


2 Anreicherung von DDT in der Nahrungskette

„Silent Spring“ — stummer Frühling ohne Vogelgesang, betitelte RACHEL CARSON 1962 ihr Buch über die ökologischen Folgen massiver Insektizid-Einsätze. Giftstoffe können sich von Trophiestufe zu Trophiestufe anreichern. Man spricht von *Bioakkumulation*.



DDT Strukturformel (Dichlordiphenyltrichloroethan)



PCB Strukturformel (Polychlorierte Biphenyle)

Bioakkumulation

„Fressen und gefressen werden“ heißt es für die Konsumenten in einem Ökosystem. Neben den gewünschten Nährstoffen (Proteine, Fette und Kohlenhydrate) nehmen sie dabei auch Stoffe auf, die sie nicht benötigen (*Ballaststoffe*) oder die sogar schädlich sind. Diese scheiden sie möglichst über das Verdauungs- oder Exkretionssystem wieder aus. Gelingt das nicht, sammeln sich solche Stoffe im Laufe des Lebens im Körper an. Von Konsumenten werden zwar nur etwa 10% der aufgenommenen Biomasse als körpereigene Substanz festgelegt, aber gleichzeitig 100% der darin enthaltenen Schadstoffe aufgenommen und nur teilweise abgebaut oder ausgeschieden. Bei Konsumenten hoher Ordnung kann die Schadstoffkonzentration schließlich so hoch sein, dass Vergiftungserscheinungen auftreten.

Fettlösliche organische Verbindungen

Vor allem *Dichlordiphenyltrichloroethan (DDT)* wurde Mitte des vorigen Jahrhunderts im großen Umfang zur Vernichtung von Fiebertücken versprüht. DDT tötete aber nicht nur die unerwünschten Insekten, sondern auch die übrigen kleinen Lebewesen. Über die Nahrungskette gelangte es von Singvögeln, Fischen und anderen Konsumenten bis in das Gewebe der Tiere der höchsten Trophiestufe, wie z. B. beim Adler (Abb. 2). Diese konnten kaum noch Nachwuchs aufziehen, weil die Eierschalen durch das Gift dünn und brüchig wurden. Ende des letzten Jahrhunderts wurde der Einsatz von DDT verboten.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden in großtechnischem Maßstab für Kondensatoren, Isolieröle, Leuchtstofflampen und Fugendichtungen verwendet. Erst nach Umweltskandalen wurde ihre Herstellung Anfang dieses Jahrtausends verboten. Bis 2028 sollen alle noch vorhandenen PCB-Bestände vernichtet sein. Noch sind sie in Gewässern und Böden weltweit nachweisbar (Abb. 1). Sie führen beim Menschen zu schweren Hauterkrankungen und stören das

Hormon- und Immunsystem. Außerdem stehen sie im Verdacht, Krebs auszulösen. Bei Meeressäugern am Ende der Nahrungskette verhindern sie die Fortpflanzung.

Schwermetalle

Auch natürlicherweise vorkommende Stoffe, wie das Schwermetall Blei, werden im Körper akkumuliert. Das geologische Bleivorkommen ist zwar begrenzt, aber wegen des Gebrauchs durch den Menschen wurde Blei zu einer allgemeinen Umweltbelastung. Blei wurde schon früh in der Menschheitsgeschichte aus Erzen und Verbindungen gewonnen und in reiner Form für Geschosse und Wasserleitungen, später in Verbindungen auch für Rostschutzfarben und als Treibstoffzusatz verwendet. Bleirohre können das Trinkwasser belasten, Bleistäube aus Autoabgasen, bleiverarbeitenden Betrieben und Abfallverbrennungsanlagen lagern sich als Staub auf Pflanzen ab. So gelangt Blei in die Nahrungskette. Blei bindet an Enzyme und schadet dem Nervensystem, stört die Blutbildung und die Fortpflanzung, verursacht Nierenschäden und Darmkoliken und ist krebserzeugend im Tierversuch. Es gibt zahlreiche Gesetze zur Reduzierung des Einsatzes von Blei, so wird es heute nur noch ausnahmsweise in Autokraftstoffen verwendet, neue Trinkwasserrohre dürfen nicht aus Blei sein.

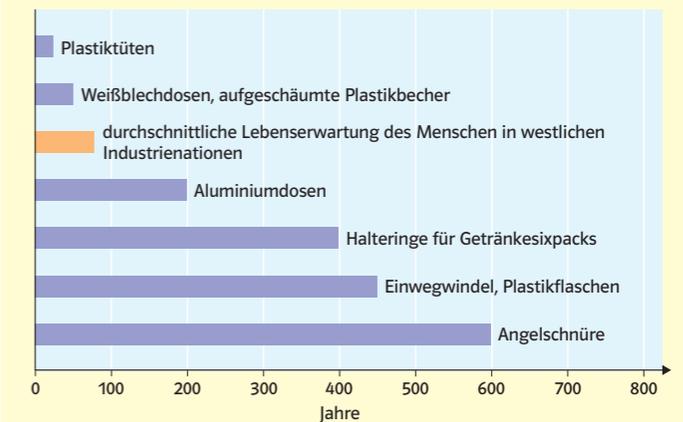
AUFGABEN >>

- 1 Vergleichen Sie den Bioakkumulationsfaktor (Quotient aus zwei Konzentrationen in Prozent) für DDT und PCB zwischen Plankton und Endkonsument (Abb. 1 und 2).
- 2 Recherchieren Sie im Internet über „das dreckige Dutzend“, eine Liste von Schadstoffen, und nennen Sie die Ursachen ihrer Gefährlichkeit.
- 3 Diskutieren Sie das Pro und Contra der Verwendung von Bleigeschossen bei der Jagd.

EXTRA >>

Plastik in Ozeanen

Bei der Untersuchung gestrandeter Wale machten Experten erstaunliche Entdeckungen: Plastiktüten, Kunststoffeiern und komplette Netze befanden sich in Magen und Darm. Die Meeressäuger hatten sie irrtümlich verschluckt, denn Plastikteile und anderer Müll treiben über Tausende von Kilometern im Meer. Sie bilden inzwischen mehrere gigantische Plastikwirbel in den Ozeanen — selbst auf unbewohnten, isolierten Inseln wird Plastikmüll angetrieben. Eine Plastiktüte wird oft weniger als eine Stunde lang benutzt, ihre Zersetzung dauert jedoch Jahrzehnte. Bei anderen Kunststoffen ist die Abbaugeschwindigkeit noch langsamer (Abb. 3). Übrig bleiben schließlich kleine Teilchen (Mikropartikel), sie werden von kleineren Tieren gefressen und dann auch von deren Konsumenten verschlungen. Sie reichern sich zwar nicht im Gewebe an, füllen oder verstopfen aber den Verdauungstrakt und lassen die Tiere bei vollem Magen hungern. Auf ihrer Oberfläche können sich Schadstoffe ansammeln. Partikel im Nanobereich (1 nm = 1 Milliardstel Meter, 1000-mal dünner als ein Menschenhaar) sind so klein, dass sie sogar von Zellen aufgenommen werden. Nanopartikel entstehen durch den Zerfall größerer Kunststoffteile und werden nanotechnologisch z. B. für Zahnpasta oder Sonnencreme verwendet. Über die Wirkung von Nanoteilchen auf die Menschen und die Umwelt ist bisher sehr wenig bekannt.



3 Abbaugeschwindigkeit von Plastik

AUFGABE >>

Diskutieren Sie Möglichkeiten, den in Ihrer Schule anfallenden Plastikmüll zu verringern.

Globaler Kohlenstoffkreislauf



1 Kalkstein mit fossilen Muscheln

Seit längerem gilt dem Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre besondere Beachtung, weil er Auswirkungen auf die globale Erwärmung der Erde und damit auf das Weltklima und die Höhe des Meeresspiegels hat. Der *globale Kohlenstoffkreislauf* zeigt, wie das Element Kohlenstoff auf der Erde verteilt ist und in welchem Umfang „Flüsse“ zwischen „Speichern“ stattfinden.

Lokaler Kohlenstoffkreislauf

Autotrophe Lebewesen nehmen Kohlenstoffdioxid aus der Umgebung auf und erzeugen daraus Glucose für ihren Energie- und Baustoffwechsel. Heterotrophe Konsumenten und Destruenten nutzen diese Biomasse, um daraus eigene Biomasse zu erzeugen. Durch aeroben Abbau von Biomasse entsteht dabei wiederum Kohlenstoffdioxid, das an die Umgebung abgegeben wird. So entstehen beinahe überall auf der Welt lokale Kohlenstoffkreisläufe.

Kohlenstoffspeicher und Stoffflüsse

Die Ozeane, die Landlebewesen, die Sedimente und auch die Atmosphäre kann man sich als große Kohlenstoffspeicher vorstellen. Man schätzt, dass alle Meere der Welt zusammen 38 Billionen Tonnen (= 38 000 Gigatonnen) Kohlenstoff enthalten (Abb. 2). Dazu zählen sowohl die in Lebewesen enthaltenen Kohlenstoffverbindungen wie auch

das im Wasser gelöste Kohlenstoffdioxid. Alle Landlebewesen zusammen machen weniger als ein Zehntel der Kohlenstoffmasse der Meeresbewohner aus. Wenn ein Tier Nährstoffe mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid umsetzt, fließen Kohlenstoffatome vom Speicher Landlebewesen zum Speicher Atmosphäre.

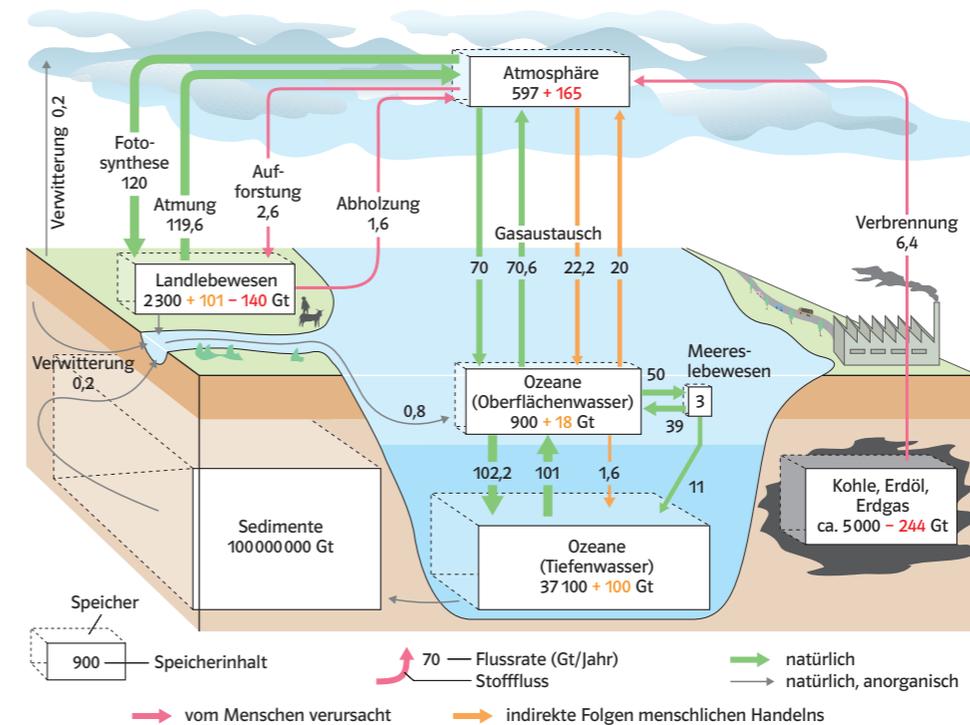
[► Stoff- und Energieumwandlung]

Den größten Kohlenstoffspeicher der Erde bilden Sedimente. Hier liegt der Kohlenstoff mit 100 Mio. Gt in Form von Kalkstein vor. Dieser Kohlenstoffspeicher hat sich in vielen Jahrmillionen gefüllt, indem Muscheln und andere Schalen bildende Tiere aus im Meerwasser gelöstem Kohlenstoffdioxid und Mineralien Kalk (CaCO_3) gebildet haben. Daraus sind am Meeresboden riesige Kalkschichten entstanden, die sich im Laufe der Zeit zu Kalkstein verfestigt haben (Abb. 1).

Die vorhandenen Kohlenstoffspeicher und die nicht vom Menschen beeinflussten Kohlenstoffflüsse zwischen ihnen bilden den natürlichen Kohlenstoffkreislauf. Die Übersicht zeigt, dass die Flüsse zwischen der Atmosphäre und den Landlebewesen bzw. der Atmosphäre und den Ozeanen nahezu ausgeglichen sind (Abb. 2). Durch die natürlichen Kohlenstoffflüsse ist keine deutliche Veränderung des Kohlenstoffdioxidgehalts der Atmosphäre zu erwarten. Man erkennt auch, dass die Größe von Speichern nicht die Flussrate, also die pro Jahr fließende Menge, bestimmt. Durch die Verwitterung von Kalkstein werden nur wenige Kohlenstoffatome freigesetzt.

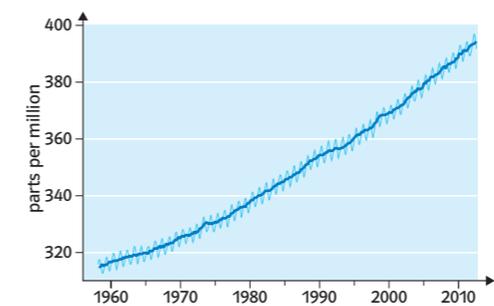
Eingriffe des Menschen und die Folgen

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wird intensiv Kohle abgebaut und zur Energienutzung verbrannt. Dieser Kohlenstoffspeicher hat sich vor etwa 300 Mio. Jahren gefüllt, als große Wälder dicke Humusschichten bildeten, die in Sümpfen versanken oder von späteren Ablagerungen bedeckt wurden. Unter Sauerstoffausschluss und hohem Druck entstand daraus Kohle. Abgesunkenes Plankton bildete vergleichbar Erdgas und Erdöl.



2 Der globale Kohlenstoffkreislauf

Verglichen mit anderen Speichern erscheint der Speicher mit diesen fossilen Brennstoffen nicht besonders groß. Tatsächlich ist durch die Nutzung fossiler Brennstoffe der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre in den letzten 50 Jahren um fast 20% gestiegen (Abb. 3). Der Vergleich der Speichergrößen zeigt, dass schon die Verbrennung von etwa 10% der bekannten Vorkommen von Kohle, Erdöl und Erdgas den Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre fast verdoppeln würde (Abb. 2).



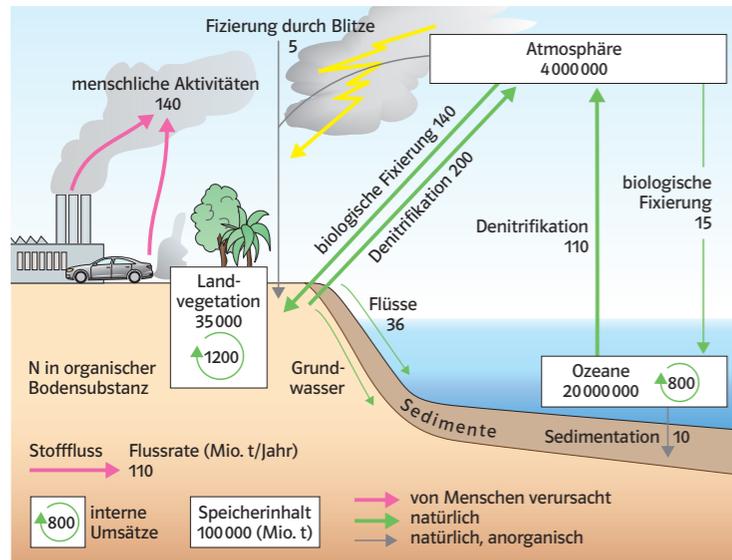
3 Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre

Der gestiegene Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre führt dazu, dass sich mehr Kohlenstoffdioxid im Meerwasser löst und das Wachstum der Landpflanzen gefördert wird. Dadurch wird ein Teil des durch den Menschen freigesetzten Kohlenstoffdioxids gebunden, bis sich neue Gleichgewichte einstellen. Allerdings sind auch unerwünschte ökologische Auswirkungen durch die Versauerung der Meere zu befürchten, wie z.B. die Zerstörung von Kalkschalen bei Tieren.

AUFGABEN >>

- 1 Beschreiben Sie den möglichen Weg eines Kohlenstoffatoms von einer Landpflanze zum Tiefenwasser im Ozean.
- 2 Erläutern Sie mithilfe von Abb. 2 die Auswirkungen der Abholzung bzw. der Aufforstung von Wäldern.
- 3 Wenn der Säuregehalt der Meere durch das Lösen von Kohlenstoffdioxid zunimmt, kann ein Teil der Kalkschalen von Muscheln und Meeresschnecken sich unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid auflösen. Erläutern Sie die Folgen.

Stickstoff- und Phosphorkreislauf



1 Stickstoffkreislauf

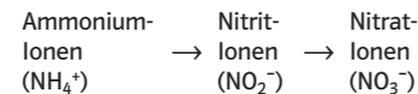
Nicht nur Kohlenstoffverbindungen sind auf der Erde nur begrenzt vorhanden, sondern auch stickstoff- und phosphorhaltige Stoffe. Ihre natürliche Wiederverwertung ist in globalen biogeochemischen Kreisläufen gesichert.

Globaler Stickstoffkreislauf

Stickstoff ist ein wichtiger Bestandteil der Aminosäuren, aus denen sich Proteine zusammensetzen. Die Luft besteht zwar zu 78 % aus molekularem Stickstoff (N_2), doch

in dieser Form können ihn weder Pflanzen noch Tiere im Stoffwechsel verwenden. Der große atmosphärische Stickstoffspeicher ist für sie also nicht direkt zugänglich. Pflanzen nehmen Stickstoff vor allem aus dem Bodenwasser in Form von Nitrat-Ionen (NO_3^-) auf.

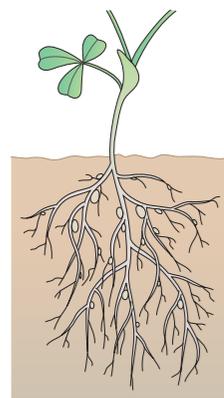
Bei der Zersetzung organischer Substanz durch Destruenten entstehen stickstoffhaltige Verbindungen wie Ammonium-Ionen (NH_4^+). *Nitritbakterien* oxidieren Ammonium-Ionen zu Nitrit-Ionen (NO_2^-), *Nitratbakterien* bilden daraus anschließend Nitrat-Ionen (NO_3^-),



Nitrit- und Nitratbakterien treten immer gemeinsam auf. Giftige Zwischenprodukte wie das Nitrit werden dadurch sofort wieder umgesetzt und reichern sich nicht im Boden an. Der von den beiden Bakterienarten durchgeführte Prozess heißt *Nitrifikation*. Entstandene Nitrat-Ionen können von den Pflanzenwurzeln aufgenommen und in pflanzliche Proteine und andere stickstoffhaltige Stoffe umgebaut werden.

Konsumenten decken ihren Bedarf an Stickstoffverbindungen aus der pflanzlichen und tierischen Nahrung. Durch Pflanzen, Tiere und Bakterien entsteht so ein rein biologischer, an Lebewesen gebundener Stickstoffkreislauf mit internen Umsätzen (Abb. 1).

Ein kleiner Teil des atmosphärischen Stickstoffs kann durch die Stoffwechsellistung freilebender oder symbiotischer Mikroorganismen gebunden und so in den biologischen Stickstoffkreislauf eingespeist werden. *Cyanobakterien* sind Prokaryoten, die wie Algen und Pflanzen Fotosynthese betreiben. Sie werden daher etwas irreführend Blaualgen genannt. Einige von ihnen können Stickstoff aus der Luft binden und Ammonium-Ionen herstellen. Manche benutzen dazu spezialisierte Zellen (*Hetero-*



Wurzelknöllchen



2 Cyanobakterien als Stickstofffixierer

10 µm

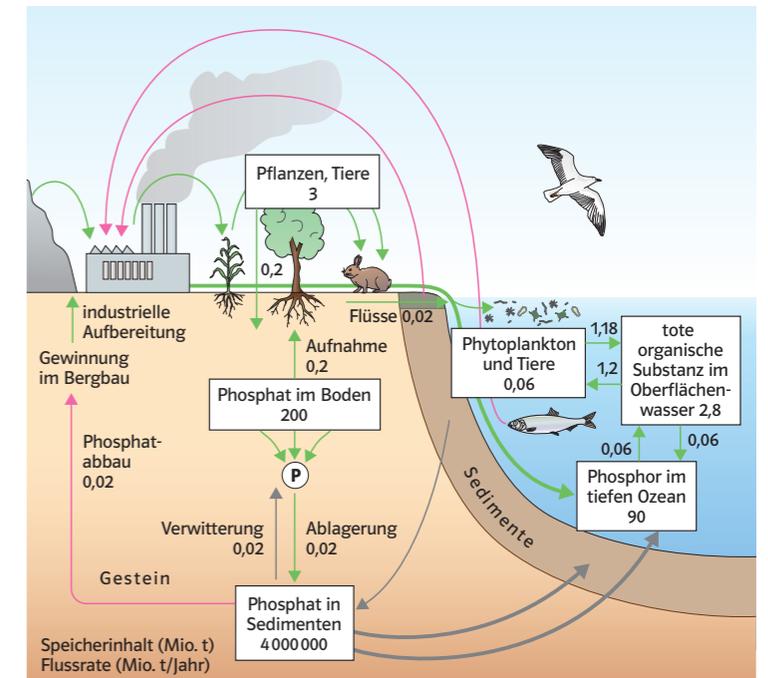
cysten). Cyanobakterien kommen fast überall vor – in feuchten Böden, im Süßwasser und an der Meeresküste (Abb. 2).

Als *Stickstofffixierer* wirken außerdem *Knöllchenbakterien*. Sie leben in den Wurzeln von Hülsenfrüchtlern wie den Bohnen (Abb. 2). Die Bakterien veranlassen ihre Wirtspflanze dazu, Wurzelknöllchen als Behausung zu bilden. Die Wirtspflanze liefert den Bakterien Nährstoffe und profitiert selbst von den Stickstoffverbindungen der Knöllchenbakterien (Symbiose). Daher sind Hülsenfrüchtlern auf stickstoffarmen Böden besonders konkurrenzfähig. In der Landwirtschaft werden sie vielfach zur sogenannten Gründüngung eingesetzt. Dabei werden u. a. Hülsenfrüchte angebaut, aber nicht geerntet. Ihre Biomasse wird in den Boden eingearbeitet.

Unter sauerstofffreien Bedingungen fehlt vielen Organismen ein Akzeptor für die Elektronen, die während der Oxidation energiereicher Stoffe, z. B. Glucose, anfallen. Unter diesen Umständen sind Bakterien aktiv, die Nitrat als Elektronenakzeptor nutzen können. Sie stellen aus Nitrat z. B. molekularen Stickstoff her. Dieses Gas entweicht in die Luft und steht den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung. Deshalb spricht man von *Denitrifikation*.

Globaler Phosphorkreislauf

Phosphor kommt im Kreislauf ausschließlich als Phosphat vor, der Kreislauf ist rein geochemisch, d. h. er wird von Organismen wenig beeinflusst. Phosphate stammen primär aus der Verwitterung von phosphathaltigem Gestein (Apatit), der Hauptspeicher ist im Boden. Phosphatreste (Säurereste der Phosphorsäure) sind neben Basen und Zuckerbausteinen ein Hauptbestandteil der Nucleinsäuren (DNA, RNA). Für den Energiestoffwechsel sind sie außerdem als Adenosintriphosphat (ATP) lebenswichtig. Phosphate sind daher wichtiger Bestandteil mineralischer Dünger. Die bei der Zersetzung organischer Substanz freigesetzten Phosphat-Ionen im Wasser können in einem kurzgeschalteten Kreislauf wieder in die Lebewesen gelangen.



3 Phosphorkreislauf

Über die Flüsse gelangen Phosphate ins Meer. Unter aeroben Bedingungen setzen sie sich dort als Sediment ab und werden erst in geologischen Zeiträumen wieder freigegeben. Unter anaeroben Bedingungen können Phosphate in eine lösliche Form übergehen und zu einer Überdüngung von Gewässern führen.

AUFGABEN >>

- Bei den Stoffkreisläufen von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor unterscheidet man zwischen Speichern und Flüssen. Stellen Sie die wichtigsten jeweils tabellarisch gegenüber.
- Beim Kompostieren sollte man darauf achten, dass Bioabfälle locker gelagert und gut belüftet verrotten und nicht unter Luftabschluss und Gestank verfaulen. Erklären Sie diese Gärtnerregel unter Berücksichtigung des Stickstoffkreislaufs.
- Beschreiben Sie die Rolle der Destruenten in den Stoffkreisläufen und die Form der Wechselbeziehung zwischen Nitrit- und Nitratbakterien.