

II.B.3

Thermodynamik

Die Ursachen des aktuellen Klimawandels – Teil I: Die Grundlagen des Treibhauseffekts

Christian Döllinger, Übersee am Chiemsee
Illustrationen von: Dr. Wolfgang Zettlmeier



© RAABE 2019

© iStock / Thinkstock

Sin flutartige Überschwemmungen, Erdbeben, Sturmkatastrophen und Sturmfluten an den Küsten, Hitzewellen in den gemäßigten Breiten und Dürreperioden, winterliche Niederschläge, die z. B. im Alpenraum zunehmend als Regen statt Schnee fallen – sind dies Folgen oder Vorboten des Klimawandels? Bei jeder Naturkatastrophe werden Klimaforscher mit dieser Frage konfrontiert. Gehen Sie mit Ihren Schülern den Ursachen von Treibhauseffekt und Klimawandel auf den Grund.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe/Lernjahr:	12/13 (G9)
Dauer:	7 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	1. Leseverstehen: Lektüre von Sachtext; 2. Größere Mengen von Informationen aus wissenschaftlichen Texten zusammenfassen und präsentieren
Thematische Bereiche:	1. Die Temperatur; 2. Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung; 3. Die Strahlungsgesetze; 4. Die Sonnenstrahlung
Zusatzmaterialien:	Power-Point-Präsentation zum Klimawandel (auf CD-ROM 57)

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Was ist „Klima“?

Das **Klima** beschreibt den Zustand des Klimasystems über einen längeren Zeitraum. Zum Klimasystem zählen außer der **Atmosphäre** die **Ozeane**, die **Eis- und Schneeflächen** auf der Erde (Kryosphäre), die **Erdkruste** (Lithosphäre) und die **Biosphäre** mit der Vegetation.

In der Klimaforschung wurde dafür eine Zeitspanne von 30 Jahren festgesetzt – die Zeitspanne einer Menschengeneration und ausreichend lang, um **Klimatrends** erkennen zu können. In diesem Sinne ist das Klima eine **statistische Größe**, die verschiedene Parameter wie **Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Windgeschwindigkeit** und **Bewölkung** umfasst. Das Klima entzieht sich unserer unmittelbaren Wahrnehmung: die bisherige globale Temperaturerhöhung fühlen wir nicht unmittelbar, dafür ist sie viel zu klein. Sie wird durch die weitaus größeren täglichen und jahreszeitlichen Schwankungen überdeckt.

Das Klima, eine statistische Größe

Zur **statistischen Auswertung** im Zusammenhang mit dem Klima sind die **Mittelwerte** etwa der Temperatur, Niederschlagsmenge oder Windgeschwindigkeit für sich allein betrachtet nur bedingt aussagekräftig: sie lassen zwar mögliche **Trends** offenbar werden, aus ihnen lassen sich aber keine Aussagen über eine Änderung der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen ableiten: um dies berücksichtigen zu können, muss man in den statistischen Auswertungen auch die Schwankungsbreite (Varianz) der betrachteten Größen im Beobachtungszeitraum erfassen.

Beispiel:

Bleibt der Mittelwert der Niederschlagsmenge in einem 30-Jahre Abschnitt konstant, so kann man daraus nicht ableiten, dass die Überschwemmungsgefahr im Gefolge von Starkniederschlägen unverändert geblieben ist: Längere Trockenperioden können bei der Mittelwertbetrachtung häufigere und stärkere Starkniederschlagsereignisse überdecken.

Wie äußert sich ein Wandel des Klimas?

Ein Wandel des Klimas äußert sich demnach in einer längerfristigen Änderung von einem oder mehreren der aufgeführten Parameter, etwa der Temperatur oder des Niederschlags.

Wenn sich über einen längeren Zeitraum von beispielsweise 30 Jahren bestimmte Wetterlagen gehäuft einstellen, lässt sich daraus ein Trend für eine Klimaveränderung ableiten. Dasselbe gilt für andere **Extremereignisse** wie **Starkregen mit Überschwemmungen**: nur wenn im betrachteten Zeitraum die Extremereignisse an Häufigkeit bzw. Intensität zunehmen, kann man dafür eine Klimaänderung in Betracht ziehen.

Auf einen Blick

1. Stunde

Thema: Einstieg: Parameter für Klimaänderungen
M 1 (Ab) Die Temperatur – der wichtigste Parameter bei der Feststellung von Klimaänderungen

2./3. Stunde

Thema: Der Klimawandel – vom Menschen verursacht?
M 2 (Ab) Die Ursachen für den Klimawandel
M 3 (Ab) Das Kohlenstoffdioxid
Hausaufgabe: Internetrecherche
Benötigt: Computer, Laptop oder Tablet mit Internetzugang

4. Stunde

Thema: Die Atmosphäre
M 4 (Ab) Die Schichtung der Atmosphäre
Hausaufgabe: Internetrecherche
Benötigt: Computer, Laptop oder Tablet mit Internetzugang

5. Stunde

Thema: Die Strahlung
M 5 (Ab) Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung
Hausaufgabe: Internetrecherche
Benötigt: Computer, Laptop oder Tablet mit Internetzugang
M 6 (Fo) Das elektromagnetische Spektrum
Benötigt: OHP bzw. Beamer/Whiteboard

6./7. Stunde

Thema: Ein Abriss der geschichtlichen Entwicklung – zur Sonnenstrahlung
M 7 (Ab) Die Strahlungsgesetze
Hausaufgabe: Internetrecherche
Benötigt: Computer, Laptop oder Tablet mit Internetzugang
M 8 (Ab) Das Spektrum der Sonnenstrahlung

Folgen der Industrialisierung

Für die leichte Temperaturabnahme in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts lässt sich eine plausible Erklärung finden: sie fällt mit einer Phase starker Ausweitung der **industriellen Produktion** und damit der **Verbrennung fossiler Brennstoffe** zur Bereitstellung der dazu benötigten Energie zusammen. Neben **Kohlenstoffdioxid** gelangten dabei als weitere Verbrennungsprodukte große Mengen kleiner und kleinster fester Schwebeteilchen, sog. **Aerosole**, mit einer Größe von einigen Nanometern bis zu mehreren Mikrometern, in die Atmosphäre, darunter in großer Zahl auch Sulfataerosole aus Kraftwerken, die sich in der Atmosphäre wie einige andere Aerosole mit einem Flüssigkeitsfilm überziehen.

Aufgrund ihrer geringen Größe sind sie für uns nicht sichtbar. Viele der auf diese Weise künstlich in die Atmosphäre eingebrachten Aerosole reflektieren einen nicht unerheblichen Teil der Sonnenstrahlung zurück ins Weltall (auch bei klarem Himmel) und verringern somit die der Erde zugute kommende Sonnenenergie. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer „**Verdunkelung**“ durch die Aerosole. Vor allem die Sulfataerosole waren zudem verantwortlich für den sog. „**sauren Regen**“, dem in den 70er- und frühen 80er-Jahren ganze Wälder vor allem in den östlichen Mittelgebirgen zum Opfer fielen; diese Umweltkatastrophe führte zum Einbau von wirksamen Filteranlagen in Kraftwerken und von Katalysatoren in Kraftfahrzeugen und damit verbunden zu einer erheblichen Reduzierung des Ausstoßes an Aerosolen, was zu einem Wiederanstieg der Temperatur in der bodennahen Atmosphäre ab Mitte der 80er-Jahre – ab 1990 sogar beschleunigt – führte.

Aufgabe

3. Geben Sie die Informationen des Textes stichpunktartig und mit eigenen Worten wieder.



© Schrotschop / E+ / Getty Images Plus



M 2



Die Ursachen für den Klimawandel

Die Frage nach der Ursache der Erwärmung in den letzten 150 Jahren und vor allem für die Geschwindigkeit, mit der sie sich in den letzten Dekaden vollzog und die im gegenwärtigen Erdzeitalter, dem **Holozän**, ohne Beispiel ist, gab Anlass zu heftigen Diskussionen: Ist die Erwärmung **natürlichen Ursprungs** oder liegt die Hauptursache in **Eingriffen des Menschen** in die natürlichen Abläufe?

Natürliche Ursachen

Als natürliche Ursachen kommen in erster Linie **Schwankungen der Sonneneinstrahlung** bzw. die **Folgen von Vulkanausbrüchen** infrage. Die an der Atmosphärenobergrenze einfallende Strahlungsenergie der Sonne unterliegt periodischen Schwankungen, ausgelöst durch geringfügige Änderungen in der Erdumlaufbahn zwischen nahezu kreisförmig und leicht elliptisch (obwohl die dadurch hervorgerufenen Änderungen der Sonneneinstrahlung gering sind, gelten sie als auslösendes Element des Wechsels von Kalt- und Warmzeiten auf der Erde, denn die Eiszeitzyklen stimmen ziemlich genau mit der Periodendauer dieser Bahnänderungen der Erde von etwa 100 000 Jahren überein).

Die ebenfalls periodischen Änderungen der **Neigung der Erdachse** (Periodendauer 41 000 Jahre) und der von der **gravitativen Einwirkung des Mondes** und der übrigen Planeten verursachten **Präzessionsbewegung der Erde** (Periodendauer 25 800 Jahre) – sie gleicht den langsamen Torkeln eines rotierenden Kinderkreisels – aufgrund ihrer Abweichung von der Kugelgestalt haben zwar keine Auswirkungen auf die globale Sonneneinstrahlung, wohl aber auf die jahreszeitlich unterschiedliche Verteilung der Strahlungsenergie auf die beiden Hemisphären der Erde, die sich in erster Linie durch ihre Oberflächenstruktur, d. h. den Anteil von Landmassen und Wasserflächen der Ozeane unterscheiden; das Klima wird dadurch in Zeitfenstern von Tausenden von Jahren beeinflusst, was zu abwechselnden Verschärfungen bzw. Abmilderungen des eiszeitlichen Klimas beitrug.

Die durch Änderungen der Erdbahnparameter ausgelösten Schwankungen der Sonneneinstrahlung vollziehen sich wegen der langen Periodendauer so langsam, dass sie für die gegenwärtige Klimaerwärmung, die sich in viel kürzeren Zeitfenstern vollzieht, nicht verantwortlich gemacht werden können. Überlagert werden diese temporären Änderungen der Sonnenaktivität durch eine insgesamt langsam zunehmende Steigerung der Sonneneinstrahlung in astronomischen Zeiträumen: seit Entstehung der Sonne vor ca. 4,5 Milliarden Jahren hat deren Strahlungsleistung um ca. 30 % zugenommen – aber diese Änderung spielt bei dem für die gegenwärtige Klimaänderung relevanten Zeitraum von wenigen hundert Jahren erst recht keine Rolle.

Der Sonnenfleckenzyklus

Neben diesen langsamen, astronomisch bedingten Änderungen der Sonneneinstrahlung variiert diese auch in kürzeren Zeitabschnitten, etwa im nahezu regelmäßigen 11-jährigen **Sonnenfleckenzyklus**.

Die Sonnenflecken – dies sind paradoxerweise Regionen auf der Sonnenoberfläche, deren Temperatur um ca. 1000–1500 °C niedriger liegt als auf der übrigen Sonnenoberfläche und die sich daher durch eine dunklere Farbe zu erkennen geben – sind Ausdruck einer erhöhten Sonnenaktivität, d. h., die Strahlungsenergie der Sonne ist während eines derartigen Zyklus etwas erhöht.

Allerdings reicht der dadurch hervorgerufene Strahlungsgewinn für die Erde bei weitem nicht aus, um die gegenwärtige Erwärmung zu erklären (sie wäre maximal mit 0,13 °C zu beziffern und liegt damit in der Größenordnung des Einflusses ausgeprägter EL-Niño-Ereignisse), zumal seit den

M 4

Die Schichtung der Atmosphäre



Die Troposphäre

Die Atmosphäre lässt sich gemäß ihres Temperaturverlaufs in mehrere Schichten aufteilen. Für Wetter und Klima sind die beiden untersten Bereiche maßgeblich: die der Erdoberfläche nächste Schicht, die Troposphäre, reicht in den Tropen bis zu etwa 17 km Höhe, in den mittleren Breiten abhängig von der Jahreszeit zwischen 10 und 12 km und in den Polarregionen zwischen 6 und 8 km. Da Wasserdampf nur in der Troposphäre vorkommt, sind die wetterrelevanten Vorgänge (nahezu) ausschließlich auf diese erdnächste Region der Atmosphäre begrenzt. Die Temperatur nimmt in der Troposphäre im globalen Mittel von 15 °C an der Erdoberfläche bis ca. –60 °C an der Obergrenze der Troposphäre, der Tropopause, ab.

Die Stratosphäre

An die Troposphäre schließt sich die Stratosphäre, die bis in eine Höhe von ca. 50 km reicht, an. Da die Atmosphäre in der Stratosphäre keinen Wasserdampf enthält, können sich in ihr keine dem troposphärischen Wetter entsprechenden Vorgänge abspielen, sie hat aber sehr wohl Einfluss auf das Klima an der Erdoberfläche; so wurde beispielsweise die extreme Kältewelle im mittleren Westen der USA im Februar 2019 durch den Zusammenbruch des Polarwirbels, der die polare Kaltluft normalerweise im Polargebiet einschließt, durch eine plötzliche Erwärmung der Stratosphäre über diesem Gebiet ausgelöst.

In der Stratosphäre erhöht sich die Temperatur von ca. –60 °C an ihrer Untergrenze bis auf etwa 0 °C an der Obergrenze. Verantwortlich dafür ist die Absorption der harten (kurzwelligigen) UV-Strahlung in diesem Bereich; sie ist die Ursache für die Entstehung der Ozonschicht, die die Voraussetzung für das Leben außerhalb der Ozeane schafft: Die Temperaturinversion an der Grenze von der Troposphäre zur Stratosphäre ist für Wetter und Klima sehr bedeutsam, da sie eine Sperrschicht für den Luftaustausch zwischen beiden Schichten darstellt (nur durch Diffusion kann ein sehr begrenzter Übergang erfolgen).

Globale Temperaturerhöhung

Die bisher registrierte globale Temperaturerhöhung von etwa 1 °C seit Mitte des 19. Jahrhunderts mag wenig spektakulär erscheinen, wobei die Änderungen regional teilweise beträchtlich höher liegen, in der Arktis etwa bei 4 °C, im Alpenraum bei 2 °C, während sich die Temperatur in den Tropen und in der Antarktis kaum erhöht hat.

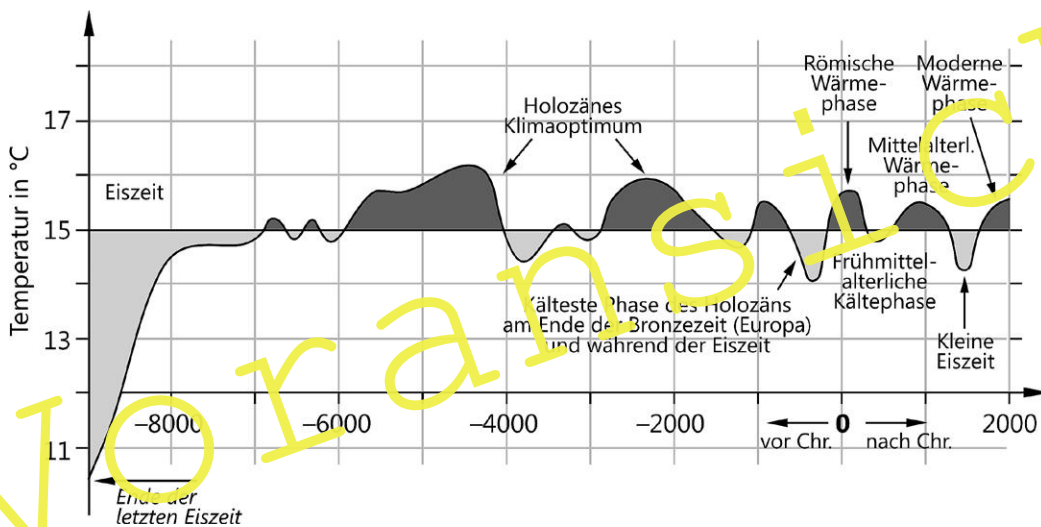
Die geschichtliche Entwicklung

Das Ausmaß der auf den ersten Blick unbedeutend wirkenden globalen Temperatursteigerung relativiert sich, wenn man bedenkt, dass die Schwankungsbreite der globalen Mitteltemperatur in den vergangenen 12 000 Jahren bei maximal 2,4 °C lag und diese Zeitspanne – als Holozän bezeichnet – so unterschiedliche Klimate umfasst wie etwa das Klimaoptimum vor ca. 6000 Jahren, als die Sahara ergrünte, das römische und das mittelalterliche Klimaoptimum (von ca. 300 v. Chr. – 250 n. Chr. bzw. 950–1300) – letzteres ermöglichte den Wikingern die Besiedlung der küstennahen Gebiete Grönlands („Grünland“), den Weinanbau bis weit nach Norden, den Baubeginn der beeindruckenden gotischen Kathedralen und – auf der anderen Seite – die Epoche der Völkerwanderungen (300–800) und vor allem der sogenannten kleinen Eiszeit zwischen 1350 und 1820 mit ihrem Höhepunkt zwischen 1675 und 1715 (Maunder-Minimum).

Der Temperaturunterschied zwischen dem mittelalterlichen Optimum und der „kleinen Eiszeit“ betrug global betrachtet gerade einmal ca. 1,6 °C, die gesellschaftlichen Folgen aber waren dramatisch: während im mittelalterlichen Optimum die Bevölkerungszahl in Mitteleuropa wegen des günstigen Klimas und der guten Ernteerträge explosionsartig anstieg, kam es in der anschließenden kühlen Episode während der kleinen Eiszeit durch die Häufung langer, kalter und schneereicher Winter sowie kühler und feuchter Sommer zu einem drastischen Rückgang der Ernteerträge; die Folge waren verheerende Hungersnöte, die durch kriegerische Auseinandersetzungen (Bauernaufstände, Dreißigjähriger Krieg) noch verschärft wurden.

Dazu kam die Pest, der die durch Hunger geschwächten Menschen reihenweise zum Opfer fielen. Die Bevölkerung in Mitteleuropa wurde während der kleinen Eiszeit mehr als halbiert, ganze Regionen entvölkert. Die Wälder, die durch den großen Holzbedarf zur Eisenverhüttung stark gelitten hatten, breiteten sich wieder über ganz Deutschland aus. In den Alpen begruben die vorrückenden Gletscher zahlreiche Siedlungen unter sich. Daran erkennt man, dass selbst kleine Temperaturänderungen im globalen Maßstab regional gravierende Auswirkungen auf das Klima und damit auf die dort lebenden Menschen haben.

Die Entwicklung der Temperatur bis zum Jahr 2000



Aufgabe

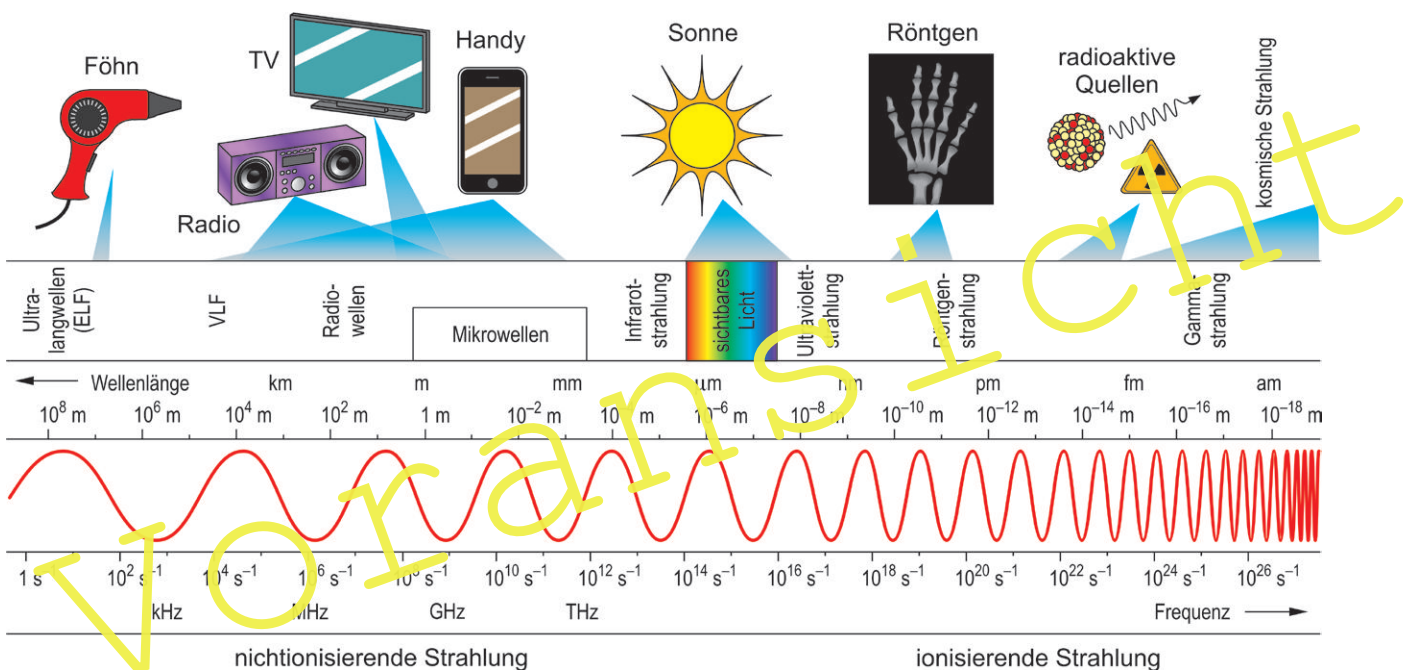
Geben Sie die Informationen des Textes stichpunktartig und mit eigenen Worten wieder.

M 6

Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung



Die Erde ist der einzige belebte Planet im Sonnensystem. Einer der Gründe für diese Ausnahmestellung der Erde ist in ihrem **Abstand von der Sonne** zu suchen, der gerade die Größenordnung hat, dass die Temperatur auf der Erde – im Zusammenwirken mit der Atmosphäre – in einem Bereich liegt, in dem **Wasser auch im flüssigen Zustand** existieren kann. Nur dadurch werden auf der Erde die komplexen Vorgänge der **Photosynthese** ermöglicht. Die dafür erforderliche Energie bezieht die Erde praktisch ausschließlich aus der von der Sonne ausgehenden elektromagnetischen Strahlung. Ein Charakteristikum dieser Strahlenart ist die Tatsache, dass sie zu ihrer Ausbreitung keinen materiellen Träger benötigt. Durch elektromagnetische Strahlung kann daher der leere Raum zwischen Sonne und Erde überbrückt und dadurch Energie zur Erde transportiert werden. Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung umfasst einen ungeheuer großen Wellenlängenbereich, von der extrem kurzwelligen γ -Strahlung bis zu den um 20 Größenordnungen längeren Wellen der „Radiostrahlung“.



© FancyTapis / iStock / Getty Images Plus

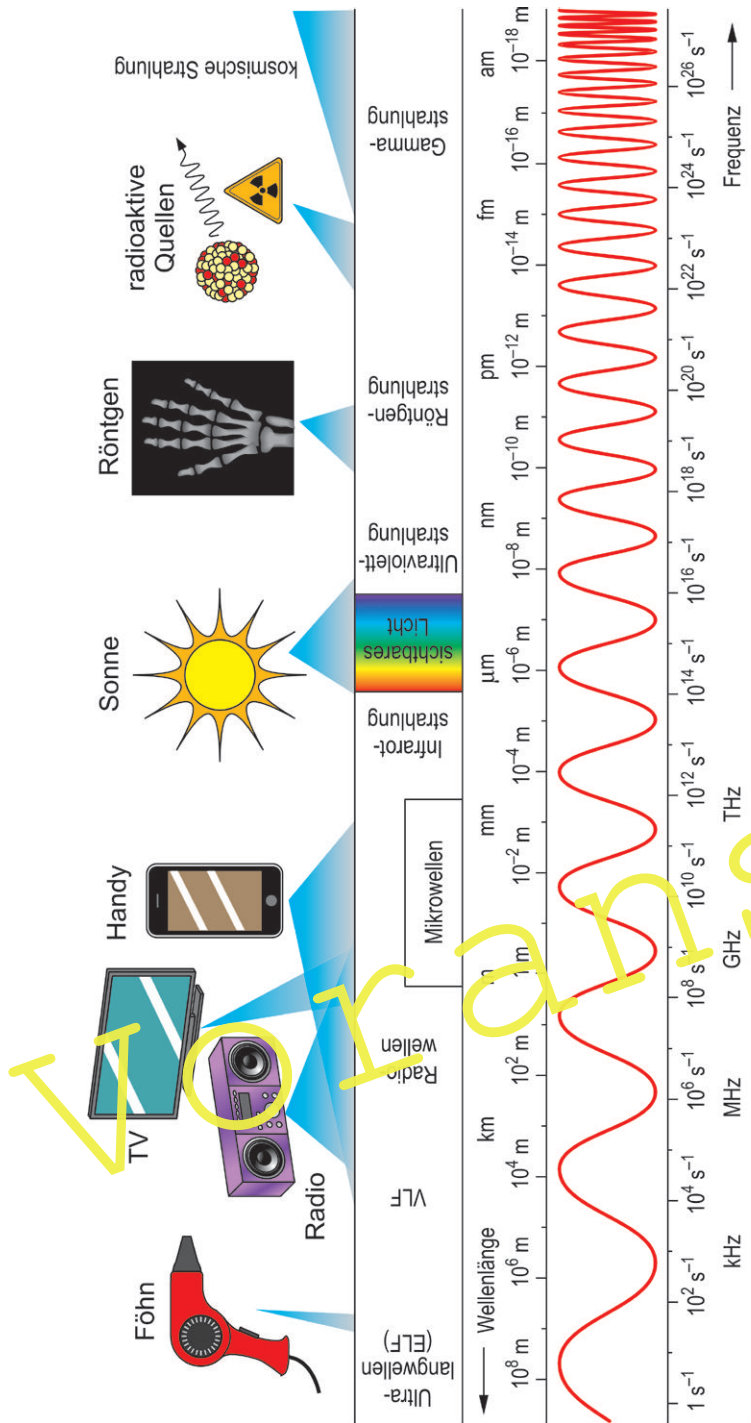
Elektromagnetische Strahlung breitet sich in Form von **Transversalwellen** aus, d. h., der elektrische Feldvektor (wie auch der dazu senkrechte magnetische Feldvektor) sind senkrecht zur Ausbreitungsrichtung orientiert. Daher zeigen elektromagnetische Wellen das Phänomen der **Polarisation**.

Aufgaben

1. Geben Sie die Information im Text stichpunktartig und mit eigenen Worten wieder.
2. Lesen Sie aus der Grafik die Wellenlänge der Strahlung ab, die die jeweils abgebildeten Gegenstände (Föhn, Radio etc.) aussenden.

Das elektromagnetische Spektrum

M 6



ionisierende Strahlung

nichtionisierende Strahlung

© FancyTapis / iStock / Getty Images Plus

Alle elektromagnetischen Wellen breiten sich – unabhängig von ihrer Wellenlänge und damit auch ihrer Energie – mit derselben Geschwindigkeit, der **Lichtgeschwindigkeit**, aus. Der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Frequenz elektromagnetischer Wellen wird durch die Beziehung beschrieben: $c = \lambda \cdot f$. Ursprung der extrem kurzwelligen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums (γ - und Röntgenstrahlung) sind Vorgänge, die sich im Atomkern bzw. in den inneren Schalen der Elektronenhülle eines Atoms abspielen. Verantwortlich für den kurzwelligen Teil des Spektrums (UV-Strahlung und sichtbares Licht und nahes Infrarot) sind Anregungsvorgänge in den Valenzschalen der Atome; langwellige Strahlung wird beim Energieaustausch zwischen Schwingungs- und Rotationszuständen von mehratomigen Molekülen emittiert.

Aufgaben

1. Geben Sie die Information im Text stichpunktartig und mit eigenen Worten wieder.
2. Schließt man einen Metalldraht an eine Stromquelle an und steigert man die Stromstärke schrittweise, erwärmt sich der Draht zunächst, ohne dass man – abgesehen von einer Längenänderung – an ihm eine Veränderung bemerkt. Bei weiterer Steigerung der Stromstärke erhöht sich seine Temperatur weiter, gleichzeitig beginnt er, rot zu glühen, d. h., er sendet zusätzlich zur Wärmestrahlung rotes Licht, d. h. langwelliges sichtbares Licht, aus. Mit steigender Temperatur wechselt unser Farbeindruck ins Gelbliche, um schließlich – wenn es sich um ein Material mit hohem Schmelzpunkt handelt (z. B. Wolfram-Schmelzpunkt ca. 3300 °C) weißes Licht abzustrahlen.
 - a) Erklären Sie dieses Phänomen mithilfe des Wien'schen Verschiebungsgesetzes.

Anmerkung: Mithilfe der Spektralanalyse lassen sich die Spektren von Sternen vermessen und auf diese Weise die Wellenlänge λ_{\max} mit dem höchsten Strahlungsanteil bestimmen. Obwohl Sterne Gaskugeln sind, lassen sie sich dennoch als „Schwarze Strahler“ betrachten, da das Gas (fast ausschließlich Wasserstoff und Helium) unter sehr hohem Druck steht. Über das Wien'sche Verschiebungsgesetz lässt sich dann die Temperatur der Sternoberfläche ermitteln. Die Sonne mit ihrer Oberflächentemperatur von ca. 6000 °C ist ein durchschnittlicher Stern, ihr Strahlungsmaximum liegt im sichtbaren, dem grünen Spektralbereich. Die Leuchtkraft eines Sterns hängt von seiner Masse ab. Die massereichsten Sterne sind die blauen Riesen, deren Masse bis zu 100 Sonnenmassen betragen kann. Die Wellenlänge mit dem größten Strahlungsanteil λ_{\max} liegt bei diesen massereichen Sternen im ultravioletten Spektralbereich.

- b) Berechnen Sie die Temperatur an der Oberfläche eines blauen Riesen, für den die Spektralanalyse für λ_{\max} den Wert $\lambda_{\max} = 97 \text{ nm}$ ergab.
3. Vergleichen Sie mithilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes die von einem Blauen Riesen emittierte Strahlungsintensität mit dem entsprechenden Wert für die Sonne. Welche Schlussfolgerung lässt sich aus dem Ergebnis ziehen?
 4. Berechnen Sie für die Erde (Oberflächentemperatur 16 °C = 289 K) die zugehörige Wellenlänge mit dem größten Strahlungsanteil. Tipp: Verwenden Sie das Wien'sche Verschiebungsgesetz.
 5. Aus einem winterlichen Wetterbericht: „... nachts sinken die Temperaturen bis auf –15 °C, über schneebedecktem Boden sogar bis unter –20 °C“
Welche Rolle spielt die Schneedecke bei dieser Aussage?
Tipp: Verwenden Sie das Kirchhoff'sche Strahlungsgesetz.

Der gegenwärtige Klimawandel – vom Menschen verursacht?

6. Es gibt im Wesentlichen zwei Kohlenstoffisotope: das stabile Isotop C-12 und das radioaktive Isotop C-14, ein β -Strahler mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Vergleicht man den Anteil des C-14 Isotops aus Eisbohrkernen vor dem Beginn der Industrialisierung mit seinem gegenwärtigen Anteil in der Atmosphäre, so stellt man eine Abnahme des Konzentrationsverhältnisses C-14 zu C-12 seit der Ausweitung der industriellen Produktion um 1850 bis heute fest. Gleichzeitig hat sich die Konzentration von Sauerstoff in der Atmosphäre geringfügig reduziert. Welche Schlüsse kann man aus diesen Veränderungen ziehen?
7. Eine Beobachtung mit weitreichenden Konsequenzen:
Ein Lagerfeuer kann man bei klarem Wetter bereits aus großer Entfernung erkennen, die vom Feuer ausgehende Wärme spürt man dagegen nur in der Nähe der Flammen. Welche Erkenntnisse lassen sich daraus ableiten?

Lösungen

M 1 Die Temperatur – der wichtigste Parameter bei der Feststellung von Klimaänderungen

1. Die Grafik gibt die Jahresmittelwerte der globalen Lufttemperatur 1980–2018 wieder.
2. In den nächsten 50 Jahren wird der Jahresmittelwert der globalen Lufttemperatur weiter – unverhältnismäßig schnell – steigen.
3. Individuelle Schülerlösungen.

M 2 Die Ursachen für den Klimawandel

Individuelle Schülerlösungen. Die Lernenden sollen unterscheiden zwischen natürlichen Ursachen und Faktoren, die der Mensch beeinflussen kann.

M 4 Die Schichtung der Atmosphäre

Individuelle Schülerlösungen

M 5 Eigenschaften elektromagnetischer Strahlung + M 6 Farbfolge

1. Individuelle Schülerlösungen
2. Beim Ablesen der Wellenlängen aus dem Diagramm muss man die logarithmische Skala berücksichtigen oder sich mit gerundeten Werten begnügen. Die emittierten Wellenlängenbereiche sind:

• Radioaktive Quellen: $3 \cdot 10^{-14} \text{ m} \dots 2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$	• Radio: $10^4 \text{ m} \dots 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ (0,2 m)
• Röntgenstrahlung: $10^{-8} \text{ m} \dots 6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$	• TV: $4 \cdot 10^0 \text{ m}$ (4 m) ... $3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ (0,3 m)
• Sonne: $3 \cdot 10^{-6} \text{ m} \dots 2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$	• Föhn: $10^7 \text{ m} \dots 5 \cdot 10^6 \text{ m}$
• Handy: $4 \cdot 10^4 \text{ m} \dots 10^{-3} \text{ m}$	• etc.

M 7 Die Strahlungsgesetze

1. Individuelle Schülerlösungen
2. **Wien'sches Verschiebungsgesetz:** In der Änderung des von uns registrierten Farbeindrucks spiegelt sich das Wien'sche Verschiebungsgesetz wider: bei niedrigen Temperaturen emittiert der Draht ausschließlich infrarote Strahlung, die wir nicht wahrnehmen können. Ab ca. 500 °C beginnt der Draht rot zu glühen – ein sehr kleiner Teil der Strahlungsenergie wird also als sichtbares rotes Licht abgestrahlt (der weit überwiegende Teil der emittierten Strahlungsenergie liegt dagegen nach wie vor im infraroten Spektralbereich). Bei weiterer Temperaturerhöhung verschiebt sich der kurzwellige Teil der abgegebenen Strahlung zu kleineren Wellenlängen hin. Unser Farbeindruck wird dann durch die Mischfarbe der abgestrahlten sichtbaren Wellenlängen bestimmt. Erst wenn schließlich auch blaues Licht, also der kurzwelligste Teil des sichtbaren Spektrums, abgestrahlt wird, leuchtet der Draht weiß (Mischfarbe aller im sichtbaren Spektrum enthaltenen Farben bzw. Wellenlängen). Die ganze Strahlungskurve und damit auch die Wellenlänge λ_{max} mit der größten Strahlungsintensität verschieben sich zu kleineren Wellenlängen hin.