Ökologie

Lerntext, Repetitionsfragen mit Antworten, Zusammenfassungen und Glossar

Blick ins Buch

STEFAN AEPPLI | GUIDO RUTZ

Ökosystem
Population
Biozönose
Ökofaktoren
Wald
Wasser
Boden
Luft
Symbiose
Stoffkreislauf
Klimawandel
Emissionen
Energieverbrauch
Umweltschutz
Biodiversität



compendio
Bildungsmedien

Ökologie
Lerntext, Repetitionsfragen und Antworten,
Zusammenfassungen und Glossar
Stefan Aeppli, Guido Rutz

Copyright © 2026, Compendio Bildungsmedien AG, Zürich

Satz: Reemers Publishing Services GmbH, Krefeld
Grafisches Konzept: icona basel gmbh
Illustrationen: Oliver Lüde, Zürich
Coverbild: © Kuttelvaserova Stuchelova / Shutterstock
Druck: Edubook AG, Merenschwand
Redaktion und didaktische Bearbeitung: Andrea Grigoleit

Printausgabe
ISBN: 978-3-7155-0212-0
Artikelnummer: 19724
Auflage: 5., überarbeitete Auflage 2026
Ausgabe: 05U26
Sprache: DE
XBI 005

E-Book-Ausgabe
ISBN: 978-3-7155-0213-7
Artikelnummer: E-19725
Auflage: 5., überarbeitete Auflage 2026
Ausgabe: 05U26
Sprache: DE
XBI 005

Compendio Bildungsmedien AG
Thurgauerstrasse 136
CH-8152 Glattpark (Opfikon)
Tel. +41 44 368 21 11
info@compendio.ch
www.compendio.ch

Alle Rechte, insbesondere die Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Der Inhalt des vorliegenden Lehrmittels ist nach dem Urheberrechtsgesetz eine geistige Schöpfung und damit geschützt.

share fair
share-fair.ch

Compendio Bildungsmedien AG unterstützt die Kampagne «share fair»: www.share-fair.ch

Die Nutzung des Inhalts für den Unterricht ist nach Gesetz an strenge Regeln gebunden. Aus veröffentlichten Lehrmitteln dürfen bloss Ausschnitte, nicht aber ganze Kapitel oder gar das ganze Lehrmittel kopiert, digital gespeichert in internen Netzwerken der Schule für den Unterricht in der Klasse als Information und Dokumentation verwendet werden. Die Weitergabe von Ausschnitten an Dritte ausserhalb dieses Kreises ist untersagt, verletzt Rechte der Urheber und Urheberinnen sowie des Verlags und wird geahndet.

Die ganze oder teilweise Weitergabe des Werks ausserhalb des Unterrichts in kopierter, digital gespeicherter oder anderer Form ohne schriftliche Einwilligung von Compendio Bildungsmedien AG ist untersagt.

In diesem Lehrmittel sind Links auf Websites von Drittanbietern angegeben. Inhalte dieser externen Websites geben nicht die Haltung von Compendio wieder und Compendio übernimmt für diese keine Gewähr, insbesondere hinsichtlich Rechtmässigkeit, inhaltlicher Richtigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit oder Vollständigkeit der verlinkten Inhalte. Die Datenschutzvorkehrungen auf den verlinkten externen Websites obliegen dem Drittanbieter. Bitte informieren Sie sich über den Datenschutz direkt auf diesen Websites.

Compendio Bildungsmedien AG produziert seine Lehrmittel, wenn immer möglich und sinnvoll, in der Schweiz und achtet dabei auf kurze Transportwege. Die Printausgabe dieses Buchs wird über einen externen Produktionspartner hergestellt, der Massnahmen zur Reduktion von Emissionen und zum Klimaschutz umsetzt und FSC®-zertifiziert ist. Mehr zum Umweltbekenntnis von Compendio Bildungsmedien finden Sie unter: www.compendio.ch/Umwelt

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur fünften Auflage 6

Teil A Grundlagen, Biotop, Beziehungen und Populationen 9

1 Grundlagen der Ökologie 10
1.1 Fragen und Ziele der Ökologie 10
1.2 Lebewesen und Umwelt 11
Zusammenfassung 15
Repetitionsfragen 16

2 Abiotische Ökofaktoren 17
2.1 Toleranzkurven und ökologische Potenz 18
2.2 Temperatur 26
2.3 Licht 35
2.4 Wasser 39
Zusammenfassung 44
Repetitionsfragen 47

3 Beziehungen zwischen den Lebewesen 49
3.1 Innerartliche Beziehungen 50
3.2 Zwischenartliche Konkurrenz und Einnischung 53
3.3 Fressfeind-Beute-Beziehungen 61
3.4 Parasit-Wirt-Beziehungen 64
3.5 Symbiosen 72
Zusammenfassung 78
Repetitionsfragen 80

4 Populationen 82
4.1 Bedeutung, Grösse und Verteilung von Populationen 82
4.2 Populationswachstum 85
4.3 Regulation der Populationsdichte 89
4.4 Wechselwirkungen zwischen Räuber und Beute 91
4.5 Vielfalt und Stabilität 95
Zusammenfassung 96
Repetitionsfragen 98

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

Teil B Biozönosen und Ökosysteme 101

5 Biozönosen und Ökosysteme 102
5.1 Produzenten, Konsumenten und Destruenten 103
5.2 Nahrungskette und Nahrungsnetze 105
5.3 Produktivität und Energiedurchfluss 106
5.4 Stoffkreisläufe 112
5.5 Gleichgewicht, Stabilität und Vielfalt 117
5.6 Entwicklung von Ökosystemen: Sukzession 120
Zusammenfassung 122
Repetitionsfragen 125

6 Der See als Ökosystem 128
6.1 Lebensräume und Bewohner eines Sees 128
6.2 Temperaturschichtung und Zirkulation 134
6.3 Nährstoffgehalt und Eutrophierung 135
6.4 Verlandung und Sukzession 137
Zusammenfassung 140
Repetitionsfragen 141

7 Der Wald als Ökosystem 143
7.1 Definition und Struktur des Waldes 143
7.2 Waldentwicklung und Waldtypen 145
7.3 Stoffproduktion und Nahrungspyramide im Wald 151
7.4 Bewohner des Waldes 152
7.5 Wirkung und Bedeutung des Waldes 154
Zusammenfassung 157
Repetitionsfragen 158

Teil C Mensch und Umwelt 161

8 Globale Umweltprobleme, Bevölkerungswachstum 162
8.1 Der Mensch als Verursacher globaler Umweltprobleme 163
8.2 Bevölkerungsentwicklung 165
8.3 Ökologischer Fussabdruck 167
8.4 Steigender Bedarf und Verschleiss 168
8.5 Ziele und Instrumente des Umweltschutzes 171
Zusammenfassung 174
Repetitionsfragen 175

9 Beschaffung von Wasser und Nahrung 177
9.1 Wasser 177
9.2 Nahrungsbedarf und Nahrungsproduktion 179
9.3 Entwicklung der Landwirtschaft 181
9.4 Pflanzenschutz 185
9.5 Biologische Landwirtschaft und Integrierte Produktion 189
Zusammenfassung 190
Repetitionsfragen 192

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

10 Energieverbrauch 194
10.1 Entwicklung des globalen Energieverbrauchs 194
10.2 Fossile Energie 196
10.3 Kernenergie 199
10.4 Erneuerbare Energien 199
Zusammenfassung 202
Repetitionsfragen 204

11 Veränderungen von Ökosystemen und Biozönosen 205
11.1 Landschaftsveränderungen 205
11.2 Veränderungen von Biozönosen 206
Zusammenfassung 208
Repetitionsfragen 209

12 Belastungen der Luft und Klimaveränderungen 210
12.1 Grundlagen 210
12.2 Veränderung des Erdklimas 213
12.3 Smog und Ozon 226
12.4 Saure Niederschläge 229
12.5 Ozonabbau in der Stratosphäre 232
12.6 Luftqualität in der Schweiz: Bilanz 236
Zusammenfassung 238
Repetitionsfragen 242

13 Belastungen von Gewässern und Böden 245
13.1 Belastungen der Gewässer 245
13.2 Abwasserreinigung in der Kläranlage 249
13.3 Belastungen des Bodens 255
Zusammenfassung 260
Repetitionsfragen 262

Teil D Anhang 265

Antworten zu den Repetitionsfragen 266
Glossar 284
Stichwortverzeichnis 304

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

Vorwort zur fünften Auflage

Die **Ökologie** ist heute in allen Medien ein präsentes Fachgebiet. Themen wie der durch Treibhausgase verursachte Klimawandel oder der Verlust der Artenvielfalt werden täglich diskutiert. Fundierte Kenntnisse werden dabei jedoch nicht immer vermittelt. Dieses Lehrmittel für Maturitätsschulen vermittelt solide Grundlagen zur Ökologie, untersucht auf wissenschaftlicher Basis die Belastungen der Umwelt durch den Menschen und sucht gangbare Wege, sie zu vermindern. Viele dieser Belastungen sind global und gefährden die Umwelt in einem Ausmass, das für Organismen einschliesslich des Menschen schwerwiegende Folgen haben kann.

Inhalt und Aufbau

Das vorliegende Lehrmittel «Ökologie» setzt drei Schwerpunkte:

Im **Teil A** stehen die allgemeinen Grundlagen und Fragestellungen der Ökologie im Zentrum. Behandelt werden unbelebte (abiotische) Umweltfaktoren wie Temperatur, Licht und Wasser und deren Wirkung auf Pflanzen und Tiere in verschiedenen Lebensräumen. Danach werden Beziehungen zwischen Artgenossen (innerartliche Beziehungen) und zwischen Lebewesen verschiedener Arten (zwischenartliche Beziehungen) betrachtet. Abschliessend geht es um Populationen und die Gesetzmässigkeiten ihrer Entwicklung.

Hauptthemen des **Teils B** sind ganze Ökosysteme und ihre Lebensgemeinschaften (Biozönosen), die aus vielen Populationen zusammengesetzt sind. Es werden verschiedene Stoffkreisläufe dargestellt und Wechselwirkungen zwischen abiotischen Faktoren und Lebewesen aufgezeigt. Nischenvielfalt und Stabilität des biozönotischen Gleichgewichts sind hier ebenfalls wichtige Themen. Anhand von zwei Beispielen, den Ökosystemen See und Wald, wird gezeigt, wie sich Ökosysteme im Lauf der Zeit verändern und wie solche Sukzessionen verlaufen.

Der **Teil C** ist der angewandten Ökologie gewidmet und behandelt die wichtigsten Fragen im Zusammenhang mit den Umweltveränderungen durch den Menschen. Dabei werden zunächst die Auswirkungen des Wachstums der Weltbevölkerung und verschiedener menschlicher Aktivitäten auf die Umwelt analysiert. Anschliessend werden Umweltbelastungen und ihre Folgen nach Umweltbereichen (Luft, Wasser und Boden) und Problemkreisen wie Klimawandel, Smog, Ozonloch, Gewässerverschmutzung und Bodenerosion geordnet betrachtet. Ergänzend werden mögliche Gegenmassnahmen beschrieben.

Zielgruppe

Der Inhalt des Lehrmittels ist an die «Richtlinien für die schweizerische Maturitätsprüfung» angepasst und richtet sich deshalb vor allem an Absolvierende einer Maturitätsschule. Der vermittelte Stoff deckt das in den Richtlinien formulierte Programm zum Thema Ökologie ab.

«Ökologie» eignet sich für den Unterricht, aber auch dank verschiedenster lernfreundlicher Elemente wie Zusammenfassungen, Repetitionsfragen mit Antworten und eines Glossars für das Selbststudium. Darüber hinaus liefert es allen Interessierten die fachlichen Kenntnisse, um fundiert zu ökologischen Themen Stellung zu nehmen.

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

Zur aktuellen Auflage

Die **Teile A und B** wurden inhaltlich überprüft, fachlich präzisiert und an das neue Verlagslayout angepasst; zahlreiche Fotos, Abbildungen, Aufgaben, Zusammenfassungen und Fachbegriffe wurden überarbeitet oder erneuert. Für zentrale ökologische Grundbegriffe und Konzepte wurde eine neue, konsistente fachliche Basis erarbeitet und an allen betroffenen Stellen in Texten und Abbildungen umgesetzt.

Im **Teil C** «Mensch und Umwelt» wurden das Datenmaterial und zahlreiche Abbildungen umfassend aktualisiert, sofern belastbare neue Daten und Forschungsergebnisse bis zum Abschluss der Überarbeitung (Sommer 2026) verfügbar waren. Dabei wurden u. a. der Synthesebericht 2023 des Weltklimarats (IPCC) sowie zahlreiche weitere aktuelle Datenreihen und Quellen offizieller Institutionen berücksichtigt. Zu den neu aufgenommenen oder wesentlich erweiterten Themen gehören die Darstellung beschleunigter globaler Umweltveränderungen, aktuelle Entwicklungen der Energieversorgung, Klimaschutz und Anpassung an die Folgen der Erwärmung sowie Mikroverunreinigungen und moderne Verfahren der Abwasserreinigung. Das Glossar wurde vollständig überarbeitet, an die neue fachliche Basis und die aktualisierten Inhalte angepasst sowie um fehlende Schlüsselbegriffe ergänzt.

Zusammensetzung des Autorenteams

Dieses Lehrmittel wurde von Markus Bütikofer unter Mitarbeit von Oliver Lüde, Guido Rutz und Felix Zürcher verfasst. Die dritte Auflage, namentlich der Teil C, wurde von Andrea Grigoleit und Guido Rutz überarbeitet. Für die vierte Auflage wurde vor allem der Teil C von Karel Hornak fachlektoriert und aktualisiert.

Die vorliegende fünfte Auflage wurde von Stefan Aeppli auf Grundlage der bisherigen Ausgabe umfassend überarbeitet und fachlich aktualisiert. Das Fachlektorat erfolgte durch Guido Rutz.

Zürich, im November 2026

Stefan Aeppli, Autor
Andrea Grigoleit, Redaktorin

Wir sind für Sie da.

Haben Sie **Fragen oder Anregungen** zu diesem Lehrmittel? Dann teilen Sie uns Ihr Anliegen gerne über unsere E-Mail-Adresse info@compendio.ch mit.

Abonnieren Sie unseren Newsletter unter www.compendio.ch/Newsletter, um informiert zu bleiben.

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

6 Der See als Ökosystem

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels können Sie …

- die Lebensräume eines Sees beschreiben.
- die Vegetationsgürtel der Uferzone beschreiben und Beispiele tierischer Bewohner nennen.
- den Begriff Plankton erklären und Vertreter nennen.
- die Temperaturschichtung und die Zirkulation eines Sees im Jahresverlauf erklären und ihre Bedeutung für die Sauerstoff- und Mineralstoffverteilung darlegen.
- die jahreszeitliche Entwicklung in einem oligotrophen See erklären.
- Ursachen und Folgen der Eutrophierung eines Sees erörtern.
- die Sukzession bei der Verlandung beschreiben.
- die Bildung eines Hochmoors erklären.

Schlüsselbegriffe

Benthal, Eutrophierung, Hochmoor, Litoral, Nährschicht, Pelagial, Phytoplankton, Profundal, Verlandung, Zehrschicht, Zirkulation, Zooplankton

compendio Bildungsmedien Leseprobe

Ökosysteme und ihre Biozönosen können sich, auch wenn sie kurzzeitig stabil sind, langsam verändern. So treten bei der Erst- oder Neubesiedlung einer Fläche verschiedene Biozönosen nacheinander auf. Der Ablauf einer solchen Sukzession wird in diesem Kapitel am Beispiel eines Sees betrachtet.

6.1 Lebensräume und Bewohner eines Sees

6.1.1 Gliederung

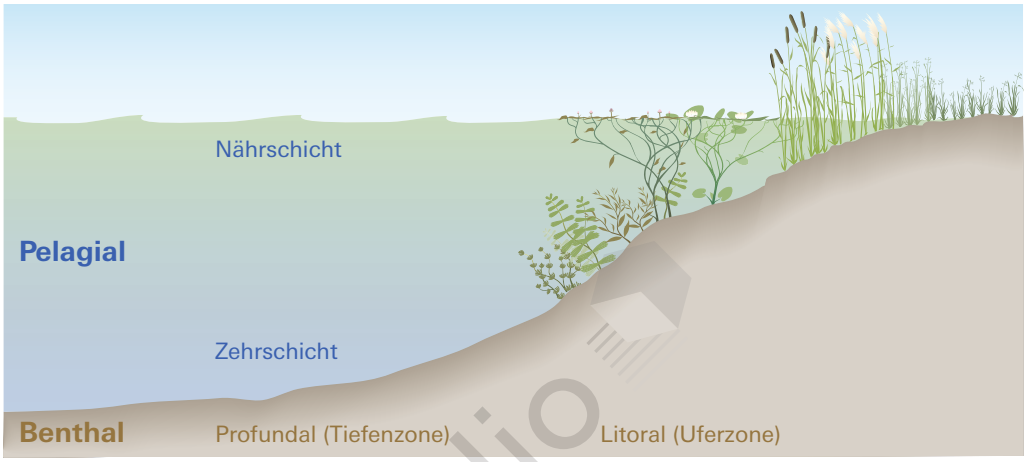
Bereiche

Ein **See** ist kein einheitliches Ökosystem. Er ist in verschiedene **Bereiche** mit unterschiedlichen abiotischen Bedingungen und Biozönosen gegliedert. Der **Freiwasserbereich (Pelagial)** gliedert sich in die oberflächennahe **Nährschicht** und die darunterliegende **Zehrschicht.** Die **Bodenzone (Benthal)** umfasst die **Uferzone (Litoral)** und die **Tiefenzone (Profundal)** (vgl. Abb. 6-1).

Schichten

Weil das Wasser und darin enthaltene Schwebeteilchen das Licht absorbieren, nimmt die Helligkeit mit zunehmender Wassertiefe ab. Das hat zur Folge, dass nur in der oberflächennahen **Nährschicht** mehr Biomasse produziert als in den Nahrungsketten verbraucht wird. Ein Teil dieses Materials sinkt ab und wird in der lichtarmen **Zehrschicht,** wo mehr Biomasse zerlegt als produziert wird, abgebaut.

Abb. 6-1 Räumliche Gliederung eines Sees



Ein See ist in verschiedene Bereiche gegliedert, die sich in ihren abiotischen Bedingungen und Biozönosen unterscheiden.

6.1.2 Uferzone (Litoral)

Die **Uferzone** ist durch die unterschiedliche Wassertiefe bzw. Bodenfeuchtigkeit in verschiedene **Gürtel** mit entsprechend angepassten Bewohnern gegliedert (vgl. Abb. 6-2). Diese Gürtel sind an ihren **Pflanzengesellschaften** erkennbar und auch nach ihnen benannt.

A] Pflanzengesellschaften der Uferzone

Bruchwald

Im **Uferbereich** des Sees steht der Grundwasserspiegel sehr hoch. Die Böden sind nass, meist nährstoffarm und torfig. Von den Bäumen gedeihen hier **Flachwurzler** wie **Grauweide, Schwarzerle** und **Faulbaum.** Weil sie im weichen Boden kaum Halt finden, stürzen viele um. Man nennt diesen Wald darum **Bruchwald.** Die **Erle** gedeiht auch auf sehr stickstoffarmen Böden, weil sie in Symbiose mit Knöllchenbakterien lebt, also mit stickstofffixierenden Bakterien in Wurzelknöllchen. Auf etwas trockeneren Böden dominiert die **Birke.**

Seggenried

Im **Seggenried,** das zeitweise überschwemmt ist, wachsen die feuchtigkeitsliebenden **Seggen.** Sie bilden oft Horste, deren Kuppen als Nistplätze begehrt sind, weil sie auch in feuchten Zeiten über dem Wasser stehen.

Röhrichtgürtel

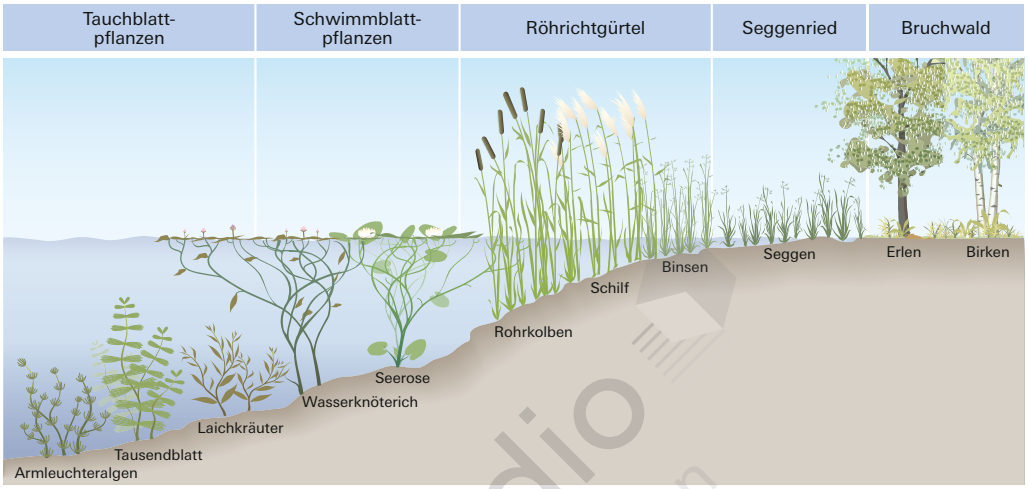
Im **Röhrichtgürtel** treffen wir **Schilf, Rohrkolben und Binsen.** Das Schilf bildet lange waagrecht wachsende Erdsprosse, die seine Standfestigkeit erhöhen. An den Knoten treiben neue Halme und bilden dichte Bestände, die das Ufer vor Wind und Wellen schützen.

Schwimmblattpflanzen

In der Zone der **Schwimmblattpflanzen** gedeihen **Seerosen** und **Wasserknöterich.** Die Schwimmblattpflanzen wurzeln im Bodengrund, während Blüten und Blätter auf dem Wasser liegen. Die langen Blattstiele enthalten Interzellular-Kanäle, durch die Luft zu den Wurzeln im sauerstoffarmen Boden geleitet wird. Die Blätter sind mit einer wasserabweisenden Wachsschicht überzogen und die Spaltöffnungen liegen auf der Blattoberseite.

compendio Bildungsmedien Leseprobe

Abb. 6-2 Vegetationsgürtel der Uferzone



Die Uferzone ist in Gürtel mit unterschiedlichen Vegetationsformen und Standortbedingungen gegliedert.

Tauchblattpflanzen

In der Zone der **Tauchblattpflanzen** leben die **Wasserpflanzen und Algen** ganz untergetaucht, einzig die Blüten der Blütenpflanzen können über die Wasseroberfläche hinausragen. Tauchblattpflanzen, wie **Laichkraut und Wasserpest, sowie Armleuchteralgen** nehmen das Kohlenstoffdioxid für die Fotosynthese aus dem Wasser auf, wo es wie der Sauerstoff gelöst ist. Da sie bei der Fotosynthese mehr Sauerstoff produzieren, als sie bei der Atmung verbrauchen, tragen sie zur Sauerstoffversorgung der wasserbewohnenden Konsumenten bei.

Viele Tauchblattpflanzen haben feine, zerschlitzte Blätter, die gesamthaft eine sehr grosse Oberfläche für den Stoffaustausch besitzen. Zudem werden sie von Wasserbewegungen weniger leicht beschädigt als grossflächige Blätter.

Abb. 6-3 Uferzone eines Sees



Die Uferzone ist durch Röhricht, Schwimmblattpflanzen und weitere Ufervegetation geprägt.
Bild: Daniele SCHNEIDER / Getty Images

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

B] Tierische Bewohner der Uferzone

Die Uferzone beherbergt auf engem Raum viele Tierarten mit unterschiedlichen ökologischen Nischen. Einige leben ganz im Wasser, andere nur zeitweise oder in bestimmten Lebensphasen. Wir betrachten einige Beispiele:

Wasseroberfläche

Auf der **Wasseroberfläche** spazieren **Wasserläufer** und unter ihr rudern **Rückenschwimmer** mit dem Bauch nach oben. **Mückenlarven** hängen an der Wasseroberfläche und atmen durch eine Art Schnorchel. Direkt unter der Wasseroberfläche leben Mikroorganismen wie **Bakterien, Algen** und **Einzeller.**

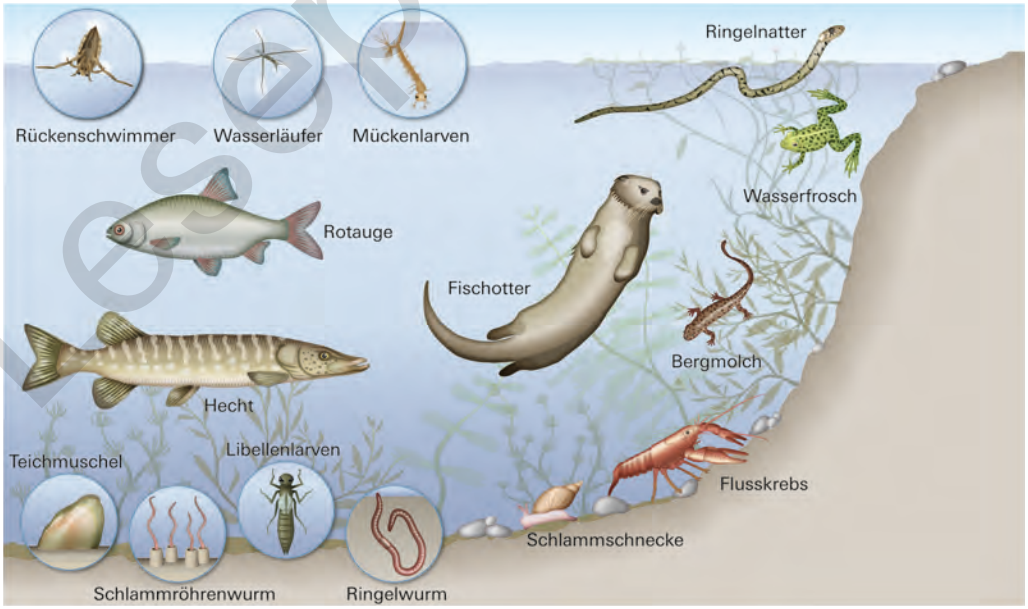
Boden

Im und auf dem **Boden,** in dem die **Sprosspflanzen** wurzeln, lebt auch ein grosser Teil der Konsumenten und Destruenten: **Würmer, Insektenlarven, Schnecken, Muscheln, Wasserasseln, Krebse** etc. Viele bewegen sich ähnlich wie Landbewohner, besitzen aber zum Teil Atmungsorgane, mit denen sie den im Wasser gelösten Sauerstoff aufnehmen können. Insekten wie Wasserkäfer, Wasserwanzen und die vielen Schnecken holen an der Wasseroberfläche Luft. Bewohner der Tiefenzone wie der **Schlammröhrenwurm** kommen mit sehr tiefen Sauerstoffkonzentrationen aus.

Wirbeltiere

Viele **Fische** des Pelagials finden zwischen den Wasserpflanzen der Uferzone Nahrung und Laichplätze. Von den **Amphibien** lebt bei uns nur der **Wasserfrosch** das ganze Jahr im Wasser, aber fast alle **Frösche, Kröten** und **Molche** kommen zur Laichzeit ans Wasser. Sie gehören zur bevorzugten Beute der **Ringelnatter,** die als Reptil ein Landbewohner ist, aber gut schwimmen kann. Von den Säugern trifft man im Uferbereich den **Fischotter** und als Gast den Iltis.

Abb. 6-4 Tiere im See



Die Uferzone bietet auf engem Raum Lebensraum für viele Tierarten mit unterschiedlichen ökologischen Nischen.

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

12 Belastungen der Luft und Klimaveränderungen

Lernziele

Nach der Bearbeitung dieses Kapitels können Sie …

- die wichtigsten globalen Luftprobleme und ihre Ursachen nennen.
- den natürlichen und anthropogen verstärkten Treibhauseffekt und die Bedeutung der Ozonschicht erklären.
- Ursachen und Folgen des Klimawandels darlegen und Gegenmassnahmen erörtern.
- Entstehung des Sommersmogs und die Rolle von bodennahem Ozon erklären und Gegenmassnahmen nennen.
- Gründe der Versauerung der Niederschläge darlegen.
- Ursachen und Folgen des Ozonlochs beschreiben und Gegenmassnahmen erörtern.

Schlüsselbegriffe

Atmosphäre, Distickstoffmonoxid, FCKW, Klimawandel, Kohlenstoffdioxid, NMVOC, Ozon, Ozonloch, saure Niederschläge, Sommersmog, Treibhauseffekt

In diesem Kapitel besprechen wir die gravierenden Belastungen des Umweltbereichs Luft und deren Auswirkungen auf das Weltklima.

12.1 Grundlagen

12.1.1 Stockwerke der Atmosphäre

Die **Atmosphäre** ist die Gashülle der Erde. Sie besteht aus mehreren Schichten, die sich in Temperatur, Druck, Einstrahlung und Dichte unterscheiden und in denen darum unterschiedliche Reaktionen ablaufen. Für das Leben auf der Erde sind v. a. die untersten zwei Schichten massgebend: die **Troposphäre** und die **Stratosphäre:**

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

12.2 Veränderung des Erdklimas

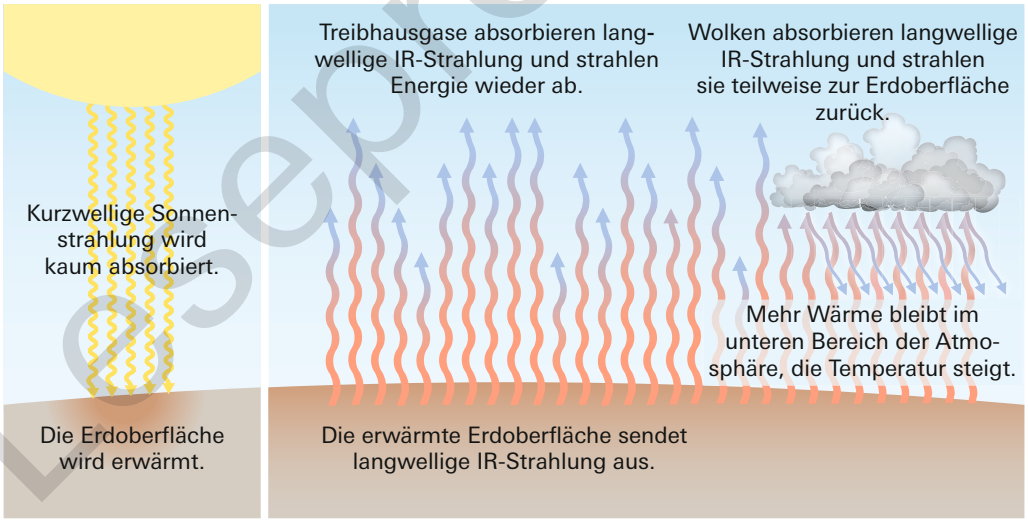
12.2.1 Natürlicher Treibhauseffekt und anthropogene Verstärkung

Um den heutigen Klimawandel zu verstehen, muss zuerst der **natürliche Treibhauseffekt** betrachtet werden. Das **Klima** auf der Erde **ist von der Zusammensetzung der Lufthülle abhängig.** Die kurzwellige **Sonnenstrahlung** (ca. 300–2500 nm; vor allem sichtbares Licht und nahes Infrarot) **durchdringt die Atmosphäre** weitgehend und wird zu einem grossen Teil **von der Erdoberfläche absorbiert.** Dadurch **erwärmt** sich die Erdoberfläche. Sie gibt diese Energie zeitverzögert wieder ab – allerdings als langwellige Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung). Diese **Infrarotstrahlung** hat eine grössere Wellenlänge (> 740 nm) als die Einstrahlung von der Sonne und wird darum **in der Luft von den sogenannten Treibhausgasen absorbiert.** Bei der Absorption wird die Strahlung vom Gas «verschluckt» und ihre Energie beschleunigt die Bewegung der Gasteilchen. Dadurch steigt die Temperatur des Gases.

Die Treibhausgase absorbieren also die Wärmestrahlung der Erde und heizen sich und dadurch die Luft auf. Sie geben einen Teil dieser Energie als langwellige Infrarotstrahlung wieder ab – auch zurück Richtung Erdoberfläche. Dadurch bleibt mehr Wärme im unteren Bereich der Atmosphäre, und die Temperatur steigt.

Die nicht absorbierte Wärmestrahlung kann von Wolken absorbiert und ebenfalls teilweise zurück Richtung Erdoberfläche abgestrahlt werden oder die Atmosphäre verlassen. Je höher die Konzentration der Treibhausgase ist, umso mehr langwellige Infrarotstrahlung wird absorbiert. Dadurch bleibt zusätzliche Wärme im unteren Bereich der Atmosphäre.

Abb. 12-4 Natürlicher Treibhauseffekt



Treibhausgase und Wolken lassen einen grossen Teil der kurzwelligen Sonnenstrahlung weitgehend zur Erdoberfläche gelangen. Sie absorbieren aber einen Teil der von der Erde ausgehenden langwelligen Infrarotstrahlung und strahlen einen Teil der Energie zurück Richtung Erdoberfläche. Dadurch bleibt mehr Wärme im unteren Atmosphärenbereich, und die Temperatur steigt. Dieser natürliche Treibhauseffekt erhöht die mittlere Temperatur der Erde von etwa –18 °C auf etwa +15 °C.

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

Der **natürliche Treibhauseffekt** erhöht die mittlere Jahrestemperatur auf der Erde von –18 °C auf 15 °C. Ohne natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde also im Mittel etwa –18 °C kalt; mit natürlichem Treibhauseffekt liegt die mittlere Temperatur bei etwa +15 °C. Diese natürliche Erwärmung um rund 33 °C ist eine **wichtige Voraussetzung** dafür, dass auf der Erde **Leben in der heutigen Form möglich** ist. Wie aus Abb. 12-5 ersichtlich ist, beruht er hauptsächlich auf Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Ozon, Distickstoffmonoxid und Methan.

Abb. 12-5 Beiträge natürlicher Treibhausgase zum Treibhauseffekt



Ungefähre Beiträge der natürlichen Treibhausgase zum natürlichen Treibhauseffekt.

Weil die natürlichen Treibhausgase abgesehen vom Wasserdampf in der sauberen Luft **nur in winzigen Mengen vorkommen** (vgl. Abb. 12-2), **fällt die Erhöhung ihrer Konzentrationen durch von Menschen verursachte Emissionen, sogenannte anthropogene Emissionen, so stark ins Gewicht, dass die Treibhauswirkung deutlich verstärkt wird.** Die Verstärkung der Wärmeabsorption wird als **anthropogener Treibhauseffekt** bezeichnet. Der anthropogene Treibhauseffekt beeinflusst den Wärmehaushalt der Erde und führt zu gravierenden Veränderungen des Klimas.

12.2.2 Der beobachtete Klimawandel

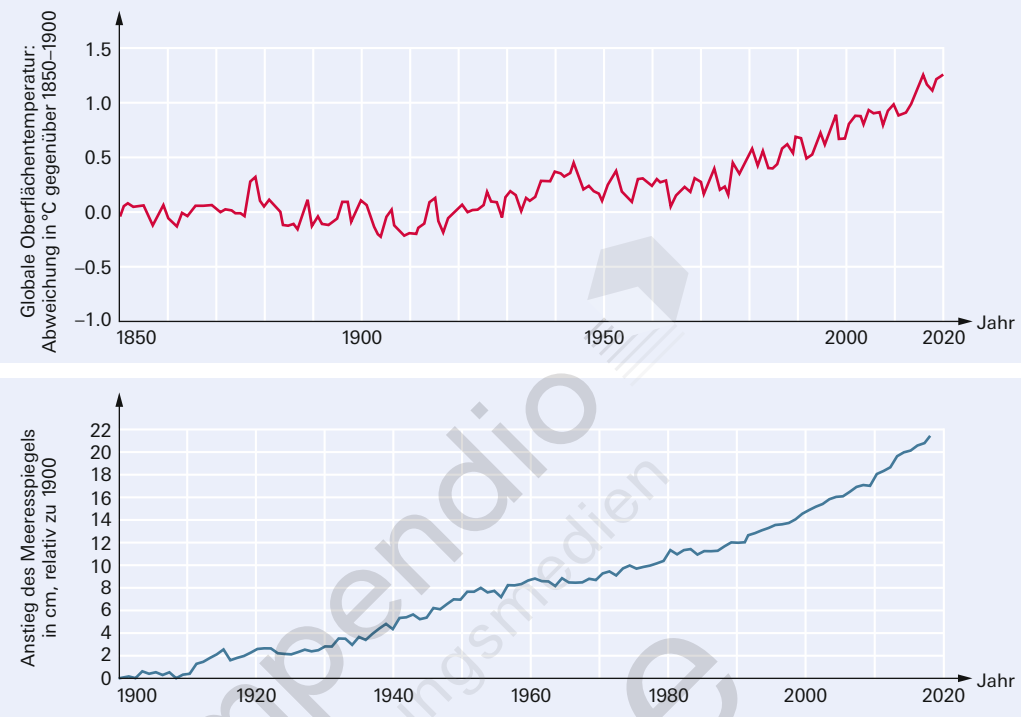
Obwohl die Grundtatsachen des anthropogenen Treibhauseffekts schon seit Ende der 1950er-Jahre des 20. Jahrhunderts, also seit rund 70 Jahren, bekannt sind[1], wurde (und wird) seine Wirkung auf das Klima lange verharmlost oder bestritten. Die folgende Darstellung über die Klimaänderung und ihre Ursachen stützt sich auf den **Klimabericht 2023**[2] des **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change), der die Ergebnisse der drei Arbeitsgruppenberichte und der drei Sonderberichte des sechsten IPCC-Sachstandsberichts zusammenfasst. Dieser Klimabericht beruht auf der **wissenschaftlichen Arbeit von über 700 Klimaforschenden aus 90 Ländern.**

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

[1] Vgl. Plass, 1956; Revelle & Suess, 1957; Keeling, 1960. Diese Arbeiten gehören zu den grundlegenden Publikationen der modernen Forschung zum anthropogenen Treibhauseffekt und zum atmosphärischen CO_2-Anstieg.

[2] IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*.

Abb. 12-6 Globale Erwärmung und Anstieg des Meeresspiegels



Die globale Oberflächentemperatur lag 2011–2020 im Mittel rund 1.1 °C höher als 1850–1900. Der globale mittlere Meeresspiegel stieg zwischen 1901 und 2018 um rund 20 cm. Beide Entwicklungen zeigen eine deutliche Veränderung des Erdklimas. Quelle: IPCC: Climate Change 2023: Synthesis Report

Messbare Tatsachen zeigen, dass sich das Erdklima in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert hat:

- Die **globale Oberflächentemperatur** ist mittlerweile rund **1.1 °C höher** als in der vorindustriellen Vergleichsperiode 1850–1900.
- Jedes der letzten vier Jahrzehnte war **wärmer** als jedes Jahrzehnt seit 1850.
- Die globale Oberflächentemperatur ist seit 1970 schneller gestiegen als in jedem anderen 50-Jahre-Zeitraum seit mindestens 2000 Jahren.
- Die Häufigkeit heftiger **Niederschläge** hat in den meisten Landregionen mit ausreichenden Daten seit den 1950er-Jahren **zugenommen.**
- Die jährliche **Ausbreitung des arktischen Meereises** hat seit Beginn der Satellitenmessungen stark **abgenommen:** Jeweils im Monat September, wenn die arktische Meereisfläche ihr jährliches Minimum erreicht, war sie 2010–2019 im Mittel etwa 40% kleiner als 1979–1988.
- Die **Temperaturen** in den oberen Schichten des **Permafrostbodens** sind seit den 1980er-Jahren **gestiegen;** zugleich taut Permafrost in vielen Regionen auf.
- **Ozeane** haben sich seit den 1970er-Jahren **deutlich erwärmt.** Der obere Ozean von 0–700 m ist wärmer geworden; insgesamt entfielen etwa 91% der zusätzlichen Wärmeaufnahme im Klimasystem auf die Ozeane.
- Der **Meeresspiegel** ist in der Zeit von 1901 bis 2018 um 20 cm **gestiegen.** Davon sind 50% verursacht durch die thermische Ausdehnung, 22% durch Abschmelzen der Gebirgsgletscher, 20% durch das Abschmelzen der Eisschilde und 8% durch veränderte Wasserspeicherung an Land.

compendio Bildungsmedien Leseprobe

Zusammenfassung

12.1

Die **Troposphäre** ist die unterste, etwa 15 km dicke Schicht der **Atmosphäre.** Sie enthält neben Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%) Edelgase wie Argon und winzige Mengen von Spurengasen wie Kohlenstoffdioxid (0.042%), Methan, Kohlenstoffmonoxid, Ozon etc.

In der **Stratosphäre** 15–50 km über dem Erdboden bildet sich unter Einwirkung kurzwelliger UV-Strahlung Ozon (O_3). Die **Ozonschicht schützt die Lebewesen** auf der Erde vor der kurzwelligen UV-Strahlung, indem sie diese absorbiert.

Emissionen können Lebewesen direkt schädigen wie das giftige Kohlenstoffmonoxid oder zur Bildung von sekundären Schadstoffen wie **bodennahmen Ozon** führen. Ozon wirkt also je nach Höhe unterschiedlich: In der Stratosphäre schützt es vor UV-Strahlung, in der Troposphäre ist es als bodennahes Ozon ein Luftschadstoff und Treibhausgas. Emissionen können die Absorption von Licht und den Wärmehaushalt der Erde beeinflussen und dadurch das Klima verändern **(Treibhauseffekt).** Ozonabbauende Stoffe können zudem die **Ozonschicht** in der Stratosphäre schädigen. Viele Schadstoffe gelangen aus der Luft durch Auswaschung oder Ablagerung in Gewässer oder Böden.

Folgen der Luftbelastungen sind: **Klimawandel** durch den anthropogenen Treibhauseffekt, fotochemischer Smog bzw. **Sommersmog,** Ozonabbau in der Stratosphäre und **saure Niederschläge.**

12.2

Treibhausgase absorbieren die Wärmestrahlung der durch die Sonne erwärmten Erde und heizen sich und damit die Luft auf. Sie geben einen Teil dieser Energie als langwellige Infrarotstrahlung wieder ab – auch zurück Richtung Erdoberfläche. Je höher ihre Konzentration ist, umso grösser ist der Anteil der Wärme, der im unteren Bereich der Atmosphäre bleibt. Der **natürliche Treibhauseffekt,** der hauptsächlich auf **Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Ozon, Distickstoffmonoxid** und **Methan** beruht, erhöht die mittlere Jahrestemperatur von –18 °C auf 15 °C und ist damit eine wichtige Voraussetzung für die Lebensbedingungen auf der Erde.

Messbare Tatsachen zeigen, dass sich das **Erdklima** in den letzten Jahrzehnten deutlich **verändert hat:**

- Die globale Oberflächentemperatur ist mittlerweile rund 1.1 °C höher als in der vorindustriellen Vergleichsperiode 1850–1900.
- Jedes der letzten vier Jahrzehnte war wärmer als jedes vorangegangene Jahrzehnt seit 1850.
- Die globale Oberflächentemperatur ist seit 1970 schneller gestiegen als in jedem anderen 50-Jahre-Zeitraum seit mindestens 2000 Jahren
- Die Häufigkeit heftiger Niederschläge hat in den meisten Landregionen mit ausreichenden Daten seit den 1950er-Jahren zugenommen.
- Gletscher, die Eisschilde in Grönland und der Antarktis sowie das arktische Meereis haben abgenommen.
- Die jährliche Ausbreitung des Meereises in der Arktis hat seit Beginn der Satellitenmessungen stark abgenommen; jeweils im Monat September, wenn die arktische Meereisfläche ihr jährliches Minimum erreicht, war sie 2010–2019 im Mittel etwa 40% kleiner als 1979–1988.
- Die Temperatur in den oberen Schichten des Permafrostbodens ist seit den 1980er-Jahren gestiegen; zugleich taut Permafrost in vielen Regionen auf.

compendio Bildungsmedien
Leseprobe

12.6

Trotz Verminderung der Emissionen durch technische Massnahmen (Autokatalysator, Low-NO_x-Brenner, Entschwefelung der Brennstoffe) hat die **Schweiz** weiterhin **Probleme mit der Luftqualität.** Die **Grenzwerte** für Ozon werden noch häufig **überschritten;** Stickstoffdioxid und Feinstaub können lokal weiterhin problematisch sein. Auch die Stickstoffeinträge aus der Luft sind für empfindliche Ökosysteme vielerorts zu hoch. Kohlenstoffdioxid ist kein klassischer Luftschadstoff, aber ein wichtiges Treibhausgas; seine Emissionen müssen für den Klimaschutz weiter sinken.

Repetitionsfragen

12.1

84 Lösung Seite 279

Geben Sie für jeden Schadstoff oder jedes Treibhausgas an, zu welchem oder welchen Luftproblemen er beiträgt:

A] Kohlenstoffdioxid

B] Schwefeldioxid

C] NMVOC

D] FCKW

E] Stickoxide

85 Lösung Seite 279

Warum bildet sich aus Sauerstoff in der Stratosphäre Ozon und in der Troposphäre nicht?

12.2

86 Lösung Seite 279

Müsste es auf der Erde nicht kälter werden, wenn die Treibhausgase einen Teil der Wärmestrahlung der Erde absorbieren?

compendio Bildungsmedien Leseprobe