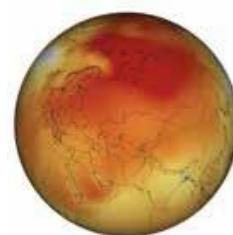


Der Klimawandel: verstehen und handeln

Ein Handbuch der Fakultät für Physik
der LMU München

für Lehrkräfte der Mittelschule

Mit Experimenten im LMU-Klimakoffer



LMU München
Der Klimawandel:
Verstehen und handeln

Handbuch

Wissenschaftliche Hintergründe
Experimentieranleitungen
Handlungsanregungen

www.klimawandel-schule.de



Dr. Cecilia Scorza-Lesch
LMU Fakultät für Physik

Sebastian Urban
ALP Dillingen

HERAUSGEGEBEN VON:

Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-Universität
Schellingstraße 4, 80799 München
www.physik.uni-muenchen.de

Dr. Cecilia Scorza LMU Physik
E-Mail: c.scorza@lmu.de

© Fakultät für Physik LMU, alle Rechte vorbehalten

KONTAKT:

kontakt@klimawandel-schule.de
www.klimawandel-schule.de

GRAFISCHE GESTALTUNG:

Moritz Strähle

FOTOS UND DRUCK:

Christoph Hohmann

BILDNACHWEIS:

Dr. Cecilia Scorza

STAND:

August 2025

Klimaneutraler Druck

Der Klimawandel: verstehen und handeln

Ein Handbuch der Fakultät für Physik der LMU
für Lehrkräfte der Mittelschule

Inhalt

Vorwort.....	5
Das LMU-Bildungsprogramm	6
Kapitel 1: Die Erde, ein ganz besonderer Planet.....	7
1.1 Ein ruhiger Ort in der Galaxis	7
1.2 Die Entstehung des Sonnensystems und der Erde	7
1.3 Die Entwicklung der Erde und die Entstehung des Mondes.....	8
1.4 Die Entstehung des Magnetfeldes der Erde	9
1.5 Wie das Wasser auf die Erde kam	10
1.6 Die Lebenszone des Sonnensystems	10
1.7 Die Entstehung des Lebens	11
Kapitel 2: Den Klimawandel verstehen	13
2.1 Welche Temperatur hat die Erde?	13
2.2 Die Temperatur der Erde ohne Atmosphäre ermitteln	14
2.3 Die Temperatur der Erde mit Atmosphäre - Der natürliche Treibhauseffekt	15
2.4 Der menschengemachte Klimawandel	17
Kapitel 3: Die Auswirkungen des Klimawandels	19
3.1 Unterschied zwischen Wetter und Klima	19
3.1 Die Hydrosphäre - Wasser – Die Ozeane.....	20
3.2 Die Atmosphäre.....	20
3.3 Die Kryosphäre – Das Eis	21
.....	21
3.4 Die Pedosphäre – der Boden	21
3.5 Die Biosphäre	22
3.6 Die Kippunkte.....	23
3.7 Der Klimawandel erklärt an Schülerinnen und Schüler	24

Vorwort

Der Klimawandel ist die größte globale Herausforderung der Menschheit im 21. Jahrhundert. Obwohl es in der Geschichte unseres 4,6 Milliarden Jahre alten Planeten immer wieder zu Klimaschwankungen kam, steht ohne Zweifel fest, dass der Mensch durch den Ausstoß von Treibhausgasen für die aktuelle Erderwärmung verantwortlich ist. Gerade die hohe Geschwindigkeit, mit der der Klimawandel voranschreitet, stellt ein enormes Problem dar. Weder Flora und Fauna noch die Menschen können sich so schnell an die veränderten Umweltbedingungen anpassen. Die Vernichtung von Tier- und Pflanzenarten, Kriege um Wasser und andere Ressourcen, Hungersnöte und Migrationsströme sind Konfliktfelder, die vom Klimawandel allesamt mitverursacht werden. Trotz vieler anderer Krisen ist der Klimawandel *das Thema* dieses Jahrhunderts und damit auch entscheidender Gegenstand heutiger Schülerinnen und Schüler.

Die Prozesse, die zum Klimawandel führen und auch die daraus resultierenden Folgen, werden in diesem *Handbuch* aufbereitet und unterstützt durch die Experimente im *LMU-Klimakoffer* veranschaulicht. Die wichtigsten Stichwörter sind hier: Treibhauseffekt, Energieströme und Energiebilanz, Strahlungsgleichgewicht und Gleichgewichtstemperatur, Wärmestrahlung, Rückkopplungseffekte sowie Wetter und Klima. Querbezüge zwischen diesen Themen unterstützen das Verständnis der verflochtenen Inhalte. Die Erarbeitung der wissenschaftlichen Hintergründe und Folgen des Klimawandels eignet sich daher ideal als Thema eines fächerübergreifenden bzw. fächerverbindenden MINT-Projektes an der Schule.

Mindestens so wichtig wie das grundlegende Verständnis der Zusammenhänge ist konkretes *Handeln*. Wie Handeln individuell und in Gruppen sowie auf gesellschaftlicher Ebene gestaltet werden kann, ist ein Thema, das weit aus den MINT-Fächern in den gesellschafts- und sozialwissenschaftlichen Unterricht hinausreicht. Aber vor allem der Berufswahl spielt hier eine zentrale Rolle, denn uns fehlen die Handwerkerinnen und Handwerker für den weiteren Ausbau der Energiewende. Am zugänglichste ist die Photovoltaik, weil die technischen Voraussetzungen niedrigschwellig sind. Kombiniert mit der Landwirtschaft -sogenannter Agri-PV- ist sie unschlagbar und vielversprechend.

Der Klimawandel ist eine enorme Herausforderung und bietet zugleich eine Chance für interdisziplinäres Unterrichten in einem der relevantesten Kontexte unserer Zeit.

Wir laden Sie herzlich ein, daran mitzuwirken!

Wenn Sie Interesse daran haben, sich mit uns für dieses Ziel zu engagieren, nehmen Sie Kontakt mit uns auf! Wir freuen uns auf Sie: kontakt@klimawandel-schule.de

Die Autoren

Das LMU-Bildungsprogramm

"Der Klimawandel: verstehen und handeln"

Mit dem Bildungsprogramm „Der Klimawandel: verstehen und handeln“ der Fakultät für Physik der LMU haben wir uns als Ziel gesetzt, das hoch aktuelle Thema der globalen Erwärmung und ihre Folgen experimentell, aber auch die Chancen, die sich uns heute noch bieten schulgerecht und fächerübergreifend zu thematisieren. Lehrkräfte und Schülergruppen können anhand der Experimente des LMU-Klimakoffers die Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels aktiv erkunden. Die Bezüge zur Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und Geographie, greifen den verflochtenen MINT-Charakter des Klimawandels auf und fördern fächerübergreifendes Arbeiten. Indem unser Projekt Verstehen und Handeln zusammenführt, können junge Menschen über gemeinsame Projekte an effektiven Lösungen arbeiten und somit Selbstwirksamkeit erfahren. Es besteht eine sinnvolle Verbindung zum Ethik- und Religions-, Kunst-, Geschichtsunterricht.

Unser Bildungsprogramm steht auf drei Pfeilern:



Verstehen



Zukunftsgestaltung



Zusammen handeln

I Verstehen: Unser LMU-Team hat für die Schule die wichtigsten wissenschaftlichen Ergebnisse und Zusammenhänge zum Thema Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels anhand von zwölf Experimenten und Aktivitäten im LMU-Klimakoffer elementarisiert.

II Zukunftsgestaltung: Klimaschutz bedeutet vor allem Energiewende. Anhand von Experimenten und Aktivitäten erkunden Schülergruppen die Grundlagen der erneuerbaren Energien. Alles auf die Frage ausgerichtet: Wie kann die Energiewende in Deutschland gelingen und wie kann ich mich aktiv einbringen? Wir tragen zur Motivation der Schüler*innen bei, sich für technische Berufe zu entscheiden!

III Zusammenhandeln: Wenn die Schüler*innen konkret erfahren, dass sie in Gruppen durch selbst definierte Projekte Veränderungen erzielen können, erfahren sie Selbstwirksamkeit. Sie ist entscheidend für die Bewältigung von Klimaängsten. Wir helfen ihnen die größten Hebel für zur Reduzierung der CO₂-Emissionen zu finden.

Alle Informationen zum Projekt finden Sie auf unserer Website: www.klimawandel-schule.de

Kapitel 1: Die Erde, ein ganz besonderer Planet

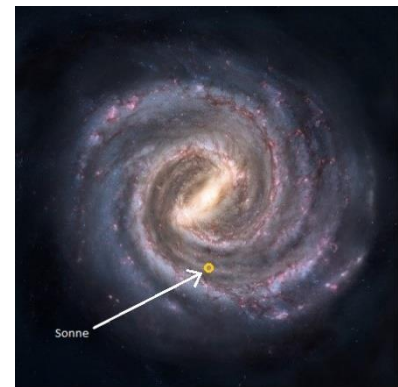
1. Die Erde: Ein ganz besonderer Planet

Die Erde ist der einzige Planet im Sonnensystem, auf dem sich komplexes Leben über Milliarden von Jahren hinweg entwickelt und erhalten hat. Die Erkenntnis wie viele scheinbar zufällige Ereignisse zusammenkommen müssen, damit ein Planet wie die Erde entsteht, zeigt wie besonders unser Heimatplanet ist! Deshalb beginnt unser Handbuch mit der Beschreibung der Entstehung der Erde hin zum bewohnbaren Planeten.

1.1 Ein ruhiger Ort in der Galaxis

Unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, ist eine Spiralgalaxie, die ca. 200 Milliarden Sterne beherbergt. Der für die Erde wichtigste Stern, die Sonne, befindet sich in einer ruhigen Region der Milchstraße, außerhalb eines Spiralarmes und weit weg vom galaktischen Zentrum (siehe Abbildung 1). Sie liegt damit auch weit entfernt von Gebieten mit hoher Sternendichte und außer Reichweite von Sternen, die als Supernova explodieren und mit ihrer Gammastrahlung das Leben auf der Erde vernichten könnten. Diese Zone wird „Habitable Zone der Galaxis“ genannt.

Abb. 1 Illustration der Lage des Sonnensystems in der Galaxis (Credits: Mandaro/Anpassung Scorza)



1.2 Die Entstehung des Sonnensystems und der Erde

Unser Sonnensystem entstand vor etwa 4,6 Milliarden Jahren in einer ruhigen Lage der Milchstraße. Nach dem Tod eines schweren Sterns, der in einer Supernova explodierte, blieb eine riesige Wolke aus Gas, Staub und die chemischen Elemente, die der Stern im Lauf seines Lebens erbrütet hatte. Teile dieser Wolke begannen sich aufgrund der Anziehungskraft, zusammen zu ziehen. Es bildete sich dann eine kleine Wolke, die um sich selbst schnell zu rotierten. Sie wurde deshalb immer flacher und formte schließlich eine Scheibe. In der Mitte dieser Scheibe entstand ein eher kleiner Stern mit einer Lebensdauer von rund 10 Milliarden Jahren: Unsere Sonne.

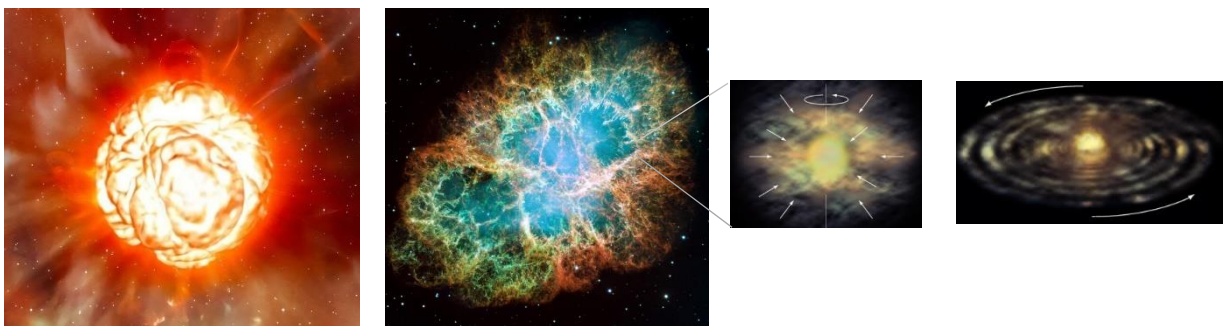


Abb. 2 Links: Illustration einer Supernovaexplosion (Credits: ESO/Calcada). Mitte: Reste einer Supernovaexplosion (Krebsnebel, Credits: NASA). Rechts: Darstellung der Entstehung einer kleineren Wolke, die durch Rotation eine Scheibe aus Gas und Staub formte, aus der die Sonne und die Planeten des Sonnensystems entstanden sind (Credits: NASA)

In der Scheibe um die Sonne herum begannen winzige Staubteilchen zusammenzukleben. Sie formten immer größere Staubböden, die schließlich zu kleinen Klumpen wurden. Durch Zusammenstöße mit anderen Teilchen in der Scheibe wuchsen sie immer weiter. Die größeren Klumpen zogen durch ihre Gravitationskraft andere Brocken an, bis schließlich mehrere große Körper entstanden waren. Einige davon wurde schließlich so schwer, dass sie durch ihre eigene Anziehungskraft eine runde Form annahmen. Einer davon war unsere Erde. Manche dieser sogenannten Protoplaneten sammelten eine dicke Hülle aus Gas um sich herum und wurden damit zu Gas- oder Eisriesen. Andere konnten keine oder nur eine sehr dünne Gashülle ansammeln. Das sind die Gesteinsplaneten wie die Erde.

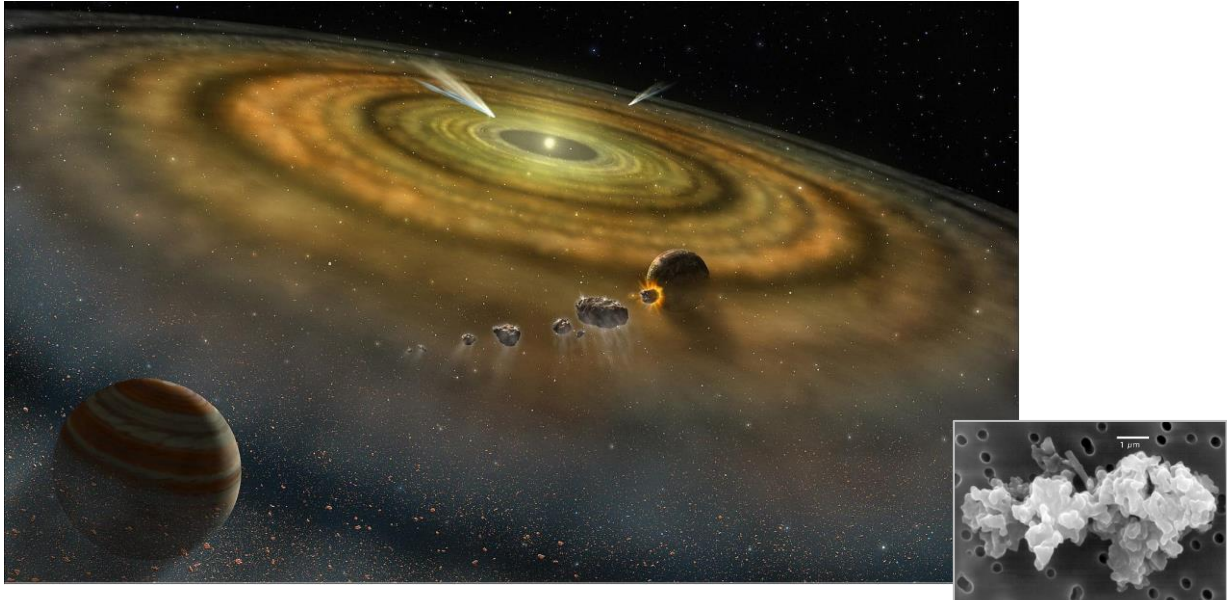


Abb. 3: Das junge Sonnensystem, mit der Sonne in der Mitte und die Planeten, die aus feinem Staub in der Scheibe entstanden sind. (Credits NASA). Rechts: Aus so einem Staubbündel ist unsere Erde entstanden (Credits: NASA).

1.3 Die Entwicklung der Erde und die Entstehung des Mondes

Zu Beginn war die Erde ein heißer und lebensfeindlicher Ort und die junge Erde wurde von Meteoriten und Asteroiden bombardiert. Dadurch wurde ihre Oberfläche so heiß, dass das Gestein dort schmolz. Der gesamte Planet war deshalb von einer flüssigen Magmaschicht bedeckt. In dieser Zeit stieß die Erde mit einem anderen Planeten zusammen, der etwa halb so groß wie die Erde war und Theia genannt wird. Durch diese gewaltige Kollision, wurde Material aus dem Erdmantel herausgeschleudert und sammelte sich um unseren Planeten herum. Innerhalb von wenigen Stunden verklumpten diese Trümmer und bildeten den Mond. Der Rest des kleinen Himmelskörpers verschmolz mit der Erde, und sein eisenhaltiger Kern sank tief in das Innere unseres Planeten ein. Dieses Ereignis wird durch Untersuchungen von Mondgestein belegt. Während der Apollo-Missionen wurden Gesteinsproben vom Mond zur Erde gebracht, deren Analysen ergaben, dass der Mond aus Material besteht, das dem der Erde sehr ähnlich ist.



Abb. 4: Künstliche Darstellung des Zusammenstoßes zwischen Theia und der jungen Erde (Credits NASA)

Bevor sich der Mond bildete, drehte sich die Erde sehr schnell, nämlich in nur etwa 6 Stunden, um sich selbst. Außerdem taumelte ihre Achse wild hin- und her. Hätte die Erde bereits eine Atmosphäre gehabt, wären die Wetterbedingungen auf ihr sehr chaotisch gewesen. Winde von über 400 km/h hätten auf der Erde geweht. Die gegenseitige Anziehungskraft von Erde und Mond verlangsamte die Rotation unseres Planeten auf 24 Stunden und die Erdachse stabilisierte sich –geneigt- auf 23,5 °. Dadurch konnte sich ein stabiles Klima entwickeln und in unseren Breiten entstanden die vier Jahreszeiten.



Abb. 5: Durch die Anziehungskraft des Mondes stabilisierte sich die Rotationsachse der Erde (Credits: Nasa/Scorza)

1.4 Die Entstehung des Magnetfeldes der Erde

Beim Zusammenstoß von Erde und Theia versanken Teile des sehr starken, eisenhaltigen kleinen Planeten tief im Inneren der Erde. Dadurch steigt nun bis heute im Erdinneren geschmolzenes Eisen auf, kühlt sich ab und sinkt wieder zum Erdmittelpunkt hinunter. Dieses geschmolzene Eisen hat eine elektrische Ladung und erzeugt durch seine Bewegung einen elektrischen Strom. Dadurch entsteht um die Erde herum ein starkes Magnetfeld. Das ist für das Leben auf der Erde sehr wichtig, denn das Magnetfeld schützt die Erde vor dem Sonnenwind und kosmischer Strahlung. Ohne diesen Schutz wäre auf der Oberfläche der Erde kein Leben möglich.

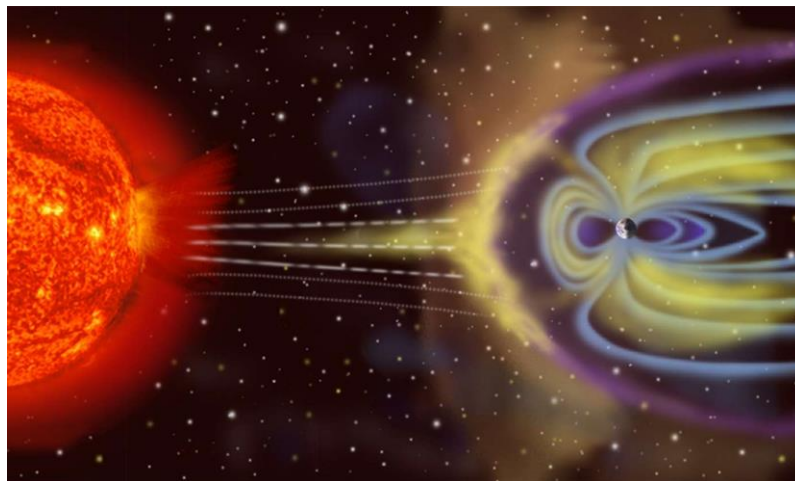


Abb. 6: Das Magnetfeld der Erde schützt uns vor Sonnenwind und kosmischer Strahlung. Ohne dieses Magnetfeld wäre kein Leben an der Oberfläche der Erde möglich. Größen und Abstände sind hier nicht maßstabsgetreu dargestellt. Bild: NASA

1.5 Wie das Wasser auf die Erde kam

Als die Erde langsam abkühlte und das Magma an der Oberfläche fest wurde, war die Erde trocken. Das Wasser, das wir heute auf der Erde haben, stammt hauptsächlich von Asteroiden, die oft eine große Menge an Eis enthalten. Bald nach der Entstehung des Mondes, schlug eine große Menge an Asteroiden auf der Erde ein. Dabei verdampfte das Eis in ihnen und sammelte sich als Wasserdampf in der Atmosphäre. Als sich die Erde abkühlte, kondensierte der Dampf zu Wolken und fiel dann als Regen auf die Erde. 50.000 Jahren lang hat es damals geregnet! So entstand ein riesiger Ozean namens Panthalassa, der die komplette Erdoberfläche bedeckte.



Abb. 7: Links: Darstellung der frühen Erde mit Asteroiden, die das Wasser zur Erde brachten. Rechts: Panthalassa (Credits: NASA)

Um herauszufinden, woher das Wasser auf der Erde stammt haben Wissenschaftler das Wasser auf Kometen und Asteroiden untersucht und es mit dem Wasser auf der Erde verglichen. Dabei nutzten sie die Tatsache, dass es zwei etwas unterschiedliche Wasserstoffatome gibt: *Das gewöhnliche Wasserstoffatom, das im Kern nur ein Proton hat (oben links), und das Deuterium Atom, dessen Kern aus einem Proton und einem Neutron besteht (oben rechts)*. Die Analysen zeigten, dass das Wasser H_2O auf Asteroiden dasselbe Verhältnis von Wasserstoff zu Deuterium hat, wie man es auch auf der Erde findet. Das Wasser auf Kometen enthält dagegen mehr Deuterium. Wissenschaftler konnten sogar herausfinden, dass das Wasser, das wir heute auf der Erde finden aus den Asteroiden des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter stamm.

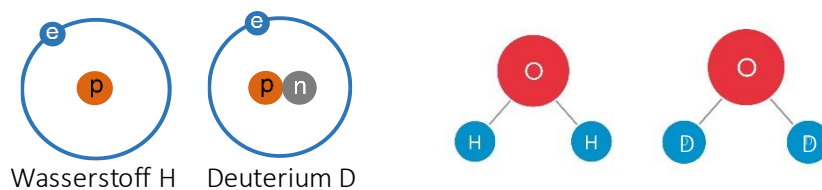


Abb. 8: Links: Atome vom Wasserstoff und Deuterium (mit einem Neutron). Rechts: Wassermoleküle mit zwei Wasserstoffatome (H_2O) und mit Deuterium (D_2O). Beide werden als Wasser bezeichnet. Credits: Scorza.

1.6 Die Lebenszone des Sonnensystems

Unser Sonnensystem besteht heute aus vier Gesteinsplaneten (Merkur, Venus, Erde und Mars), vier Gasplaneten (Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun) und Hunderten von Zwergplaneten wie Pluto. Zusätzlich befinden sich einen Asteroidengürtel mit hunderttausenden Asteroiden zwischen Mars und Jupiter. Außerdem fliegen Kometen auf sehr elliptischen Bahnen von weit außerhalb durch unser Sonnensystem.

Von all den Planeten in unserem Sonnensystem befindet sich gerade die Erde in der richtigen Entfernung zur Sonne, sodass Wasser auf ihrer Oberfläche in flüssiger Form vorkommen kann: etwa 150 Millionen km von der Sonne entfernt. Näher an der Sonne würde das Wasser verdampfen, weiter entfernt wäre es gefroren. *Diese Zone mit flüssigem Wasser wird als Lebenszone bezeichnet.* In unserem Sonnensystem liegt die Erde mitten in der habitablen Zone, während sich Venus und Mars an ihren Rändern befinden.

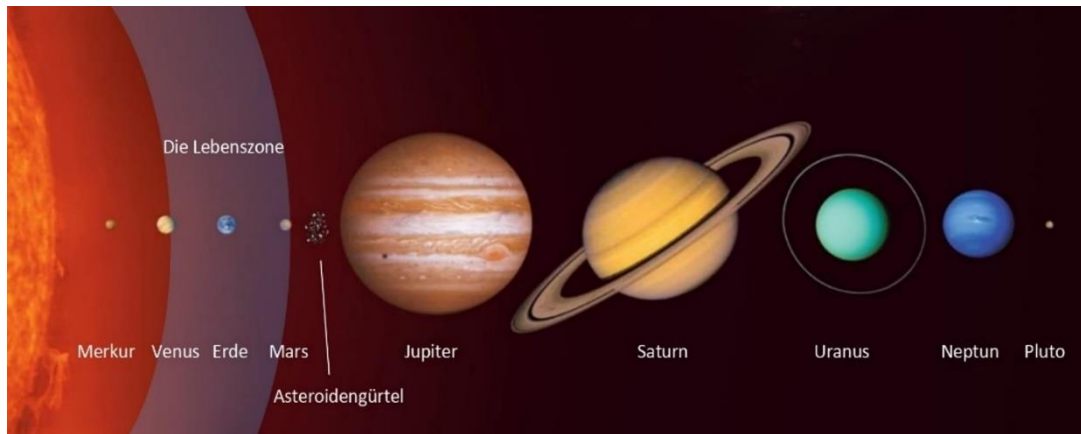


Abb. 9: Darstellung des Sonnensystems mit der Lebenszone eingezeichnet. Die Größe der Planeten und der Sonne sind maßstabsgetreu dargestellt. Die Abstände zwischen ihnen dagegen nicht. Credits: NASA

1.7 Die Entstehung des Lebens

Die Geschichte der Erde geht weiter, als vor ca. 3,8 Milliarden Jahren die ersten einfachen Lebewesen (Einzeller) in grauen Rauchern in den Ozeanen entstanden. In den nächsten 3 Milliarden Jahren wurden die Ozeane ausschließlich von Mikroorganismen besiedelt. Cyanobakterien begannen über Photosynthese CO_2 in den Ozeanen aufzunehmen und Sauerstoff O_2 freizusetzen; diese sammelte sich in der Atmosphäre. Dadurch wurde später -als die Ozonschicht sich bildete- Leben auf dem Land möglich. Vor etwa 600 Millionen Jahren erschienen die ersten Pflanzen und Tiere (Vielzeller) im Wasser; danach besiedelten sie das Land. Im Laufe der Zeit sind neue Arten entstanden. Insgesamt kam es in der Geschichte der Erde mehrmals zu Massenaussterben. Das bekannteste war vor etwa 66 Millionen Jahren als die Dinosaurier nach einem Meteoritenanschlag ausstarben und die Säugetiere die Möglichkeit bekamen sich weiterzuentwickeln und die dominierenden Landtiere zu werden. Die Menschen haben sich aus Hominiden erst vor etwa 300.000 Jahren entwickelt. Im Vergleich zur Länge der Erdgeschichte ist das sehr spät.



Abb. 10. Die ersten Lebewesen waren einfache Zellen, die um weißen Rauchern unter Wasser entstanden sind (links). Daraus entwickelten sich die Cyanobakterien, die zusammen mit anderen Einzelner die einzigen Lebewesen in den ersten 3 Milliarden Jahre der Erdgeschichte waren! Bild: Foto: MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen.

Fazit: Die Erforschung des Weltalls und der Erde hat uns gezeigt, dass unser Planet einzigartig ist und dass wir ihn schützen müssen. Die Erde ist der einzige Planet im Sonnensystem, auf dem Leben möglich ist. Daher ist es unsere Aufgabe, ihn für uns und zukünftige Generationen zu bewahren. Die Erde ist unsere blaue Perle!

Die sieben Eigenschaften, die die Erde bewohnbar machen

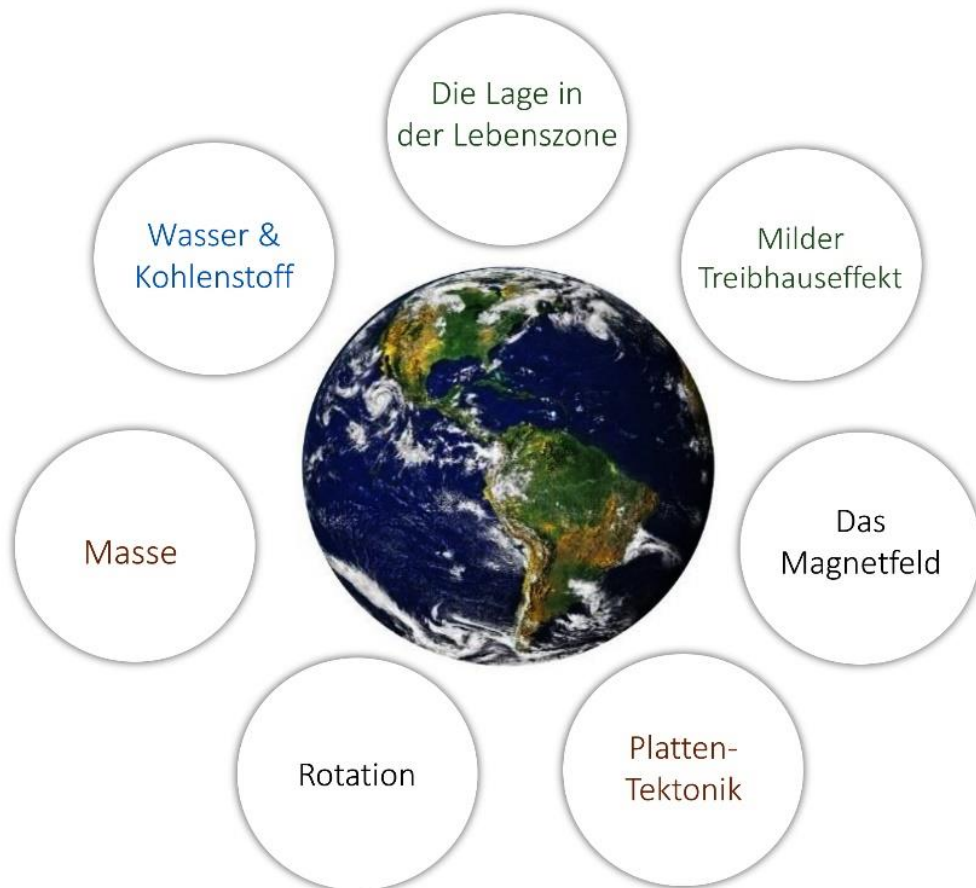


Abb. 11: Die sieben Eigenschaften der Erde, die sie bewohnbar machen. Credits: Scorza-NASA

Kapitel 2: Den Klimawandel verstehen

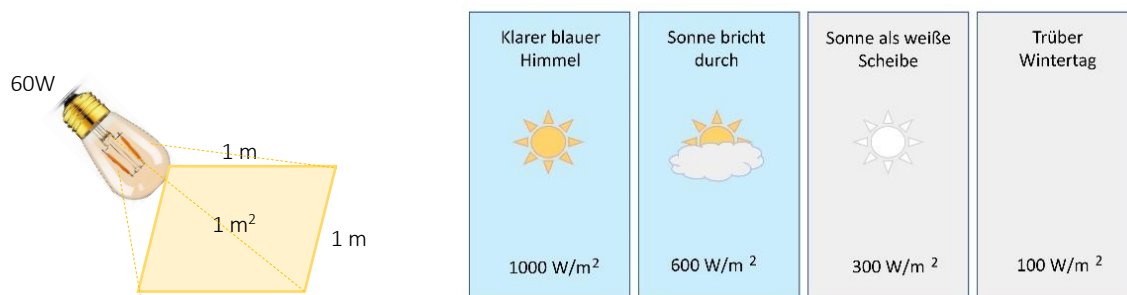
Wir haben gesehen, dass die Erde sieben Eigenschaften besitzt, die für ihre Bewohnbarkeit wichtig sind. Darunter ein milder Treibhauseffekt. In diesem Kapitel stellen uns die Frage, wie die mittlere Temperatur von 15 °C der Erde zustande kommt, warum sie sich seit der industriellen Revolution in den letzten 200 Jahren erhöht hat und welche globalen Auswirkungen auf Flora und Fauna der Klimawandel hat. Wir zeigen auch, dass die globale Erwärmung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Messungen belegt ist.

2.1 Welche Temperatur hat die Erde?

Obwohl die Erde immer von der Sonne eingestrahlt wird, erhitzt sie sich nicht unendlich. Dies können wir am Beispiel einer Bank in einem Park erläutern. Die Parkbank wird früh morgens von der Sonne mit einer Intensität von 600 W/m^2 angestrahlt. Eine erste Frage lautet: Wird sich die Bank unendlich aufheizen und irgendwann anfangen zu brennen oder zu schmelzen? Die Antwort ist: nein. Die Bank erhitzt sich allmählich und fängt an, Wärme in Form von *unsichtbaren Infrarotstrahlung* an ihre Umgebung abzugeben! Irgendwann erreicht sie die *Gleichgewichtstemperatur*, *strahlt so viel Infrarotstrahlung wie sie von der Sonne bestrahlt wird*, und erhitzt sich nicht mehr! *Sie befindet sich im Strahlungsgleichgewicht.*

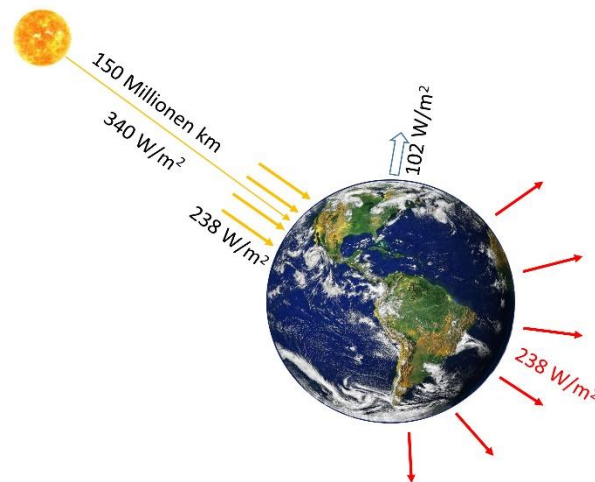


Was bedeutet **W/m²**? Es sind Watt (W) pro Quadrat Meter (m²). Die Einheit Watt kennen wir wenn wir Glühbirne oder LED-Lampen kaufen. Eine 60 Watt Glühbirne strahlt viel intensiver als eine 25 Watt Birne. Wenn wir diese elektrische Leistung von 60 Watt auf einem Quadratmeter verteilen, dann reden wir von einer Strahlungsintensität von 60 W/m^2 (siehe unteres Bild links).



Um einen klareren Eindruck zu bekommen, in einem klaren Tag mit blauem Himmel strahlt die Sonne

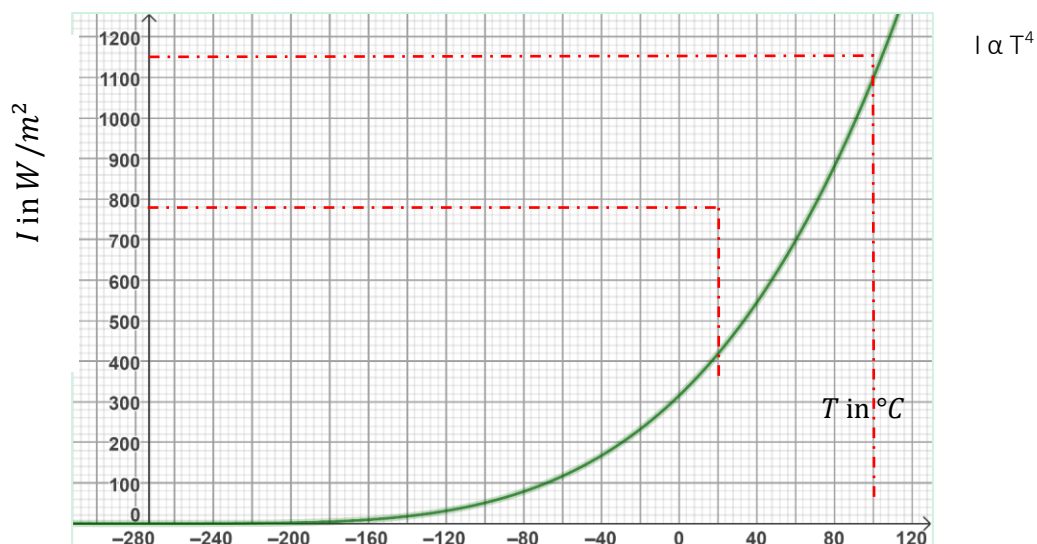
mit einer Intensität von 1000 W/m^2 . In einem trüben Wintertag kommen nur mit 100 W/m^2 an! Ähnlich wie die Parkbank verhalten sich die Erde und die anderen Planeten, wenn sie von der Sonne angestrahlt werden. Sie strahlen so viel Wärme ab wie sie Strahlung von der Sonne erhalten. Bei einem Abstand von 150 Millionen km, treffen im Durchschnitt auf der Erde 340 W/m^2 . 30% davon (102 W/m^2) werden von den weißen Eis Flächen der Erde ins All *zurückreflektiert*, sodass nur 238 W/m^2 letztendlich den Erdboden erreichen. Und genau so viel gibt danach die Erde in Wärmestrahlung bzw. Infrarotstrahlung wieder ab!



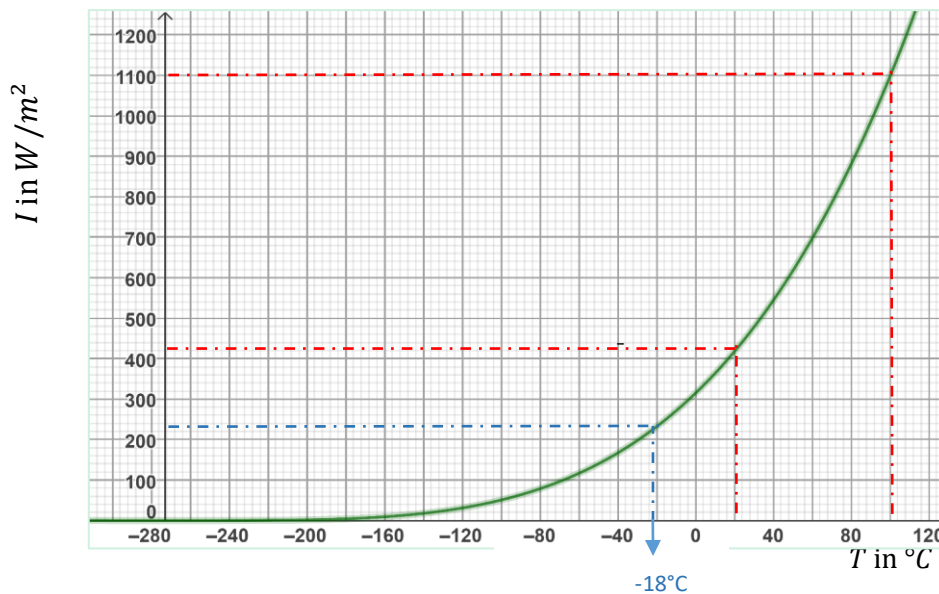
Diese 238 W/m^2 ist *ein mittlerer Wert*, denn die Erde am Äquator stärker als an den Nord- und Südpolen angestrahlt wird. Die Nachtseite bleibt kühl und dunkel. Die Intensität der Strahlung, die überall auf der Erde eintrifft, wird also gemittelt (Credits: NASA-Scorza).

2.2 Die Temperatur der Erde ohne Atmosphäre ermitteln

Um die Rolle der Atmosphäre für die Temperatur und Leben auf der Erde besser verstehen zu können, betrachten wir zuerst, eine Erde ohne Atmosphäre. Welche Temperatur hätte sie? Die mittlere Temperatur der Erde im Strahlungsgleichgewicht und ohne Atmosphäre können wir über das Stefan-Boltzmann-Gesetz der Physik ermitteln. Das Gesetz besagt, dass die Strahlung eines Körpers von seiner Temperatur T^4 abhängt: $I \propto T^4$. Diese Abhängigkeit von T^4 wird mit der Grünen Linie in der unteren Graphik dargestellt. Das Diagramm funktioniert wie folgt: Kochendes Wasser hat eine Temperatur von 100°C . Wie intensiv strahlt kochendes Wasser? Laut dem Diagramm auf der Y-Achse sind es **1100 W/m^2** ! Und wie intensiv strahlt ein Raum mit 20°C Temperatur? Antwort: **420 W/m^2** .



Nun werden wir die mittlere Temperatur der Erde anhand des Stefan-Boltzmann-Diagrammes ermitteln. Wir wissen, dass auf dem Erdboden von der Sonne 238 W/m^2 eintreffen. Wir verwenden das Diagramm umgekehrt! Wir suchen auf der Y-Achse die Zahl 238 W/m^2 (blaue Linie):



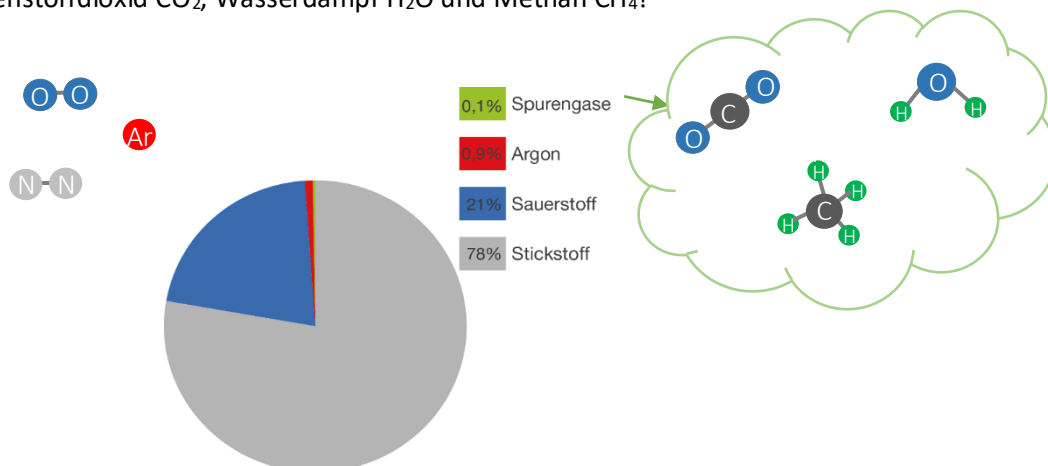
Eine Erde ohne Atmosphäre hätte eine mittlere Temperatur von -18°C !! Sie wäre also eine Eiskugel! (Bild unten links). Unser Planet hat aber eine mittlere Temperatur von 15°C !



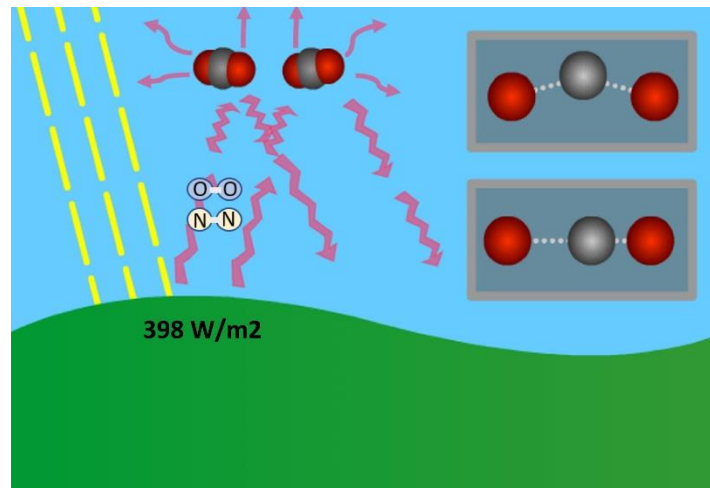
Woher kommt dann diesen 33°C Temperaturunterschied zwischen -18°C bis 15°C ?

2.3 Die Temperatur der Erde mit Atmosphäre - Der natürliche Treibhauseffekt

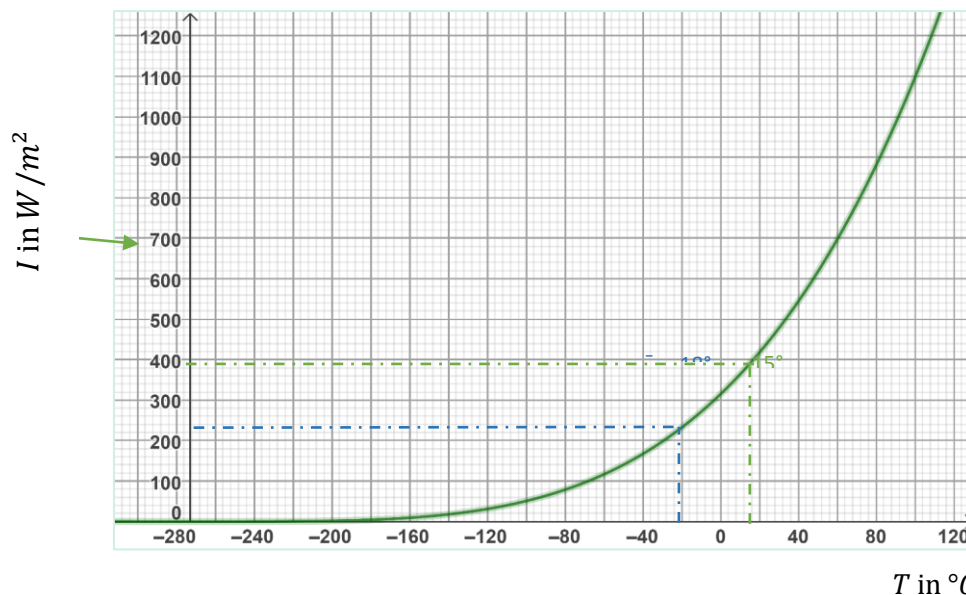
Die Antwort liegt in der Erdatmosphäre! Sie besteht aus 78% Stickstoff, 21% Sauerstoff, 0,9 % Argon und 0,1 Spurengase. Die Spurengase sind sehr wenige, bestehen aber aus **Treibhausgasen** wie Kohlenstoffdioxid CO_2 , Wasserdampf H_2O und Methan CH_4 !



Die untere Grafik zeigt, wie die Sonnenstrahlung die Erdoberfläche erreicht. Diese erwärmt sich und gibt beim Abkühlen Infrarotstrahlung (Wärme) an die Atmosphäre ab. Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle reagieren nicht auf die Infrarotstrahlung des Bodens, Kohlendioxidmoleküle dagegen schon: Sie absorbieren die Wärmestrahlung und beginnen zu vibrieren und zu rotieren. Sie regen sich kurz danach ab und remittieren die Infrarotstrahlung dann wieder in alle Richtungen, *auch in Richtung der Erdoberfläche*! Man kann deutlich sagen, dass die Strahlung, die die Erdoberfläche erreicht, sich aus der Sonnenstrahlung und der von den Molekülen re-emittierte Infrarotstrahlung speist. Die Gesamtstrahlung, die die Erdoberfläche erreicht beträgt dann: $238 \text{ W/m}^2 + \text{re-emittierte Strahlung} = 398 \text{ W/m}^2$.



Welche mittlere Temperatur hat dann nun die Erde mit Atmosphäre? Das finden wir mit der Stefan-Boltzmann-Graphik heraus:



Mit einem Strahlungsintensitätswert von 398 W/m^2 hat die Erde eine mittlere Temperatur von **15°C**! Diese Differenz zwischen -18°C und 15°C (ein Anstieg von 33°C!) ist was wir als den **natürlichen**

Treibhauseffekt bezeichnen! Ohne ihn gäbe es kein Leben auf der Erde!

Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) und Ozon (O_3) sind alle Treibhausgase: Sie können die Infrarotstrahlung der Erdoberfläche absorbieren und zum großen Teil in der Atmosphäre speichern.

2.4 Der menschengemachte Klimawandel

Die Erde ist vor rund 4,6 Milliarden Jahren entstanden. In dieser langen Zeit gab es immer wieder Klimaschwankungen und große Veränderungen auf dem Planeten. Seit dem Beginn des Holozäns vor rund 12.000 Jahren und damit seit der letzten Eiszeit, ist unser Klima, verglichen mit früheren Zeitabschnitten, relativ stabil (siehe Abbildung 30). Seit 1980 aber ist ein signifikanter Anstieg der mittleren Atmosphärentemperatur zu beobachten.

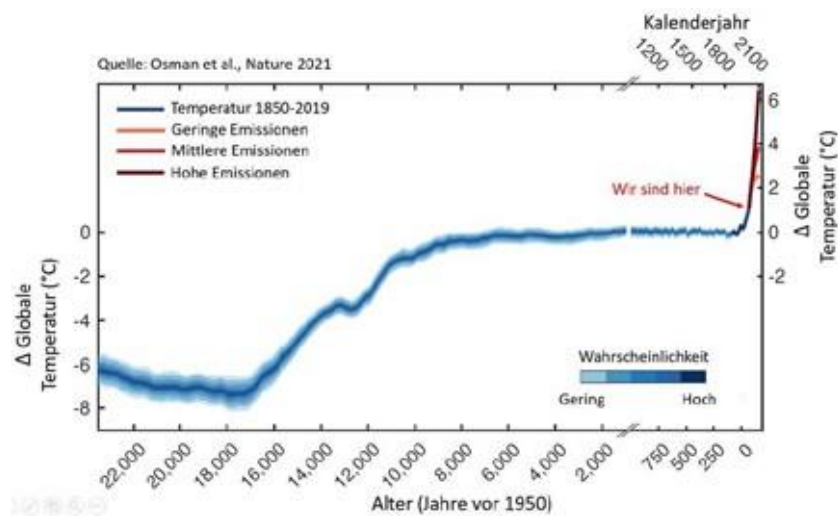
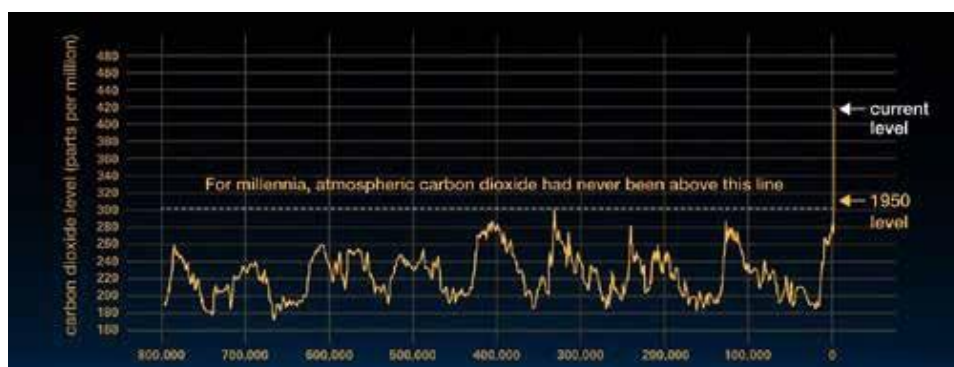


Abbildung 30 – Die Grafik zeigt den globalen Temperaturverlauf seit der letzten Eiszeit, mit Zukunftsszenarien. Die letzten 2000 Jahre sind höher aufgelöst (Quelle: Osman et al., Nature 2021).

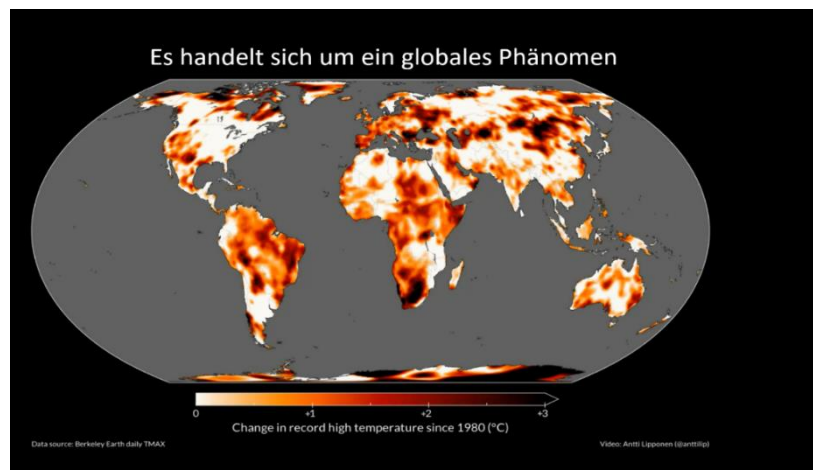
Sogar, über Jahrtausende war der CO_2 -Gehalt in der Erdatmosphäre stets unterhalb der 300 ppm⁸ Marke (siehe Abbildung 31). Seit der industriellen Revolution um 1800 jedoch nimmt die Konzentration von etwa 280 ppm um mehr als 40 %, auf heute über 400 ppm, schnell zu und liegt heute höher als zu irgendeinem Zeitpunkt in den letzten 400.000 Jahren.



Heute herrscht deshalb in der Klimaforschung der Konsens, dass der aktuelle Klimawandel ohne die Aktivitäten des Menschen nicht zu erklären ist. Denn seit der industriellen Revolution im 1835 verbrennen Menschen massiv Kohle und Erdöl um Energie zu gewinnen, was die Freisetzung in die Atmosphäre von riesigen Mengen an CO_2 verursacht. Insbesondere die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die Industrialisierung der Landwirtschaft und der hohe Konsum erhöhen die Konzentration von Treibhausgasen in unserer Atmosphäre. Dies führt zu einem Anstieg der globalen durchschnittlichen Oberflächentemperatur. Warum?

Die zusätzlichen Treibhausgase führen zu einer Erhöhung des Strahlungsintensitätswertes **vom 398 W/m^2 auf 416 W/m^2** . Wenn wir nun mit diesem Wert die mittlere Temperatur der Erde anhand der des Stefan-Boltzmann-Diagramms (Seite 15) ermitteln, finden wir nun einen Wert von 16,7 °C! Mehr CO_2 -Moleküle in der Atmosphäre absorbieren mehr Wärmestrahlung der Erdoberfläche und re-emittieren diese Wärme in alle Richtungen auch Richtung Boden!

Wie bereits erklärt, die 16,7 °C ist ein Mittelwert. In Wirklichkeit kann sich die Temperatur in manchen Orten der Erde auf zusätzlichen +30 °C erhöhen. Dies ist der Fall in der Antarktis und in Sibirien gewesen! Und in Indien und Saudi-Arabien, wurden 2024 tagsüber bis zu 55 °C gemessen!!



Durch die globale Erwärmung werden Hitzewellen häufiger, Wälder und ganze Gebiete auf der Erde verbrennen.



Quelle: Wikipedia

Der Klimawandel verursacht nicht nur Hitzewellen, sondern vor allem Wetterextreme! Dürren und Überschwemmungen an verschiedenen Orten treten

Kapitel 3: Die Auswirkungen des Klimawandels

Um zu verstehen, wie die Handlungen des Menschen das Erdklima beeinflussen, ist eine klare Unterscheidung zwischen Klima und Wetter sehr wichtig:

3.1 Unterschied zwischen Wetter und Klima

Wetter: Der aktuelle Zustand der Erdatmosphäre zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort wird als *Wetter* bezeichnet. Heute ist es sonnig, morgen regnet es. Das Wetter spielt sich auf Zeitskalen von Stunden bis Tagen – also in relativ kurzen Zeiträumen (siehe Tabelle 1) ab und wird beispielsweise von der Sonnenstrahlung, Hoch- und Tiefdruckgebieten, Konvektion und Niederschlag bestimmt. Als *Witterung* wird das über mehrere Wochen bestehende Wettergeschehen bezeichnet.

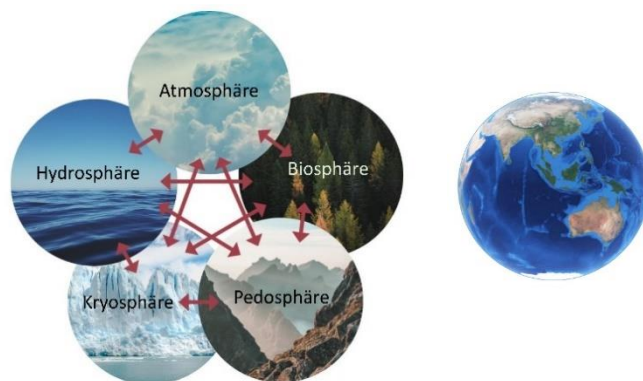
Klima: Das *Klima* hingegen bezeichnet das langjährige gemittelte Wettergeschehen an einem Ort üblicherweise über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren oder länger. Kurzzeitige Ausschläge oder Anomalien sind somit nicht entscheidend.

Phänomen	Zeitskala	Beispiele
Wetter	Stunden – Tage	Tiefdruckgebiet, Tropischer Sturm, Schönwetterwolken
Witterung	Wochen – Monate	„zu warmer Winter“
Klima	30 Jahre	Gletscherrückzug im 20. Jahrhundert

Nun

können wir uns der Auswirkungen des Klimawandels widmen. Diese können am besten verstanden werden, wenn wir die Veränderungen der Klimaelemente der Erde einzeln betrachten. Das Klima der Erde wird vor allem durch die Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche und durch die Wechselwirkungen zwischen den *Hauptbestandteilen des Erdklimasystems* bestimmt. Diese sind:

- Die Hydrosphäre (Wasser)
- Die Atmosphäre (Luft)
- Die Kryosphäre (Eis)
- Die Pedosphäre (Böden)
- Die Biosphäre (Lebewesen)



Diese Komponenten reagieren auf den Anstieg der globalen Temperatur mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Wir betrachten sie nun getrennt:

3.1 Die Hydrosphäre - Wasser – Die Ozeane

Im Klimasystem der Erde spielen die Ozeane eine sehr wesentliche Rolle. Sie bedecken etwa 2/3 der Erdoberfläche und nehmen einen Großteil der Wärme der Atmosphäre auf. Da Wasser ein sehr effektiver Wärmespeicher ist, puffern die Ozeane die globale Erwärmung! Jeder, der im Oktober oder November im Mittelmeer gebadet hat, staunt über das warme Wasser!

**Ozeane
93,4 %**

Auswirkungen der Erwärmung: Die Ozeane sind bereits sehr warm geworden. Sie können kaum mehr zusätzliche Wärme speichern. Zudem nimmt warmes Wasser mehr Volumen ein als kaltes Wasser und der Meeresspiegel steigt dadurch! Außerdem verdunstet mehr und mehr Wasser, was zu Starkregen führt. Darüber hinaus nehmen die Ozeane CO₂ aus der Atmosphäre auf und das Wasser wird dadurch sauer! In versauerten Ozeanen können viele Tier- und Pflanzenarten nicht mehr leben.

3.2 Die Atmosphäre

Die Atmosphäre ist die instabilste Komponente des Klimasystems. Vor allem ihre unterste Schicht, die Troposphäre, ist ein Ort sehr wechselhaften Wettergeschehens. Hier werden Temperaturunterschiede schnell ausgeglichen und aufeinandertreffende Luftmassen können zu heftigen Wetterreaktionen führen, wie z. B. Stürme, Gewitter und Starkniederschläge.

Die Atmosphäre um einen Planeten kann zwei Auswirkungen auf die Temperatur haben:

Verteilen der Wärme und Kälte durch Winde

Der Wind bildet die Grundlage der atmosphärischen Zirkulation, die das Wetter und das Klima bestimmt. Einige Gebiete der Erde erhalten mehr Wärme von der Sonne als andere. Dies führt zu Unterschieden in der Lufttemperatur, -dichte und -druck, die wiederum die Luft in Bewegung versetzen und so Wind entstehen lassen. Der Wind transportiert Wärme aus den äquatorialen Regionen zu den Polen und bringt kühlere Luft zurück in die Tropen.

Credits: ESA



Speichern von Wärme

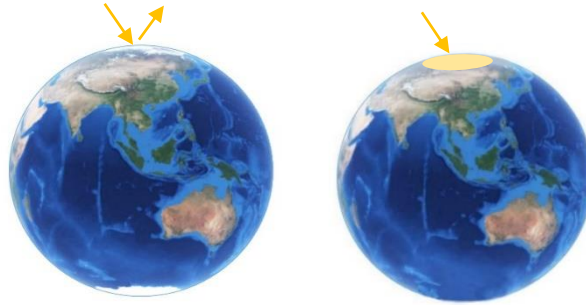
Die von der Sonne bestrahlte Erdoberfläche wird warm und strahlt selbst Wärme aus. Die Treibhausgase in der Atmosphäre können diese Wärme aufnehmen und geben sie dann in alle Richtungen wieder ab. Ein Teil der Wärme gelangt so erneut auf die Oberfläche der Erde anstatt im Weltall zu gehen. Die Luftschicht wirkt also wie eine Decke, die die Wärme speichert und die Erde wärmt. Das ist der Treibhauseffekt!

Auswirkungen der Erwärmung: In manchen Regionen wird die Luft heiß und trocken, was zu Dürren führt. In anderen Regionen erhöht sich der Wasserdampfgehalt durch die Verdunstung von Wasser in den Ozeanen, wodurch Starkregen entstehen. Gewitter, Stürme und Hurrikane sind häufiger geworden.

3.3 Die Kryosphäre – Das Eis

Für eine mäßige Temperatur der Erde spielen Eis- und Schneeflächen eine bedeutende Rolle, da beide ein hohes Reflexionsvermögen (Albedo) haben: Sie reflektieren 30 % der Sonnenstrahlung! Außerdem sind sie die Heimat vieler Tiere, die sich an das Eis angepasst haben.

Auswirkungen der Erwärmung: Ein großes Problem entsteht, wenn die Eisflächen durch die Hitze schmelzen. Dann sinkt die Menge Sonnenstrahlung, die ins All reflektiert wird und die Erde wird dadurch wärmer. Viele Tiere, wie die Eisbären in der Arktis und die Pinguine in der Antarktis, verlieren ihre Heimat.

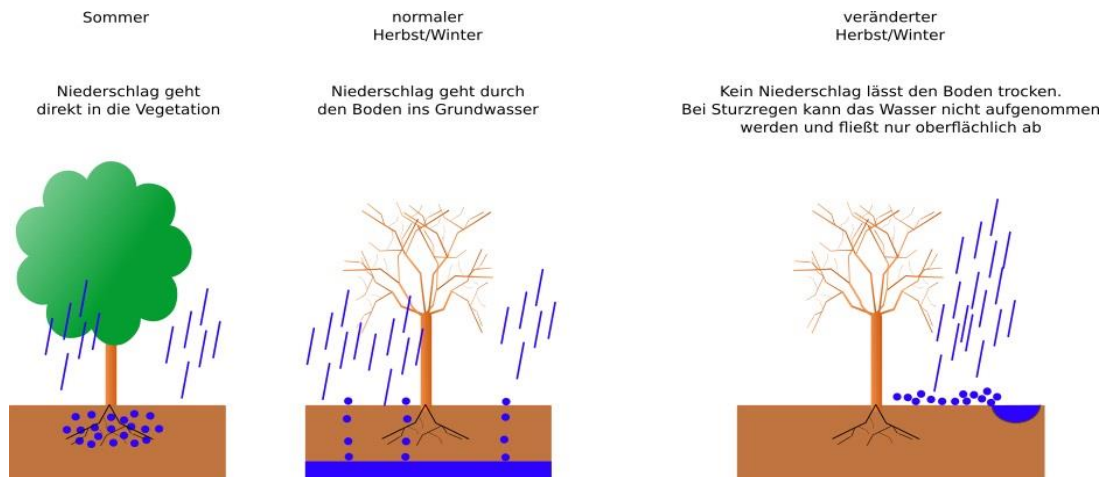


Links: Die Erde mit Eisflächen. Ca. 30 % der Sonnenstrahlung wird ins All reflektiert. Rechts: Die Erde ohne Eisflächen bekommt 30% mehr Sonnenbestrahlung und wird heißer.

3.4 Die Pedosphäre – der Boden

Der Boden absorbiert die Sonnenstrahlung, kann sich schnell erwärmen und gibt Wärmestrahlung in die Atmosphäre ab. Dunklerer Boden absorbiert mehr Sonnenstrahlung und nachts, beim Abkühlen, verheizt die Luft. Das Leben vieler Lebewesen spielt sich auf dem Boden ab.

Auswirkung der Erwärmung: Durch die globale Erwärmung wird der Boden trocken und hart. Wenn es regnet, kann er das Wasser nicht mehr aufsaugen, was zu starken Überschwemmungen führt.



Credits Foto:
Armin Weigel, dpa



3.5 Die Biosphäre

Der Einfluss der Biosphäre auf das Klima ist sehr groß. Für die Photosynthese nehmen Pflanzen CO_2 auf und erzeugen Sauerstoff O_2 + Glukose. Bäume speichern in ihren Stämmen, Blättern und Wurzeln viel CO_2 . Große Tiere wie Blauwale können das Äquivalent an CO_2 von 1000 Bäume ebenfalls speichern. Auch Mooregebiete speichern viel CO_2 .

Auswirkung der Erwärmung: Aufgrund der globalen Erwärmung und zunehmender Wetterextreme brennen Wälder monatelang. Dadurch sinkt die CO_2 -Aufnahme und Pflanzen und Tierarten sterben aus. Wenn Wälder wie der Amazonas verschwinden und Moore austrocknen, gelangt mehr CO_2 in die Atmosphäre!

Übersicht der Klimaelemente der Erde und der klimatischen Veränderungen

Teil des Klimasystems	Veränderungen	Auswirkungen
Hydrosphäre	Die globale Erwärmung führt zur thermischen Ausdehnung der Meere, schmelzendes Festlandeis fließt ins Meer ab. Der Meeresspiegel steigt.	Überflutung von Küsten- gebieten, Küstenstädten, Massensterben von Fischen, Algen und anderen Meerestieren u.a. aufgrund des Temperaturanstieges des Wassers.
Atmosphäre	Heiße trockene Luft verstärkt die Erosion in einigen Regionen, in anderen Regionen verstärkt ein höherer Wasserdampfgehalt die Wolkenbildung und den Niederschlag.	Wetterextreme, Hitze- wellen mit erheblichen Schäden an Flora und Fauna sowie Auswirkungen auf die Menschen, Starkregen mit plötzlichen Überflutungen.
Kryosphäre	Eis- und Schneeschmelze verringert die Albedo (Rückstrahlvermögen).	Mehr Sonnenstrahlung wird vom Boden aufgenommen und führt zu einer stärkeren Erwärmung der Erde.
Biosphäre	Mit der globalen Erwärmung sterben Pflanzen- und Tierarten aus (u. a. durch Verschiebung der Klimazonen, Veränderung von Ökosystemen, Trockenheit, Waldbrände).	Verschwinden von Wäldern und von CO_2 - Senken. Es wird weniger CO_2 in den Bäumen (Stamm, Äste, Wurzel) gespeichert.
Pedosphäre und Lithosphäre	Freisetzung dunkler Flächen durch das Schmelzen von Eis und Schnee.	Verringerung der Albedo, stärkere Erderwärmung.

3.6 Die Kippunkte

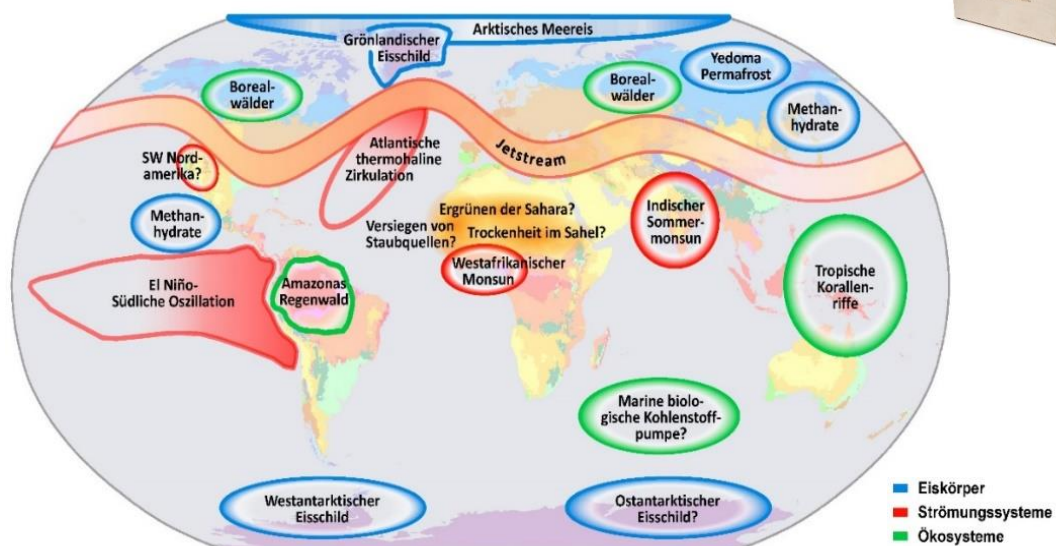
Der Klimawandel setzt Prozesse in Gang, *die sich selbst verstärken*. Solche „Rückkopplungsprozesse“ treten ein, wenn bestimmte Temperaturen überschritten werden. An diesen Schwellen können kleine Veränderungen das Erdsystem in einen qualitativ neuen Zustand übergehen lassen. Man spricht von einem Kippunkt. „Kippen“ bedeutet, dass diese Veränderungen eine Dynamik entwickeln, die nicht mehr aufzuhalten also irreversibel ist. Zum Beispiel: Wenn sich die Atmosphäre erwärmt, schmilzt das **Arktisches Meereis**. Dadurch wird weniger Sonnenstrahlung zurück ins All reflektiert (die Albedo sinkt) und stattdessen wird mehr Strahlung von der Oberfläche absorbiert. Dies führt zu einem noch stärkeren Abschmelzen des Eises, wodurch der Albedo weiter sinkt. Ein vollständiger Zusammenbruch der Eisschilde Grönlands könnte zu einem Anstieg des Meeresspiegels um bis zu 7 Meter führen. Dies hätte verheerende Folgen für Küstenregionen weltweit, wo die Hälfte der Menschheit lebt.

Das Auftauen des **Permafrostbodens** ist ein weiterer Kippunkt, da der Boden große Mengen Methan freisetzt (ein Treibhausgas, das stärker als CO₂ die Wärme absorbiert!), wodurch die Lufttemperatur steigt und folglich das Auftauen des Permafrostbodens beschleunigt wird. Ein Teufelskreis entsteht!

Der **Golfstrom** hat sich seit 1950 um 15 % abgeschwächt. Diese Strömung ist für das Klima in Europa und Nordamerika von entscheidender Bedeutung. Eine weitere Abschwächung könnte zu extremen Wetterbedingungen und einem Rückgang der landwirtschaftlichen Produktivität führen.

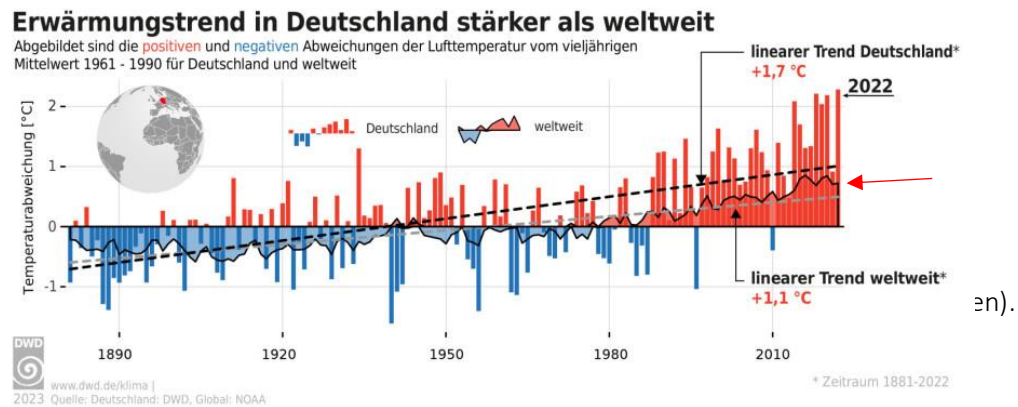
Der **Amazonas-Regenwald** hat seit 1970 17 % seiner Fläche verloren. Dieser Verlust bedroht nicht nur die Artenvielfalt, sondern auch das globale Klima. Der Regenwald spielt eine zentrale Rolle im Niederschlagskreislauf. Bei einem Temperaturanstieg um 3,5 °C könnte der Amazonas einen Kippunkt erreichen, der zu einer irreversiblen Austrocknung führen würde. Dies hätte weitreichende Folgen für das Klima in Südamerika und darüber hinaus.

Eine fortschreitende Temperaturerhöhung kann zu einer Kaskade sich gegenseitig auslösender Kippunkte führen („Dominoeffekt“). Die untere Abbildung zeigt die Kippunkte. Die Aktivitäten 11 und 12 des Klimakoffers veranschaulichen solche Prozesse.



3.7 Der Klimawandel in Deutschland

Im weltweiten Vergleich zeigt sich, dass Deutschland besonders stark von Klimawandel betroffen ist. Das Jahr 2022 war dem Wetterdienst DWD zufolge hierzulande das zwölfte zu warme Jahr in Folge und stellte sogar den Allzeitrekord aus dem Jahre 2018 ein. Die Tendenz 2024 und 2025 ist steigend. Der rote Pfeil rechts zeigt der Trend der Temperaturanstieg weltweit (schwarze Linie). Die Temperaturwerte für Deutschland liegen seit der 90er Jahren weit über den Durchschnitt!



Quelle: DWD

Für den Unterricht, bietet der Klimaatlas des Deutschen Wetter Dienstes DWD die Möglichkeit an, interaktiv den Klimawandel in Deutschland und in den einzelnen Bundesländern zu erkunden. Im Vergleich zu einem Mittelwert (1971-2000), werden die Abweichungen u.a. in der Lufttemperatur, Anzahl der Hitzetage oder Niederschlag gezeigt.

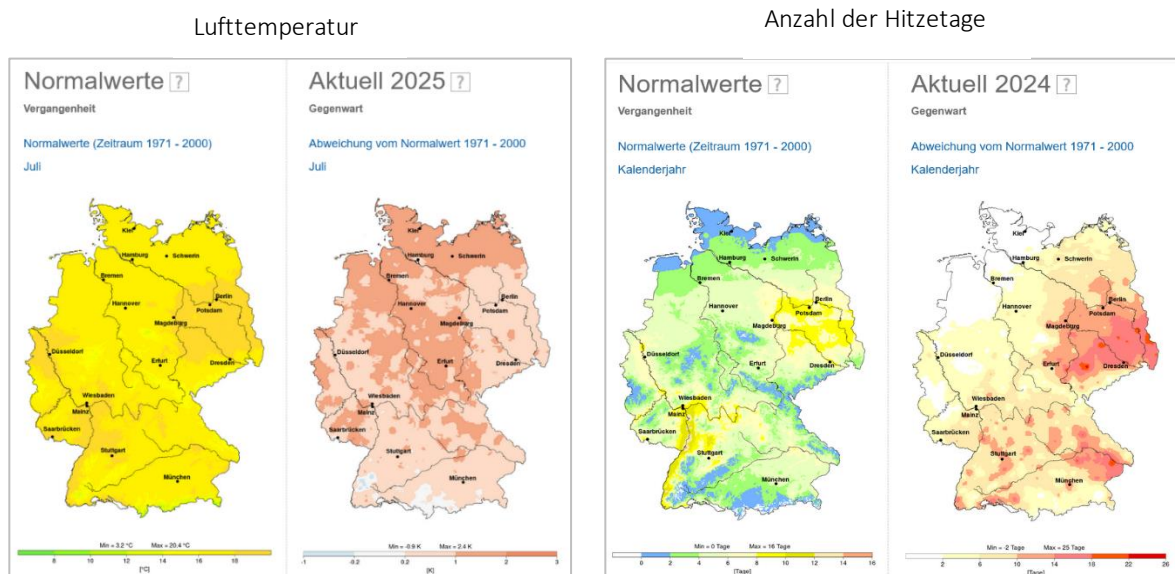


Abb. – Links: Abweichungen der Lufttemperatur im Juli 2025 (K: in Perzentile¹). Rechts: Der Anzahl der Hitzetage pro Jahr hat zugenommen (Quelle: DWD

https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html)

Insbesondere die Anzahl der sehr heißen Tage hat erheblich zugenommen. An solchen Tagen ist auch die Anzahl der Menschen (Kinder und Erwachsene), deren Gesundheit beeinträchtigt ist, gestiegen.

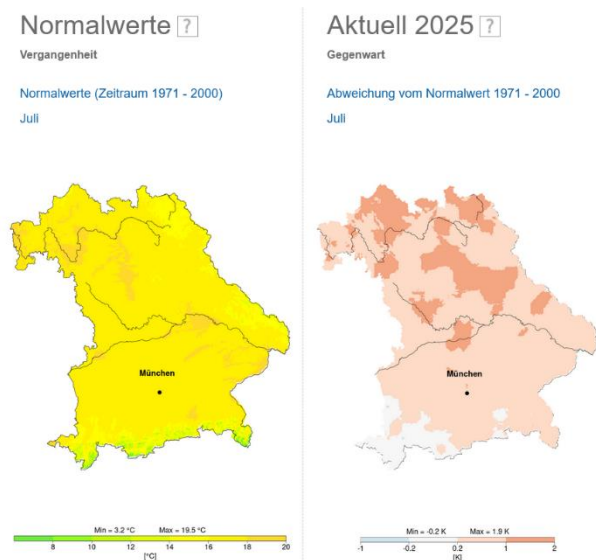
¹ Perzentil teilt die Verteilung der Messwerte in 100 gleich große Einheiten auf:
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html

3.8 Der Klimawandel in Bayern

Auch in Bayern sind die Auswirkungen des Klimawandels bereits deutlich spür- und messbar. Laut dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz zeigt die Auswertung der mittleren Jahrestemperatur, dass es in Bayern immer wärmer wird. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts hat sich die Jahresmitteltemperatur bereits um 1,9 °C erhöht! Das Jahr 2022 war bayernweit das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen. Klimaprojektionen zufolge wird sich dieser Trend künftig fortsetzen.

Noch stärker als die Jahresmitteltemperaturen steigen die Höchsttemperaturen im Sommer. Extreme Hitze am Tag und in der Nacht, erhöht die gesundheitlichen Risiken für ältere Menschen, chronisch Kranke, Kinder und isoliert lebende Personen.

Quelle(https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/klima_energie/temperaturentwicklung/index.htm).
Rechts: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html.



Von den Folgen des Klimawandels sind in Bayern alle landschaftsprägenden Öko- systeme, wie Hoch- und Mittelgebirge, Wälder, Graslandschaften, Feuchtgebiete und Seen bereits betroffen. Zudem beeinflussen diese Entwicklungen auch das Leben der Menschen in den Städten und Kommunen Bayerns. Geht zudem mit den Hitzewellen – wie im Sommer 2023 – eine ausgeprägte Trockenheit einher, ergeben sich insbesondere für die bayerische Wasser-, Land- und Forstwirtschaft gravierende Auswirkungen. So fiel im August 2023 in der Oberpfalz und in Franken 70–90 % weniger Niederschlag als im gemittelten Durchschnitt, was zu dem Teil massive Ernte- ausfälle und in der Folge vielerorts Futtermangel zur Folge hatte.

Da sich der Klimawandel zunehmend auf die Niederschlagsverteilung und -mengen auswirkt, hat sich die Gefahr von Hochwassern verschärft. In Bayern sind 2024 einige Regionen sehr stark betroffen. Die Schäden sind immens. Das Problem ist, dass Überschwemmungen, die früher alle 100 Jahre auftraten, nun viel häufiger vorkommen, was zu einem Verlust an materiellem Wohlstand sowie an körperlicher und geistiger Gesundheit führen wird.



Nach schweren Unwettern in Süddeutschland im 2024 sind in vielen Orten die Flüsse über die Ufer getreten. (picture alliance / dpa / Jason Tschepljakow)

Moorböden in Bayern

EIN BEITRAG VON PROF. GRAMBOW: LEITER DER ABTEILUNG WASSERWIRTSCHAFT UND BODENSCHUTZ AM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ

Moorböden speichern besonders große Mengen Kohlendioxid (CO_2) und haben wichtige Bodenfunktionen. Beispielsweise verzögern sie bei Hochwasser den Abfluss und sind von herausragender Bedeutung für die Biodiversität. Der ständige Überschuss an stehendem Wasser, gespeist durch Niederschläge (Hochmoor) oder durch hohen Grundwasserstand (Niedermoor), verhindert durch Sauerstoffarmut die Zersetzung organischer Materialien. Moorboden dient so als effektiver Kohlenstoffspeicher. Mit der Zeit werden die nicht zersetzten pflanzlichen Überreste abgelagert und der Torfkörper der Moore wächst in die Höhe. Hochmoore erreichen so ein Wachstum von ca. 1 mm pro Jahr [26]. Weltweit werden durch torfbildende Moore ca. eine viertel Milliarde Tonnen an CO_2 gespeichert. In Mooren lagert damit weltweit mehr Kohlenstoff als in den Wäldern.

Die seit vielen Jahrzehnten praktizierte Trockenlegung von Mooren für meist landwirtschaftliche Zwecke führt zur Freisetzung großer Mengen von CO_2 , aber auch weiterer Treibhausgase wie Lachgas (N_2O) in die Atmosphäre. Zusätzlich kommt es zu einer Auswaschung von Nährstoffen wie Phosphor oder von Huminstoffen und zu deren Eintrag in unterhalb liegender Gewässer. Dies geht mit einem massiven Eingriff in den Wasserhaushalt der Böden und der Landschaft einher, der letztlich zu einer Sackung der Mooroberfläche von etwa 0,5–2 cm pro Jahr [28] sowie zu einem beschleunigten Abfluss von Wasser und zugleich einem verminderten Rückhalt für Trockenphasen führt und sogar den Verlust der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit der Böden bedeuten kann. Deshalb sind vor allem der Schutz bestehender Hoch- und Niedermoorböden durch Einstellung eines Wasserstandes, der eine nachhaltige Nutzung garantiert, und die Moor-Regeneration ein wichtiges Instrument für den Schutz des Klimas, des Wasserhaushaltes und des lokalen Mikroklimas.



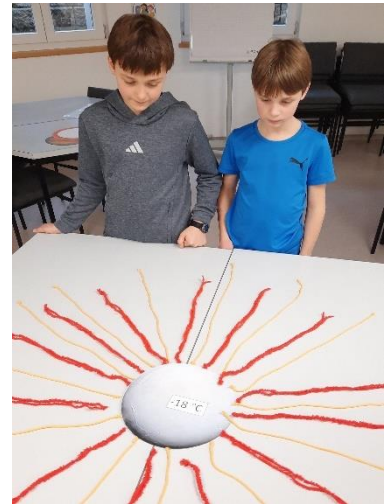
Abbildung 48 – Moor Walsrode (Credits: Poul Krogsgard)

Von den rund 1,8 Millionen Hektar Moorböden in Deutschland, sind heute 95 % als degeneriert zu bezeichnen. Insgesamt tragen entwässerte Moore mit ca. 5,1 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalenten zu den Treibhausgasemissionen Bayerns bei. Dieser Effekt soll durch das Klimaschutzprogramm 2050 der Bayerischen Staatsregierung deutlich reduziert werden. Durch die Renaturierung von Mooren wurde in Bayern bereits ein positiver Klimaeffekt von über 115.000 Tonnen CO_2 erreicht.

Kapitel 4: Der Klimawandel im Klassenzimmer

4.1 Der Klimawandel erklärt an Schülerinnen und Schüler

Täglich hört man Nachrichten über die globale Erwärmung. Diese Informationen erreichen die Schülerinnen und Schüler und wecken bei einigen von ihnen Sorgen. Sie machen sie gleichzeitig neugierig darauf, warum sich die Erde erwärmt. Und weil es wichtig ist, die Ursachen zu verstehen, um sie zu bekämpfen, haben wir im Programm verschiedene Aktivitäten entwickelt, um aktiv zu erkunden, was mit unserem Planeten passiert und warum es mehr extreme Wetterereignissen gibt. Wir haben insbesondere ein Lege-Spiel mit einer Reihe von Bildern und Karten entwickelt, die die Rolle der Atmosphäre für die Temperatur des Planeten veranschaulichen und den Kontext für verschiedene Experimente liefert. Gleichzeitig werden im Spiel Ideen zur Verringerung der CO₂-Emissionen und Quellen von CO₂-Speicher vorgeschlagen und diskutiert.

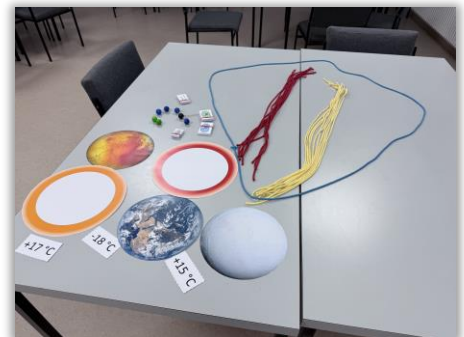


Legespiel Treibhauseffekt

Legespiel zur Veranschaulichung des Treibhauseffekts, basierend auf einer ersten Version von OroVerde, modifiziert und angepasst an der Fakultät für Physik der LMU.

Material:

- Große Bildkarten: 3 x Erde (Eisplanet, blauer Planet, heißer Planet, 2 x Kreisring Erwärmung) + Temperaturkärtchen (-18°C, 15°C und 17°C)
- Ca. 20 Karten N₂
- Ca. 6 Karten O₂
- Ca. 8 - 20 mal CO₂ (abhängig davon, wie viele zusätzliche Karten im dritten Teil des Spiels gelegt werden sollen)
- Fäden:
 - o Sonnenstrahlung: 8 x Gelb (60 cm pro „Strahl“)
 - o Wärmestrahlung: 8 x Rot (60 cm pro „Strahl“)
 - o Atmosphäre - Blau: 2,5 – 3 m
- Spielkarten:
 - o CO₂ – Verursacher
 - o CO₂ – Alternativen
 - o CO₂ – Senken
- Modelle der Moleküle



Teil 1: Die Erde ohne Atmosphäre

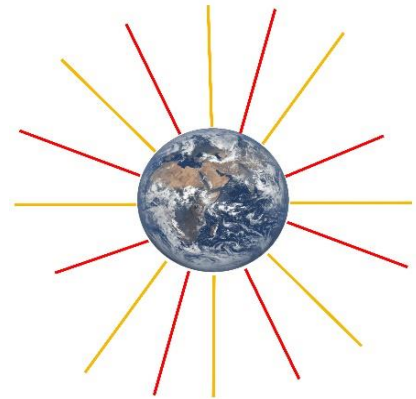
Für die ersten zwei Teile sitzen alle Schülerinnen und Schüler in einem großen Kreis um das am Boden aufgebaute Modell herum. Zu Beginn liegt das Bild der (normalen blauen) Erde in der Mitte. Die Lehrkraft leitet das Spiel mit Hilfe der folgenden Hinweise an und die Lernenden führen die Schritte (gemeinsam) aus:

„Das Sonnenlicht, das auf die Erde trifft, wärmt diese auf.“

8 Gelbe Fäden werden als Sonnenstrahlen ausgelegt und treffen auf die Erde.

„Die Erde strahlt daraufhin Wärmestrahlung ab.“

8 Rote Fäden werden als Wärmestrahlung ausgelegt. Sie gehen von der Erde aus und strahlen in alle Richtungen von der Erde weg.



„Ohne eine Atmosphäre entweicht die gesamte Wärmestrahlung ins Weltall. Die Erde hätte deshalb eine Durchschnittstemperatur von -18°C . Sie würde also wie ein riesiger Schneeball aussehen.“

Das Bild der blauen Erde wird durch das Bild der Schneeball-Erde ersetzt.
Das Temperaturkärtchen -18°C wird darauf gelegt.

Teil 2: Die Erde vor der industriellen Revolution

„Unsere Erde hat zum Glück eine Atmosphäre, darum haben wir keine -18°C !“

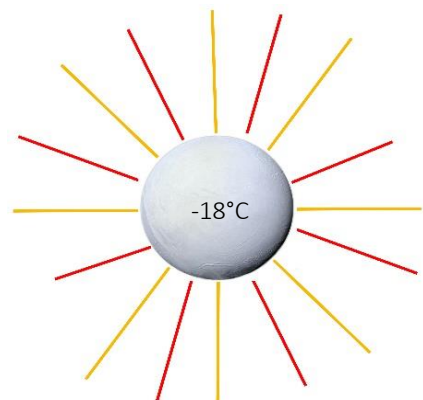
Die blaue Schnur wird um die Erde herum gelegt.

Die Molekülkarten N_2 und O_2 und einige der CO_2 Karten (3-4) werden innerhalb des blauen Kreises verteilt und stellen die Gasmoleküle der Atmosphäre dar. (Hinweis: Das Verhältnis der Gase in der Atmosphäre kann nur praktisch nicht mit den Karten dargestellt werden (siehe prozentuale Verteilung). Diskutieren Sie das mit den Lernenden.)

Erläutern Sie die Zusammensetzung der Atmosphäre:

- In der Atmosphäre gibt es viele verschiedene Gasmoleküle.
- Stickstoff (N_2): Das häufigste Gas, etwa 78 % der Atmosphäre.
- Sauerstoff (O_2): Etwa 21 %, wichtig für das Atmen von Menschen und Tieren.
- Argon (Ar): Ein Edelgas, das etwa 0,93 % ausmacht.
- Kohlenstoffdioxid (CO_2): Ein kleines, aber wichtiges Gas, etwa 0,04 % der Atmosphäre.
- Andere Gase: Dazu gehören Wasserdampf, Methan (CH_4), Ozon (O_3) und andere in winzigen Mengen.

„Bestimmte Luftteilchen in der Atmosphäre können Wärmestrahlung aufnehmen. Sie werden Treibhausgase genannt. Ein solches Treibhausgas ist CO_2 (Kohlenstoffdioxid).“



Die Styropormodelle zu den Molekülen in der Atmosphäre werden erläutert:

- Die Moleküle N_2 oder O_2 bestehen aus 2 Atomen, die „fest“ miteinander verbunden sind (mit Zahnstochern, da gerade Anzahl an Molekülen), daher ist keine „Schwingung“ möglich. So reagieren sie nicht auf die infrarote Strahlung der Erde (Wording mit Lernenden: „Sie können nicht wackeln“).
- Die Treibhausgase CO_2 , H_2O und CH_4 haben eine ungerade Anzahl an Atomen. In den Modellen sind diese mit Federn befestigt. Sie reagieren auf die infrarote Strahlung („Sie können „wackeln“) und senden diese teilweise zurück zur Erde.

Info für Sie: Was sind Treibhausgase?

Treibhausgase, wie Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Wasserdampf, unterscheiden sich von den meisten anderen Gasen dadurch, dass sie Wärme speichern können. Sie lassen das Sonnenlicht zwar zur Erde durch, aber wenn die Erde Wärme zurück in den Weltraum abgibt, "fangen" Treibhausgase diese Wärme (infrarote Strahlung) teilweise ein und halten sie in der Atmosphäre bzw. „senden“ sie zur Erde zurück. Die drei genannten Treibhausgase unterscheiden sich zum Beispiel in den Zeiträumen, in denen sie in der Atmosphäre sind: Während H_2O einfach abregnet, bleibt CO_2 ca. 1000 Jahre in der Atmosphäre.

„Die Atmosphäre wird durch die Treibhausgase erwärmt.“

Das Bild der Schneeball-Erde wird wieder durch die „normale“ Erde ersetzt.

„Nach einer Weile strahlen die Luftteilchen die Wärme in alle Richtungen wieder ab. Ein Teil davon wird also auch zurück zur Erde gesandt. Insgesamt entweicht damit nur ein Teil der Wärmestrahlung ins Weltall. Die übrige Wärmestrahlung trifft erneut auf die Erde und wärmt diese weiter auf.“

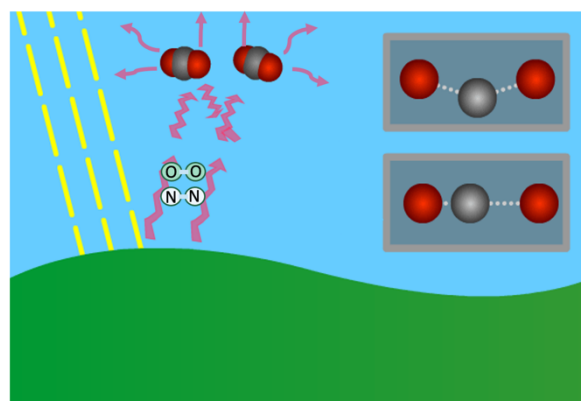
Einige der roten Fäden (2-3 der roten Fäden) treffen auf CO_2 Wolken. Sie werden nun umgelenkt, sodass sie zurück auf die Erde gerichtet sind.

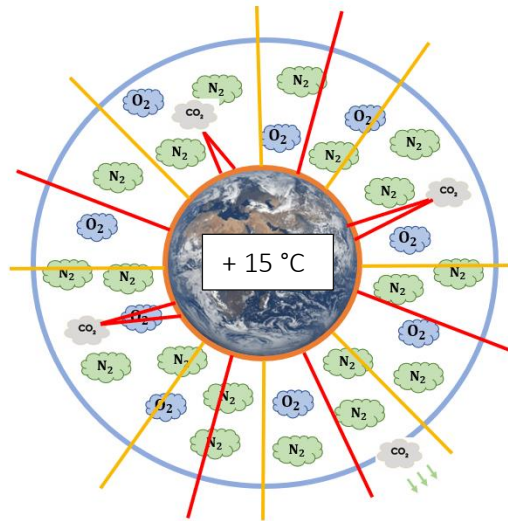
Der orange Kreis wird um die Erde herum gelegt. Er stellt die erwärmte Erde dar.

„In der Atmosphäre sind im Vergleich zu anderen Arten von Luftteilchen nur sehr wenige Treibhausgasmoleküle. Trotzdem reicht das aus, damit die Erde kein Schneeball ist, sondern eine Durchschnittstemperatur von $15^\circ C$ hat. Deshalb können wir auf der Erde leben. Der natürliche Treibhauseffekt ist also eigentlich etwas Gutes.“

Das Temperaturkärtchen $15^\circ C$ wird auf die Erde gelegt.

Was macht ein Gas zu einem Treibhausgas?





Teil 3: Der menschengemachte Treibhauseffekt

„Wir Menschen erzeugen also seit einiger Zeit immer mehr Treibhausgase und blasen diese in die Atmosphäre.“

Im Klassenverband wird nun gemeinsam besprochen, wodurch zusätzliches CO_2 in die Atmosphäre gelangt. Nachdem dies besprochen wurde, werden die **Spielkarten: CO_2 -Verursacher** an Lernende verteilt. Diese erläutern nacheinander, warum die Stichworte auf den Karten CO_2 verursachen (ggf. Diskussion darüber).

Hinweis: Auf den Rückseiten befinden sich weitere Infos zu den Stichworten auf den Karten.

Sie legen außerdem entsprechend der Anzahl der CO_2 Wolken auf ihrer Karte kleine CO_2 Wolken in die Erdatmosphäre.

„Die zusätzlichen Treibhausgasmoleküle nehmen ebenfalls Wärmestrahlung auf und strahlen sie in alle Richtungen wieder ab. Auch zurück zur Erde.“

Weitere rote Fäden treffen auf CO_2 Wolken. Sie werden nun ebenfalls umgelenkt, sodass sie zurück auf die Erde gerichtet sind.

„Die Erde wird dadurch immer wärmer.“

Das Bild der Erde und der orangene Ring werden durch das Bild der erwärmten Erde und den roten Ring ersetzt. Das Temperaturkärtchen $17^\circ C$ wird auf die Erde gelegt.

Teil 4: Wir retten das Klima

Gruppenarbeit:

Die Schüler sehen sich nun erneut die Karten mit den Treibhausgasverursachern an, die um die Atmosphäre herum liegen. Gemeinsam überlegen sie nun dafür Handlungsweisen, die für weniger CO_2 -Ausstoß sorgen.

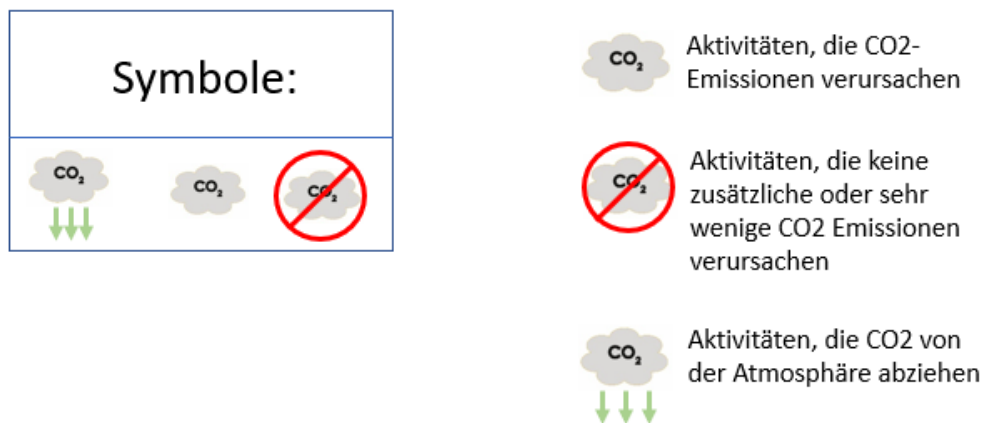
Für jede gefundenen alternative Handlungsweise legen die Schüler nun die entsprechende **Spielkarte: CO_2 -Alternativen** über die mit den Treibhausgasverursachern (wenn vorhanden).

„Dadurch wird zwar die Menge an CO_2 nicht gesenkt, da es 1000 Jahre in der Atmosphäre bleibt, aber weniger neues CO_2 in die Atmosphäre gebracht und damit erwärmt sich die Erde weniger. Kennt ihr Möglichkeiten, CO_2 aus der Atmosphäre zu entfernen?“

Im letzten Schritt überlegen die SuS gemeinsam, was es für Möglichkeiten das CO_2 in der Atmosphäre zu senken und sammeln diese auf Karten z. B. Bäume pflanzen, Moore renaturieren.

Die Schülerinnen und Schüler legen die **Spielkarten: CO_2 -Senken** mit Ideen zum CO_2 -Senken ebenfalls um ihr Erdmodell herum. Dabei werden wieder CO_2 Wolken aus dem Modell entfernt.

Symbole auf den Karten und deren Bedeutung:



Auf der Rückseite der Karten finden sich teilweise Erläuterungen, wie viel CO_2 hier entsteht. Dies dient vor allem dazu, dass die SuS die Möglichkeit haben, die Aktivitäten hinsichtlich ihrer Wirksamkeit für den anthropogenen Treibhauseffekt zu vergleichen.

4.2 Der Klimawandel und seine Auswirkungen mit dem LMU-Klimakoffer erforschen

Die im Folgenden vorgestellten Schüleraktivitäten sind Teil des LMU-Klimakoffers, welcher an der Fakultät für Physik der LMU München entwickelt wurde.



Abbildung 56 – Experimente aus dem Klimakoffer

Die Aktivitäten des Klimakoffers können selbstständig von Schülerinnen und Schülern ab der achten Jahrgangsstufe bearbeitet werden.

Die im Folgenden dargestellten Beschreibungen der Aktivitäten des Klimakoffers stellen Umsetzungsideen und keine fertigen Kopiervorlagen bzw. Arbeitsblätter dar! Zur Anpassung an die individuelle Unterrichtssituation stellen wir hierfür editierbare Versionen der Beschreibungen über die Webseite zur Verfügung. www.klimawandel-schule.de Außerdem sind hier Lösungsvorschläge, Antworten auf inhaltliche Fragen und weitere Materialien zu den Aktivitäten des Klimakoffers zu finden.

Der Klimakoffer steht unter folgender Creative Commons Lizenz: CC BY-NC-SA 4.0.



Aktivität 1 - Die Erde im Sonnensystem

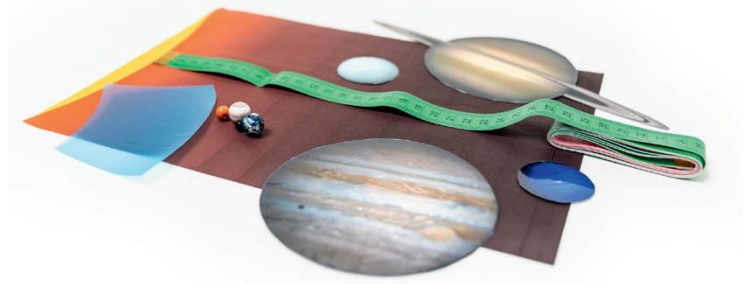
Was macht unsere Erde zu einem bewohnbaren Planeten?

In unserem Sonnensystem gibt es sehr unterschiedliche Planeten. Einer davon ist die Erde. Sieht man sich die verschiedenen Planeten an, merkt man, dass die Erde ein ganz besonderer Planet ist.

Aufgabe 1: Die Planeten im Sonnensystem

Materialien:

- ✓ Hintergrundbild mit Sonnumriss
- ✓ Planetenmodelle
- ✓ blaue Folie als Lebenszone
- ✓ Maßband
- ✓ Papier/Wortkarten



a) Betrachte die Planetenmodelle. Wie unterscheiden sie sich? Beschreibe!

Die **Gesteinsplaneten** bestehen aus festen Materialien und sind der Sonne am nächsten.

Die **Gasplaneten** werden auch Gasriesen genannt, weil sie so groß sind. Sie bestehen fast nur aus Gasen.

b) Entscheide, welches Modell zu welchem Planeten gehört. Erstelle für jedes Planetenmodell ein Namensschild auf Papier und ordne es den Planeten zu.

Hier reden die Planeten:

Ich bin der kleinste von allen Planeten.
(Merkur)

Ich bin der größte Planet!
(Jupiter)

Von den Gasplaneten bin ich der hellblaue.
(Uranus)

Mich erkennt man an meinen Ringen!
(Saturn)

Ich bin zwar groß und dunkelblau, aber schwimmen kann man auf mir nicht.
(Neptun)

Mein Spitzname ist der rote Planet.
(Mars)

Ich bin ungefähr so groß wie die Erde.
(Venus)

Man nennt mich auch der blaue Planet, aber so groß wie Neptun bin ich lange nicht.
(Erde)

Aufgabe 2: Wie weit sind die Planeten von der Sonne entfernt?

Der Abstand von der Sonne zur Erde beträgt ca. 150 Mio. km. Diese Entfernung wird als **Astronomische Einheit (AE)** bezeichnet.

Ein Abstand von 1 AE im Sonnensystem entspricht einer Strecke von 10 cm in unserem Modell.



a) Berechne nun die drei fehlenden Werte für den Abstand zur Sonne im Modell und trage ein:

Planet	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Abstand von der Sonne in AE	0,4	0,7	1,0	1,5	5,2	9,5	19,2	30,1
Abstand von der Sonne im Modell in cm		7	10		52	95	192	

b) Es gibt einen Merksatz, mit dem du dir die Planeten in der richtigen Reihenfolge merken kannst. Bringe die Wörter in die richtige Reihenfolge. Notiere die Planeten in der richtigen Reihenfolge darunter!

Nachthimmel ♦ mir ♦ erklärt ♦ unseren ♦ Mein ♦ Sonntag ♦ Vater ♦ jeden

c) Baue nun das Modell auf: Lege dazu die Sonne aus und anschließend alle Planeten im passenden Abstand entlang der Linie (Maßband). Die Tabelle von Aufgabe 2a hilft dir den richtigen Abstand zu wählen.

d) Diskutiert: Welcher ist der heißeste Planet, welcher der kälteste? Begründet!

Aufgabe 3: Auf welchen Planeten ist Leben möglich?

a) Kreuze an. Welche der Eigenschaften müssen erfüllt sein, damit ein Planet ein Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen sein kann?

- ☐ Die Temperatur muss so hoch sein, dass es flüssiges Wasser gibt und nicht nur Eis.
- ☐ Die Temperatur muss so sein, dass Lebewesen ihre Körpertemperatur erhalten können.
- ☐ Die Temperatur muss mindestens 37,5° Celsius sein.

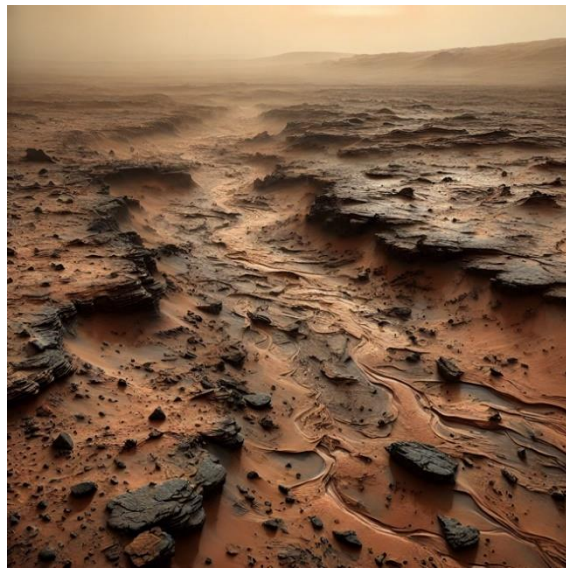
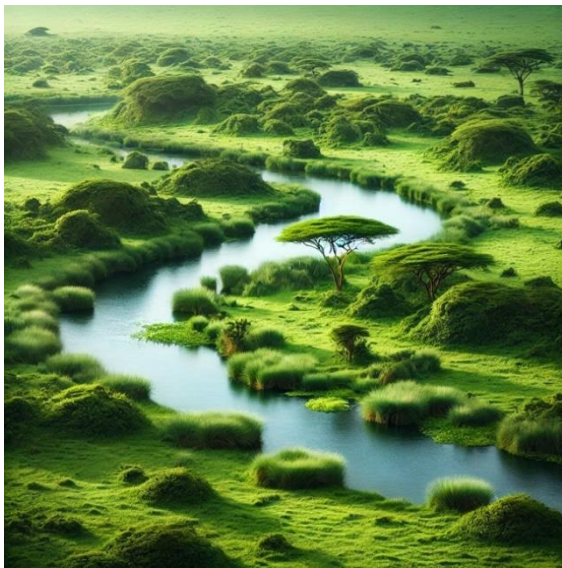
- b) Damit sich Leben (z.B. Pflanzen, Pilze oder Tiere) auf einem Planeten entwickeln kann, muss der Planet im Bereich der Lebenszone liegen.

Was ist das Besondere an der Lebenszone? Vermute.

-
- c) Die blaue Folie ist genauso breit wie die Lebenszone unseres Sonnensystems.
Lege die Folie nun im Abstand von 8,5cm von der Sonne aus.

Notiere hier, welche Planeten sich in der Lebenszone befinden:

-
- d) Ein Planet liegt mitten in der Lebenszone, der andere am Rande davon. Wäre auf beiden Leben möglich? Diskutiert und begründet. Die unteren Bilder der Erde und Mars können euch dabei helfen.
-
-



Aufgabe 4: Die Erde ist ein ganz besonderer Planet.

a) Was macht die Erde für dich besonders. Notiere deine Ideen. Du kannst auch zeichnen.



Die Erde (Credits: NASA)

Die Erde

-
-
-
-

b) Die Erde braucht unseren Schutz. Was kannst du tun? Sammle Ideen.

Das kann ich tun:

Aktivität 2 - Die Erde wird bestrahlt (Teil 1)

Wie wirkt sich die Bestrahlung durch die Sonne auf die Temperatur auf der Erde aus?

Die Energie der Sonne trifft auf die Erde und erwärmt diese. Ohne die Energie der Sonne wäre kein Leben möglich. Aber warum wird die Erde nicht immer heißer, obwohl sie ständig von der Sonne bestrahlt wird?

Aufgabe 1:



Achtung! Sehr heißer Strahler: **Verbrennungsgefahr!** Nach dem Abschalten auskühlen lassen. Arbeite vorsichtig und stecke das Netzkabel der Lampe während des Aufbaus noch **nicht in die Steckdose**.

Materialien:

- ✓ Glühstrahler im Schutzkorb am Rahmen
- ✓ Erdmodell (blaue Kugel mit Loch) ②
- ✓ Digitalthermometer
- ✓ Stoppuhr



Aufbau:

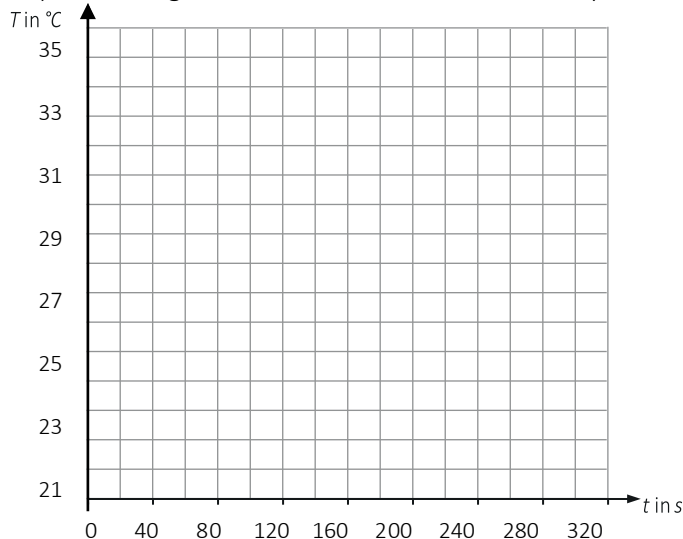
1. Stelle den Rahmen auf und befestige den Glühstrahler in der Halterung.
2. Schiebe das Digitalthermometer in die kleine Öffnung an einer Seite.
3. Stecke das Erdmodell auf die Spitze des Thermometers. Achte darauf, dass es sich genau unter dem Strahler befindet.

a) Wie wird sich die Temperatur der Kugel ändern, wenn du sie 6 Minuten lang bestrahlst? Vermute.

b) Stecke den Netzstecker in die Steckdose. Schalte den Strahler ein und miss die Temperatur (T) der Erde alle 20 Sekunden (s). Notiere die Messwerte in der Tabelle. Schalte nach 6 Minuten die Lampe aus und ziehe den Stecker aus der Steckdose.

Zeit (t) in s	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
T in $^{\circ}\text{C}$										
Zeit (t) in s	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
T in $^{\circ}\text{C}$										

c) Übertrage deine Messwerte in ein Zeit-Temperatur-Diagramm.



In deiner Temperaturkurve solltest du zwei unterschiedliche Phasen erkennen. Eine am Anfang und eine am Ende. Ziehe sie mit einem farbigen Stift nach.

Beschreibe, wie sich die Temperatur in Phase 1 und Phase 2 jeweils **ändert**.

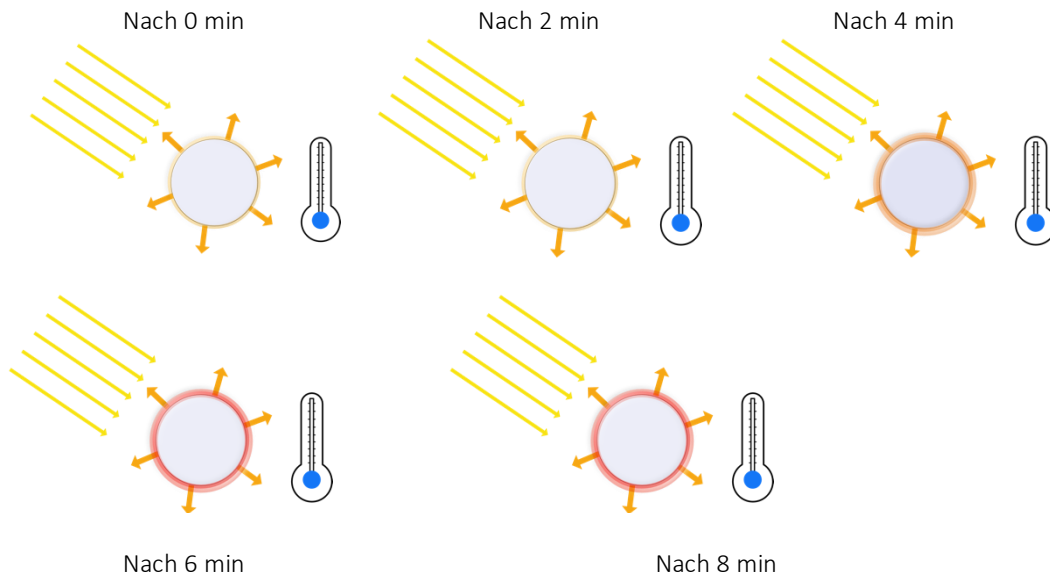
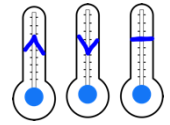
Phase 1:

Phase 2:

d) Welche Aussagen sind richtig? Kreuze an.

- ☐ Die Temperatur ist am Ende höher als vorher.
- ☐ Die Temperatur ist am Ende niedriger als vorher.
- ☐ Die Temperatur steigt während der Messung immer weiter, egal wie lange die Kugel bestrahlt wird.
- ☐ Die Temperatur bleibt irgendwann ungefähr gleich.

e) Hier ist die Kugel aus dem Versuch dargestellt. Markiere die Temperaturveränderung der Kugel auf dem kleinen Thermometer: Steigt die Temperatur, dann zeichne einen Pfeil nach oben, sinkt sie, dann einen Pfeil nach unten und bleibt sie gleich machst du einen Strich.



„Zu Beginn der Messung ... [*knister*] ...

Am Ende der Messung strahlt sie genauso viel Energie als Wärme ab, wie sie durch das Licht aufnimmt - das nennt man **Strahlungsgleichgewicht**.“

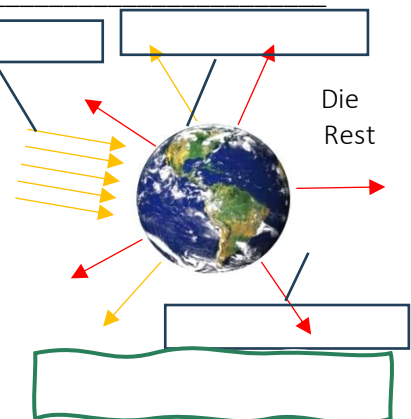


f) Leider fehlt in diesem Kasten der Anfang. Kannst du mit deinem Nachbarn/Nachbarin ergänzen, was die „kleinen Forscher“ über die Messung berichten wollten?

Aufgabe 2: Wie können wir diese Erkenntnisse auf die Erde übertragen?

Die Erde wird von der Sonne bestrahlt, d.h. auf sie trifft Sonnenstrahlung. Erde erwärmt sich und kühlt ab, indem sie Wärmestrahlung abgibt, der wird an der Erdoberfläche reflektiert (reflektiertes Sonnenlicht).

- a) Beschrifte die Abbildung rechts mit den unterstrichenen Begriffen.
- b) Ergänze die Lücken mithilfe der unterstrichenen Begriffe.



$$\boxed{\phantom{\text{Energy}} = \boxed{\phantom{\text{Energy}}} + \boxed{\phantom{\text{Energy}}}$$

Aktivität 2 - Die Erde wird bestrahlt (Teil 2)

Welche Rolle spielen die Eisflächen für die Temperatur der Erde?

Auf Teilen der Erde gibt es riesige Eisflächen, die oft viele Kilometer dick sind. Für manche Tiere sind diese überlebenswichtig. Doch auch für das Klima auf der Erde spielen sie eine Rolle.

Aufgabe 1:



Achtung! Sehr heißer Strahler: **Verbrennungsgefahr!**

Arbeite vorsichtig und stecke das Netzkabel der Lampe während des Aufbaus noch **nicht in die Steckdose**. Lass den Strahler am Ende mindestens 15 min abkühlen, bevor du ihn berührst.

Materialien:

- ✓ Glühstrahler im Schutzkorb am Rahmen
- ✓ Papierkörper „Eis“ und „Gestein“²
- ✓ 2 Digitalthermometer



Aufbau:

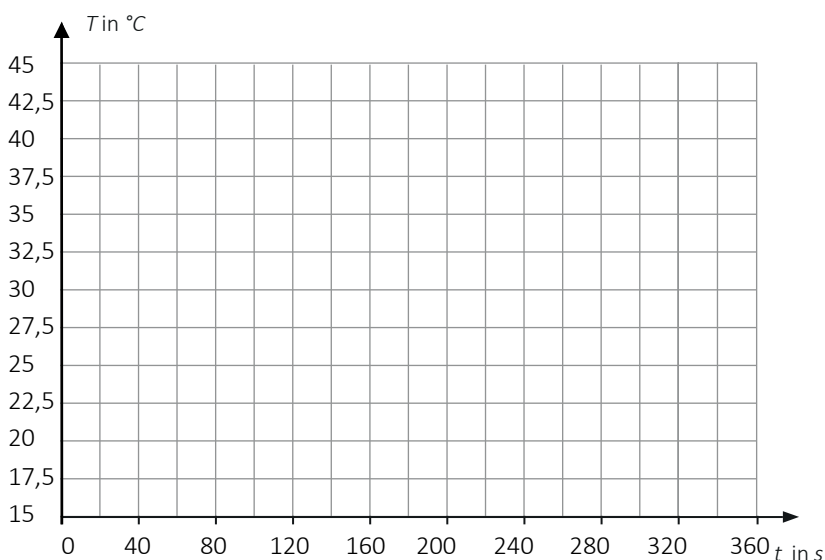
1. Stelle den Rahmen auf und befestige den Glühstrahler in der Halterung.
2. Schiebe die beiden Digitalthermometer in die kleinen Öffnungen an einer Seite.
3. Stecke die gefalteten Papierkörper auf die Thermometer.

Der schwarze Papierkörper stellt das Gestein unter einem geschmolzenen Gletscher dar, der weiße Papierkörper eine intakte Eisfläche.

- a) Miss und notiere die Ausgangstemperaturen. Stecke das Netzkabel in die Steckdose und schalte dann den Strahler an. Trage nun alle 20 Sekunden die Temperaturen in die Tabelle ein. Schalte nach 6 Minuten den Strahler aus und ziehe den Stecker aus der Steckdose.

Zeit (t) in s	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
Temperatur T Schwarz in °C																			
Temperatur T Weiß in °C																			

- b) Stelle die Ergebnisse grafisch im Diagramm dar. Verwende dabei unterschiedliche Farben.



Wenn die Temperatur sich **nicht** mehr **ändert**, ist die **Gleichgewichtstemperatur** erreicht. Dann gibt der Körper genauso viel Strahlung ab, wie er aufnimmt.



c) Wie unterscheiden sich die beiden Graphen?

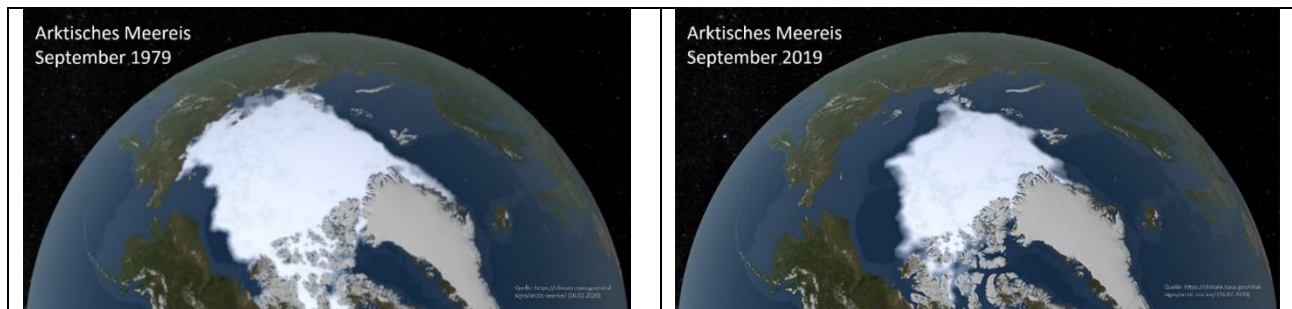
d) Welche Gleichgewichtstemperaturen erreichen beide Plättchen jeweils? Notiere.

Helle Flächen auf der Erde, wie z.B. Eis und Schnee, reflektieren das einfallende Licht der Sonne stärker. Dunkle Flächen, wie z. B. Wasser oder der Erdboden, absorbieren das einfallende Licht und strahlen Wärme ab.



Aufgabe 2: Das Eis auf der Erde

a) Betrachtet die beiden Bilder. Wo wird besonders viel Sonneneinstrahlung reflektiert? Wo wird die Sonnenstrahlung absorbiert und als Wärme wieder abgegeben? Diskutiert!



b) Nicht nur der Eisbär braucht die Eisflächen, auch für uns Menschen haben sie eine große Bedeutung. Welche Folgen hat das Schmelzen der Eisflächen auf unseren Planeten? Diskutiert und schreibt auf.



Aktivität 3 - Die Erde, ein strahlender Planet

Licht ist nicht gleich Licht?



Die Sonnenstrahlung besteht aus unterschiedlichen Strahlenarten. Eine Strahlenart, die wir nicht sehen können, ist die Wärmestrahlung. Sie wird auch „**Infrarotstrahlung**“ genannt. Wärmebildkameras „übersetzen“ diese Wärmestrahlung in sichtbares Licht, sodass man sie auf dem Display sehen kann.

Aufgabe 1: Wärmestrahlung sichtbar machen

Materialien:

- ✓ Wärmebildkamera



- a) Betrachte deine Hand mit der Wärmebildkamera und drücke sie anschließend fest auf den Tisch, nimm sie weg und untersuche dann den Tisch. Was erkennst du? Ergänze den Merksatz.

Die Hand erscheint in der Farbe _____, der Tisch erscheint in der Farbe _____.
Nachdem ich meine Hand vom Tisch hebe, erkenne ich _____.

- b) Betrachte mit der Wärmebildkamera deine Umgebung und deine Mitschülerinnen und Mitschüler. Notiere deine Beobachtungen:

- c) Betrachte die Bilder von den beiden Kaffeebechern.



Abbildung 1

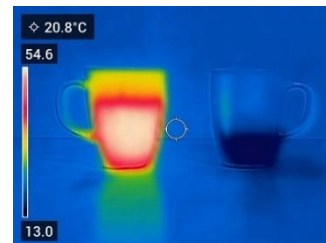


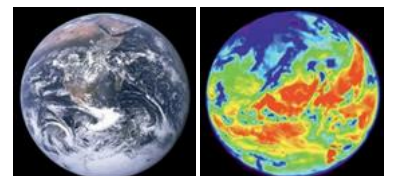
Abbildung 2

Markiere in Abbildung 1 den Becher, der mit kaltem Tee gefüllt ist. Zeichne auch in Abbildung 1 ein, bis wohin der heiße Tee in die Tasse gefüllt wurde.

Wie heiß sind jeweils die beiden Getränke? _____

- d) Vergleiche die beiden Bilder der Erde. Streiche falsche Aussagen durch.

- ✓ Die Erde sendet **nur Wärmestrahlung** / **nur sichtbares Licht** / **beides** aus.
- ✓ Die Energie der Abstrahlung stammt hauptsächlich von der Sonne / **den Menschen** / **dem Erdkern**.
- ✓ Die Erde strahlt ständig Wärme ab, **da die Sonne die Erdoberfläche aufheizt** / **da die Erde blau ist** / **da die Erde eine Atmosphäre hat**.



Aufgabe 2: Strahlung ist nicht gleich Strahlung und durchlässig ist nicht gleich durchlässig

Materialien:

- ✓ Wärmebildkamera
- ✓ Frischhaltefolie und schwarze Mülltüte
- ✓ luftgefüllter Ballon und wassergefüllter Ballon
- ✓ Petrischale aus Glas oder Brille
- ✓ Papier und Schulbuch



Verschiedene Materialien zur Erforschung der IR-Strahlung

- a) Halte deine Beobachtung in der Tabelle fest.
1. Bedecke deine Hände nacheinander mit den in der Tabelle aufgeführten Materialien. Beobachte zunächst mit bloßem Auge, wie gut du deine bedeckten Finger erkennen kannst. Kreuze zutreffende Kästchen in der Tabelle an.
 2. Wiederhole das Ganze. Betrachte deine Hand nun durch die Wärmebildkamera. Wie gut kannst du deine Hand nun erkennen?

Material	Glas	schwarze Tüte	Papier	Luft-gefüllter Ballon	Wasser-gefüllter Ballon	Schulbuch	Frischhalte-folie
durchlässig für sichtbaren Teil der Sonnenstrahlung							
durchlässig für Infrarotstrahlung							

- b) Überlege dir, was die Kamera bei einer durchsichtigen Plastiktüte anzeigen würde, wenn man sie mit Wasser füllt. Begründe deine Antwort.

- c) Die Treibhausgase in der Atmosphäre lassen sichtbares Licht von der Sonne ungehindert durch, absorbieren aber infrarote Strahlung. Welches der Materialien aus der Tabelle hat die gleichen Eigenschaften?

Aktivität 4 – Teil 1: Die Erde ohne Atmosphäre

Wie hoch wäre die mittlere Temperatur auf einer Erde ohne Atmosphäre?

Die Erde wird ständig von der Sonne bestrahlt. Sie gibt die Energie in Form von Wärmestrahlung aber auch wieder ab. Sie befindet sich daher im **Strahlungsgleichgewicht**.

Materialien:

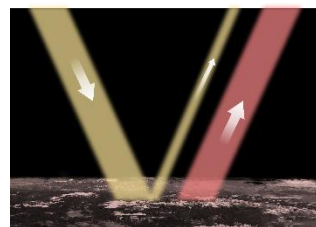
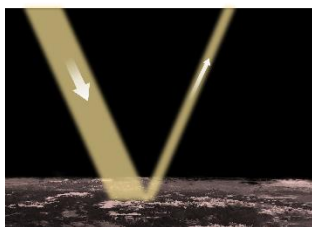
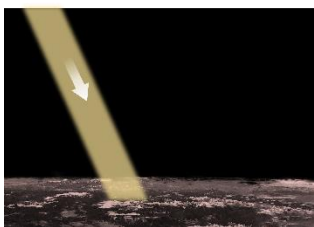
4

- ✓ 7 Pfeile
- ✓ 8 Beschriftungen
- ✓ 4 Zahlenwerte
- ✓ DIN-A3-Bogen „Erde ohne Atmosphäre“ (DIN A3-Mappe)
- ✓ DIN-A3-Bogen „Erde mit Atmosphäre“ (DIN A3-Mappe)



Aufgabe 1: Welche Wirkung hätte die Strahlung der Sonne, wenn es keine Atmosphäre gäbe?

a) Welches Bild passt zu welcher Erklärung? Verbinde!



Ca. 30% der Sonnenstrahlung wird an der Erdoberfläche reflektiert.	Die Sonne bestrahlt die Erdoberfläche im Durchschnitt über einen Tag verteilt mit 340 W/m ² .	Der Rest (ca. 70%) erwärmt die Erde. Genau dieser Teil wird anschließend als Wärmestrahlung von der Erdoberfläche abgestrahlt.
--	--	--

Die Strahlungsintensität wird in Watt pro Quadratmeter (W/m²) angegeben. Eine Strahlungsintensität von 1 W/m² bedeutet, dass die Strahlung auf einer Fläche von einem Quadratmeter eine Leistung von 1 Watt transportiert.



b) Verwende den Bogen „Erde ohne Atmosphäre“.

Arbeitsschritte

1. Ergänze die hellgrau umrandeten Pfeile anhand der Abbildungen aus Teilaufgabe a).
2. Lege die passenden hellgrau umrandeten Wortkarten dazu.
- c) Lege nun die hellgrau umrandeten Zahlenwerte für die Bestrahlungsstärke auf den Bogen.

Ankommende
Sonnenstrahlung

=

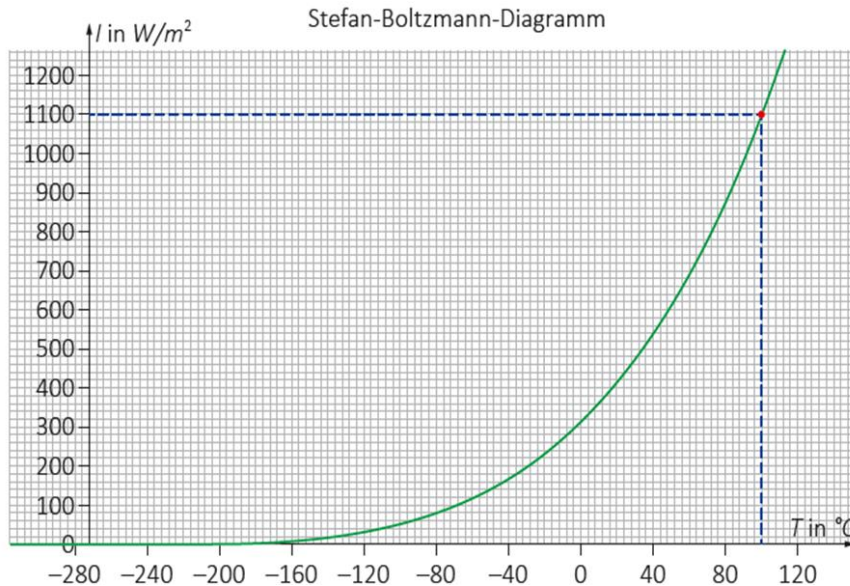
Wärmestrahlung

+

Reflektierte Sonnenstrahlung

Aufgabe 2: Zusammenhang zwischen Strahlungsintensität und Temperatur

Dieses Diagramm beschreibt, mit welcher **Strahlungsintensität I** (in Watt pro m^2) ein Körper bei einer bestimmten **Temperatur T** strahlt.



- a) Wenn du die Temperatur eines Körpers kennst, kannst du im Stefan-Boltzmann-Diagramm ablesen, mit welcher Intensität er Energie abstrahlt. Lies die Werte für die Objekte in der Tabelle aus dem Diagramm ab und trage die fehlenden Werte für die Bestrahlungsstärke ein.

Objekt	Temperatur in °C	Intensität W/m^2
kochendes Wasser	100	
menschlicher Körper	37	
Eiswürfel	0	

Wie man im Diagramm erkennen kann, strahlt ein Körper umso _____, je _____ er ist.

- b) Wende nun das Diagramm an, um die Temperatur der Erde ohne und mit Atmosphäre zu ermitteln.

	Temperatur in °C	Intensität W/m^2
Erde <u>ohne</u> Atmosphäre		238

- c) Wie denkst du, dass die Erde ohne Atmosphäre vom Weltall aussehen würde? Beschreibe!

Aktivität 4 – Teil 2: Die Erde mit Atmosphäre

Für welche Temperatur auf der Erde sorgt der natürliche Treibhauseffekt?

Die Atmosphäre hat einen entscheidenden Einfluss auf die Temperaturen auf der Erde. Sie bildet eine unsichtbare Schicht, die aus verschiedenen Gasteilchen (unter anderem Stickstoffmolekülen, Sauerstoffmolekülen, Kohlenstoffdioxidmolekülen, Wasserdampf, ...) besteht.

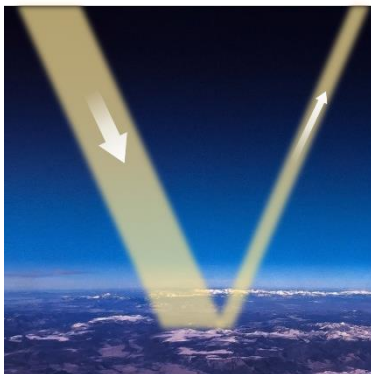
Information: Was sind eigentlich Treibhausgase?

Mit Treibhausgasen meint man Gase, die in der Atmosphäre die Wärmestrahlung, die die Erde abgibt, teilweise zur Erde zurückschicken. Die Moleküle dieser Gase (vor allem Kohlenstoffdioxid und Methan) geraten durch die Wärmestrahlung, die die Erde Richtung Weltall schickt, in „Schwingung“, „vibrieren“ und senden die Wärmestrahlung in alle Richtungen aus, auch zurück zur Erde. Je mehr dieser Moleküle in der Atmosphäre sind, desto weniger Wärme kann die Atmosphäre verlassen.



Aufgabe 1: Wie sorgt die Atmosphäre der Erde für einen natürlichen Treibhauseffekt?

- a) Die Erdoberfläche wird von der Sonne bestrahlt und erwärmt sich. Die Wärmestrahlung, die der Boden Richtung Weltall abgibt, wird von den Treibhausgasen absorbiert und Richtung Boden zurückgestrahlt. Beschreibe mithilfe der Bilder, welche Rolle die Treibhausgase in der Atmosphäre spielen.



- b) Verwende den Bogen „Erde mit Atmosphäre“.

Arbeitsschritte

1. Ergänze die dunkelgrau umrandeten Pfeile anhand der Abbildungen aus Teilaufgabe a).
2. Lege die passenden dunkelgrau umrandeten Wortkarten dazu.

20% der Wärmestrahlung kann die Atmosphäre durchdringen. 80% der Wärmestrahlung werden jedoch von der Atmosphäre absorbiert. Damit auch die Atmosphäre im Strahlungsgleichgewicht ist, muss sie diese Strahlung wieder abgeben. Die Hälfte der absorbierten Strahlung wird ins Weltall abgestrahlt. Die andere Hälfte in Richtung Erde. Die Atmosphäre ist also eine weitere Strahlungsquelle. Diese Strahlung, die in Richtung Erde abgegeben wird, fließt in die Gesamtstrahlung, die die Erde wieder abgeben muss, ein.



Aktivität 5 – Die Wirkung von Treibhausgasen

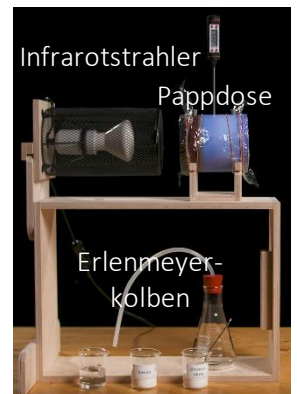
Welche Wirkung haben Treibhausgase auf die Erdtemperatur?

Die Atmosphäre um die Erde besteht hauptsächlich aus Stickstoff (78 %) und Sauerstoff (21 %). Es gibt auch sehr wenig von bestimmten Gasen wie Kohlenstoffdioxid (0,04 %) und Methan (0,0002 %), die Treibhausgase genannt werden. Obwohl es nur wenig davon gibt, haben sie eine große Wirkung!

Aufgabe 1: Wie wirken Treibhausgase?

Materialien:

- ✓ Keramik-Infrarotstrahler im Schutzkorb (stellt hier die Erde dar)
- ✓ Papprohre auf Holzhalterung
- ✓ Stopfen, Frischhaltefolie und Gummis
- ✓ Digitalthermometer 
- ✓ Erlenmeyerkolben mit Stopfen und Schlauch
- ✓ kleines Becherglas
- ✓ Natron, Zitronensäure und Wasser, Teelöffel, Schutzbrille und Lineal



Achtung! Sehr heißer Strahler: **Verbrennungsgefahr!**

Arbeitet vorsichtig und steckt das Netzkabel der Lampe während des Aufbaus noch **nicht in die Steckdose**.

Aufbau:

1. Drehe den Holzrahmen auf die Seite. Jetzt sind die **drei** Löcher oben.
2. Montiere die Holzhalterung für die Pappdose in die beiden kleineren Löcher.
3. Klappe die oberen Füße nach oben und befestige den Infrarotstrahler (s. Bild).
4. Verschließe die großen Öffnungen vorne und hinten in der Pappdose mit Frischhaltefolie und Gummis.
5. Befestige die Pappdose so mit Gummis auf der Holzhalterung, dass der Abstand zwischen Infrarotstrahler und Dose 8cm beträgt. Nutze ein Lineal für die Bestimmung des Abstands.
6. Stecke das Thermometer in das kleine Loch in der Mitte der Pappdose. Die Spitze des Thermometers darf **nicht** zum Boden reichen.
7. Verschließe die beiden anderen Löcher (links und rechts) mit je einem Stopfen.
8. Schalte den Infrarotstrahler ein.
9. Bevor man das Experiment fortführen kann, muss sich in der Pappdose die Gleichgewichtstemperatur eingestellt haben. Messe und notiere jede Minute die Temperatur, bis sich die Gleichgewichtstemperatur eingestellt hat. Notiere dir die Gleichgewichtstemperatur.



Video zum Versuch

Wenn sich die Temperatur in der Dose nicht mehr ändert, ist die Gleichgewichtstemperatur erreicht. Das kann etwas länger dauern. Tipp: Das Thermometer schaltet sich manchmal aus. Mit einem Tastendruck kannst du es wieder einschalten.

Aufgabe 2: Bearbeite in der Wartezeit die folgenden Aufgaben!

Scanne den QR-Code.

Ordne die Teile des Experiments (links) den „Teilen“ unserer Erde zu (rechts) zu.



Zuordnungsaufgabe

Aufgabe 3: Stelle Kohlenstoffdioxid her.

Arbeitsschritt 1:

1. Gib zwei Teelöffel Natron und zwei Teelöffel Zitronensäure in den Erlenmeyerkolben (**ohne Wasser**). **Achtung! Schutzbrille tragen!**
2. Entferne die beiden kleinen Stopfen aus der Pappdose.
3. Schiebe den Kunststoffschlauch in eines der Löcher der Pappdose.



Starte den **Arbeitsschritt 2**, wenn die Gleichgewichtstemperatur erreicht ist und notiere dies:

Arbeitsschritt 2:

4. Gib erst JETZT 30 ml Wasser in das kleine Becherglas.
5. Gieße es zum Pulver in den Erlenmeyerkolben.
6. Setze den Stopfen am anderen Schlauchende zügig auf den Erlenmeyerkolben auf!
7. Schwenke den Erlenmeyerkolben leicht, sodass das Kohlenstoffdioxid in die Dose geleitet wird. Das machst du eineinhalb Minuten lang.
8. Entferne danach den Schlauch aus der Pappdose und verschließe gleichzeitig die beiden Löcher zügig wieder mit den kleinen Stopfen.
9. Beobachte die Temperatur in den nächsten Minuten und warte, bis sich die Temperatur nicht mehr ändert.

Notiere deren Wert und vergleiche mit der vorigen Temperatur: _____

Aufgabe 4: Vervollständige den Lückentext.

Die Atmosphäre der Erde besteht hauptsächlich aus _____ (78%) und Sauerstoff (21%). Treibhausgase wie beispielsweise _____ (0,04%) und Methan (0,0002%) sind sehr gering vorhanden, haben aber eine _____ Wirkung! Die Erde nimmt Strahlung der _____ auf und strahlt sie als _____ wieder ab.

Unser Experiment:

Der Infrarotstrahler stellt die _____ dar. Er strahlt _____ in die Pappdose. Die Pappdose steht für die _____. Zuerst war die _____ mit Luft gefüllt. Dann füllten wir sie mit _____.

Wir stellen fest, dass sich die Pappdose, die mit CO₂ gefüllt war, _____ erwärmt, als die Pappdose, die mit _____ gefüllt war. Wir Menschen geben sehr viel _____ in die Atmosphäre ab. Durch diesen hohen CO₂-Gehalt wird _____ Wärme in der Atmosphäre gespeichert. Die _____ steigt.

Erde ♦ viel ♦ Temperatur ♦ Stickstoff ♦ große ♦ Sonne ♦ Kohlenstoffdioxid ♦ Wärme ♦ schneller ♦
Atmosphäre ♦ Kohlenstoffdioxid ♦ Pappdose ♦ Luft ♦ Kohlenstoffdioxid ♦ Wärmestrahlung

Aktivität 6 - Der Anstieg des Meeresspiegels

Wie führt der Klimawandel zu einem Anstieg des Meeresspiegels?

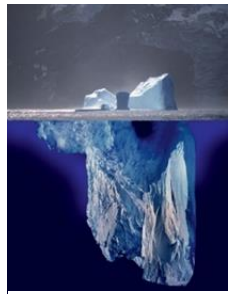


Landeis bildet sich aus Schnee. Es kann bis zu mehrere hunderttausend Jahre alt und mehrere Kilometer dick sein.

Meereis bildet sich aus Meerwasser, wenn die Temperatur des Wassers unter 0°C fällt. Meist schmilzt es im Sommer und bildet sich im Winter wieder neu. **Eisberge** entstehen aus großen Stücken Eis, die im Meer schwimmen. Der größte Teil des Eisberges befindet sich unter Wasser. **Eisschollen** bilden sich im Meer und sind meistens nur zwischen drei und sechs Meter groß.



1: Gletscher auf Grönland



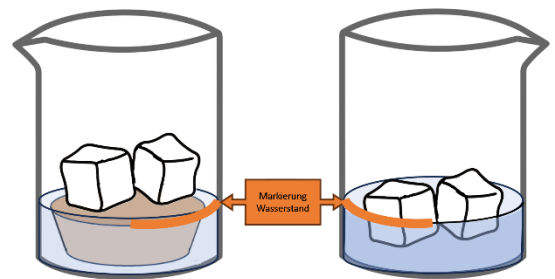
2: Fotomontage eines Eisbergs

Aufgabe 1: Wann sinkt der Meeresspiegel durch das Abschmelzen der Eisflächen?

Du kannst Landeis und Meereis in einem Versuch nachstellen. Was passiert jeweils mit dem Wasserstand, wenn das Eis schmilzt? Beobachte.

Materialien:

- ✓ fertig zusammengesetzter Glühstrahler
- ✓ zwei 150-ml-Bechergläser, Behälter mit Leitungswasser
- ✓ vier Eiswürfel
- ✓ Steinkörper (-> Koffer)
- ✓ Folienstift



Aufbau:

1. Fülle zwei Bechergläser so wie in der Skizze beschrieben.
2. Markiere den Wasserstand mit dem Folienstift.

a) Vergleiche den Inhalt deiner Bechergläser mit den Bildern oben? Ordne die Begriffe den richtigen Bechergläsern zu.

Meereis • Landeis

b) Stelle die Bechergläser unter den Strahler.

Vermute, in welchem Becherglas der Wasserspiegel stärker steigen wird. Kreuze an.

☐ Becherglas A

☐ Becherglas B

Bearbeite Aufgabe 2 während die Eiswürfel schmelzen.

Aufgabe 2: Steigt der Meeresspiegel aufgrund der Erwärmung des Wassers?

Materialien:

- ✓ Erlenmeyerkolben
- ✓ Glasrohr mit Gummistopfen
- ✓ Leitungswasser

Aufbau:

1. Fülle den Kolben bis knapp zum Rand mit kaltem Wasser.
2. Verschließe ihn mit Gummistopfen und Glasrohr. Achte darauf, dass das Wasser im Rohr steht und sich keine Luftblasen bilden.
3. Markiere den Wasserstand mit dem Folienstift auf dem Glasstab.



- a) Erwärme den Kolben für einige Minuten mit deinen Händen. Was kannst du beobachten? Kreuze an.

Der Wasserpegel im Röhrchen...

☐ steigt

☐ bleibt gleich

☐ sinkt

- b) Welcher Begriff passt? Streiche den falschen Begriff durch!

In der Regel gilt: Flüssigkeiten dehnen sich beim **Erwärmen/Abkühlen** aus.

Wenn sich die Meere erwärmen, nimmt das Volumen des Wassers **zu/ab** und der Wasserspiegel **steigt/sinkt**.

Aufgabe 3: Versuchsauswertung (Nachdem das Eis geschmolzen ist)

- a) Beobachtungen

- Markiere den neuen Wasserstand in beiden Bechergläsern mit dem Folienstift.
- Trage die Veränderungen (in cm) in die Tabelle in.

Becherglas A		Becherglas B	
--------------	--	--------------	--

- b) Vergleiche das Ergebnis mit deiner Vermutung aus Aufgabe 1a)

Aufgabe 4: Wie führt der Klimawandel zu einem Anstieg des Meeresspiegels?

Ergänze den Lückentext mithilfe des Wortspeichers.

Der Meeresspiegel steigt deutlich, wenn das _____ schmilzt. Das Schmelzen des _____ trägt zu einem Anstieg des Meeresspiegels nicht so stark bei. Erhöht sich die Wassertemperatur durch die Erderwärmung, nimmt das _____ des Wassers zu, was ebenfalls einen Anstieg des Meeresspiegels verursacht. (*Volumen, Meereis, Landeis*)

Aufgabe 5: Welche Folgen hat der Anstieg des Meeresspiegels?

Schau die Karte an und nenne drei Städte, die bei einem Meeresspiegelanstieg von 1 m überflutet werden:

1.
2.
3.

Welche Probleme bringt ein Anstieg des Meeresspiegels mit sich? Beschreibe die Auswirkungen für Menschen und Umwelt.



(Tipp: Auf <https://coastal.climatecentral.org> kannst du dir dazu verschiedene Karten erstellen. Wie sieht es in anderen Teilen der Erde aus?)

Aktivität 7 - Die Klimazonen und der Klimawandel

Wie entstehen die Klimazonen der Erde?

Wie beeinflusst der Klimawandel das Leben in den Klimazonen?

Auf der Erde herrschen nicht überall die gleichen klimatischen Bedingungen. Während es am Nordpol sehr kalt ist, ist es in Afrika sehr heiß. Mit diesem Versuch kannst du herausfinden, welche Rolle die Sonne bei der Entstehung dieser Unterschiede spielt.

Aufgabe 1

a) Was hat die Sonne mit den Klimazonen zu tun?

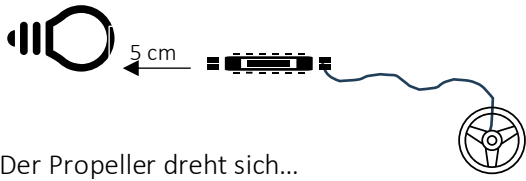
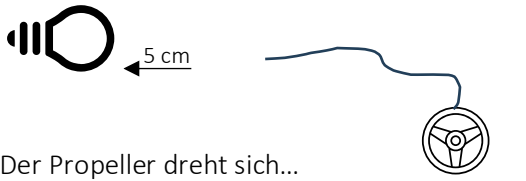
Materialien:

- ✓ Glühstrahler im Schutzkorb am Rahmen
- ✓ Solarzelle mit Propeller



Achtung! Sehr heißer Strahler: **Verbrennungsgefahr!**

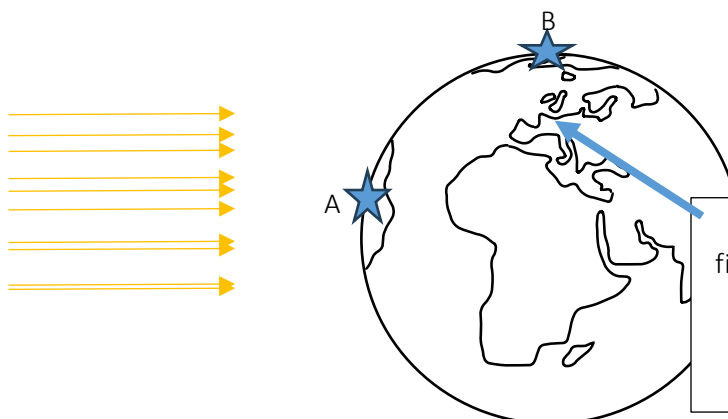
Die **Oberfläche der Solarzelle** nicht berühren! Sie ist sehr empfindlich.

Versuch 1	Versuch 2
 Der Propeller dreht sich... ☐ Ja ☐ Nein	 Der Propeller dreht sich... ☒ Ja ☐ Nein Zeichne die Solarzelle als Strich so ein, dass sich der Propeller möglichst schnell dreht.

b) Was hat die Sonne mit den Klimazonen zu tun?

Stelle dir nun vor, die Lampe ist die Sonne. Zeichne diese ein.

Welcher der Punkte auf der Erde passt zu den Versuchen 1 und 2?



Punkt	Versuch
A	
B	

Der Pfeil zeigt auf Deutschland. Hier findest du andere Klimabedingungen als an den Orten A und B. Aus diesem Grund hat man unterschiedliche Klimazonen festgelegt.

- c) Du kannst es auch selbst ausprobieren: Nimm eine Taschenlampe und einen Ball (oder Globus) als Erde. Leuchte von ca. 30 cm Entfernung direkt auf die „Erde“. Wie intensiv ist das Licht direkt da, wo die Taschenlampe auf die „Erde“ trifft und wie an den Rändern des Lichts?

Die Welt kann in **fünf große Klimazonen** unterteilt werden. Das sind Gebiete, die wegen dem dort herrschenden Klima Gemeinsamkeiten in der Tier- und Pflanzenwelt aufweisen.



Aufgabe 2: Wie unterscheiden sich die Klimazonen?

- a) Recherchiert im Internet: Ordne den nummerierten Klimazonen der Karte die richtigen Bezeichnungen in der Tabelle zu. Was ist typisch für diese Klimazone (Temperatur, Wetter, Tiere, Pflanzen, ...)?

___ Polare Zone	___ Subtropische Zone	___ Gemäßigte Zone	___ Subpolare Zone	___ Tropische Zone
Typisch ist ...	Typisch ist ...	Typisch ist ...	Typisch ist ...	Typisch ist ...

Wissenschaftliche Studien zeigen, dass sich durch die zunehmende Erwärmung die Klimazonen und Lebensräume bereits jetzt um durchschnittlich 6 km pro Jahr in Richtung Pole bewegen.



Aufgabe 3: Wie unterscheiden sich die Klimazonen?

Mit Hilfe der Karte der Klimazonen kannst du herausfinden, in welcher Klimazone sich Deutschland, oder ein anderes Land, das dich interessiert, liegt. Wie würde sich das Leben verändern, wenn sich dort die Klimazone ändern würde? Diskutiert und notiert.

Aktivität 8 - Die Ozeane als Klimapuffer?

Schützen uns die Ozeane vor dem Klimawandel?

Etwa zwei Drittel der Erdoberfläche sind mit (flüssigem) Wasser bedeckt. Deshalb wird die Erde auch der „Blaue Planet“ genannt. Haben die Ozeane Einfluss auf das Erdklima?



Wenn ich verschiedene Stoffe erwärmen will, brauche ich unterschiedlich viel Energie. So kann ich beispielsweise ein Kilogramm Gold viel schneller erwärmen als ein Kilogramm Hartschaum (z.B. Styropor). Das Gold hat also eine kleinere **Wärmespeicherfähigkeit** oder **Wärmekapazität**.



Aufgabe 1: Welcher Stoff kann mehr Wärme speichern?

Materialien:

- ✓ zwei Luftballons 
- ✓ Teelichter und Streichhölzer 
- ✓ Wasser

Aufbau:

1. Blase einen Luftballon auf und verknote ihn.
2. Fülle dann den zweiten Luftballon mit Wasser und verknote ihn ebenso.



Wassergefüllter Luftballon über einer Kerze

- a) Auch Wasser und Luft haben unterschiedliche Wärmekapazitäten. Was kann mehr Wärme speichern? Wasser oder Luft? Schreibe deine Vermutung auf und begründe.

- b) Entzünde das Teelicht und halte zunächst den luftgefüllten Ballon direkt über die Flamme. Halte anschließend den wassergefüllten Ballon über die Flamme.

Besprecht eure Beobachtung.

- c) Fasse einen wassergefüllten Ballon nach einiger Zeit von unten an. Beschreibe, ob sich die Temperatur geändert bzw. erhöht hat. Vergleiche die Temperaturänderung vom luftgefüllten und wassergefüllten Ballon. Schreibe deine Beobachtung unten nieder.

Was folgt daraus für die Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zu Luft? Ergänze das richtige Wort aus der Klammer.

Wasser erwärmt sich _____ (stärker/schwächer) als Luft. Es speichert die Wärme.
Die Wärmekapazität von Wasser ist also _____ (größer/kleiner) als die von Luft.

Aufgabe 3: Die Rolle der Meere im Klima

Ergänze den Lückentext mit Hilfe der Wörter im Kasten unten.

Die _____ Wärmekapazität von Wasser hat eine wichtige Bedeutung für das Klima unserer Erde. Das Meer speichert bedeutende Energiemengen, ohne sich dabei stark zu erwärmen. Diese Energie wird wieder abgegeben, wenn _____ kälter ist als das Meer. Das Klima am Meer ist daher das ganze Jahr über _____ und es treten nur geringe Temperaturunterschiede auf.

In Gegenden, die weiter vom Meer entfernt sind (z.B. in der Mitte der Kontinente), fallen die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht und über das Jahr wesentlich _____ aus als in meeresnahen Gegenden.

Durch ihre enorme Größe (zwei Drittel der Erdoberfläche) können die Meere große Mengen an Wärme aufnehmen und _____. Damit wird die Erwärmung der Atmosphäre _____.

gemildert ♦ ausgeglichen ♦ höher ♦ große ♦ speichern ♦ die Luft

Aufgabe 4: Warme Meere - das hat Folgen!

Kreuze die richtigen Aussagen an und diskutiert in der Klasse!

Wenn die Meere sich erwärmen ...

- ☐ ... schmelzen die Eisflächen im Meer schneller.
- ☐ ... dehnt sich das Wasser aus und der Meeresspiegel steigt.
- ☐ ... erhöht sich die Sterblichkeitsrate mancher Meerestiere.
- ☐ ... wird das Wetter in Küstennähe extremer und Unwetter treten öfter auf.
- ☐ ... müssen viele Arten ihr Verbreitungsgebiet anpassen oder sie sterben aus. Das hat auch Auswirkungen auf andere Tiere und den Menschen.

Aktivität 9 - Die Versauerung der Ozeane

Warum macht CO₂ die Ozeane sauer und welche Folgen hat das?

Steigt in der Erdatmosphäre der Gehalt des Treibhausgases CO₂ (beispielsweise durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe), so wird dieses auch vermehrt im Meerwasser gelöst. Es reagiert mit dem Wasser zu einem neuen Stoff, den du nun untersuchen sollst.

Aufgabe 1: Versuch zur pH-Wert-Änderung

Materialien:

- ✓ Zwei 50-ml-Bechergläser
- ✓ Indikator Bromthymolblau mit pH-Wert-Tafel
(alternativ Indikatorpapier, wenn in der Schule vorhanden)
- ✓ Zitronensäure, Natron und Wasser
- ✓ Erlenmeyerkolben mit Gummistopfen und Schlauch



! Achtung! Chemikalien: **Schutzbrille** tragen!

Vermutung:

Welchen pH-Wert erwartest du bei Wasser ohne Kohlenstoffdioxid? pH = _____

Arbeitsschritt 1:

1. Fülle 20 ml Wasser in Becherglas 1 ein.
2. Füge 4 Tropfen der Indikatorlösung hinzu.
3. Die Lösung verfärbt sich deutlich.
4. Vergleiche die Farbe mit der pH-Wert Skala. Notiere den pH-Wert: _____

Arbeitsschritt 2:

5. Fülle 20 ml Wasser in Becherglas 2 ein.
6. Erzeuge nun Kohlenstoffdioxid: Mische im Erlenmeyerkolben je einen halben Teelöffel Zitronensäure und Natron.
7. Ergänze vorsichtig ca. 20 ml Wasser aus Becherglas 2 in den Erlenmeyerkolben.

Arbeitsschritt 3:

8. Verschließe den Kolben mit dem Schlauch (siehe Abbildung).
9. Leite **sehr wenig** vom entstehenden Kohlenstoffdioxid mit dem Schlauch (nur einige Gasblasen) in das Becherglas 1, bis sich die Lösung (leicht) verfärbt. Entferne dann den Schlauch.

Ergebnis:

Notiere den pH-Wert der Lösung. pH = _____

Ist das Wasser nun sauer geworden oder weniger sauer? Beschreibe in einem Satz.

Aufgabe 2: Welche Folgen hat die pH-Wert-Änderung?

Scanne den QR-Code beantworte die Fragen.



Video zum Versuch

*Nicht wegschütten:
Die Lösung wird
noch benötigt! Aber
den Rest säubern &
aufräumen!*



Quiz

In unseren Ozeanen wird viel CO₂ aufgenommen. Damit wird die Atmosphäre entlastet. Allerdings **versauern** dadurch **die Meere**. Dies hat negative Auswirkungen auf die Meereslebewesen. Säure greift **Kalkstrukturen** z.B. bei Muscheln und Korallen an und belastet auch alle anderen Ökosysteme.



Aktivität 10 – Freisetzung von Kohlenstoffdioxid durch die Ozeane

Die Ozeane als „Helfer“ beim Klimawandel?

Durch den Klimawandel erhöht sich nicht nur die Temperatur der Erde. Auch die Meere erwärmen sich, weil sie einen Großteil der zusätzlichen Wärme speichern.

Aufgabe 1: Die Meere als „Helfer“ beim Klimaschutz

Scanne den QR-Code und fülle die Lücken.



Lückentext

Aufgabe 2: Versuch zur Bindung von Kohlenstoffdioxid im Wasser

Materialien:

- ✓ 20 ml saure Lösung aus dem letzten Versuch
- ✓ Zweites 50-ml-Becherglas
- ✓ Teelicht, Streichhölzer und pH-Wert-Tafel



! Achtung! Chemikalien: **Schutzbrille** tragen!

Vermutung:

Wird im warmen oder im kalten Wasser mehr Kohlenstoffdioxid gebunden? _____

Arbeitsschritt 1:

1. Verteile die **saure Lösung aus Aufgabe 1** gleichmäßig auf die zwei Bechergläser.

Arbeitsschritt 2 (kaltes Wasser):

2. Stelle eines der Gläser zum späteren Vergleich beiseite.

Arbeitsschritt 3 (warmes Wasser):

3. Erhitze die saure Lösung in einem der beiden Bechergläser über dem Teelicht für ca. zwei Minuten. Warte danach noch einige Minuten.

Arbeitsschritt 4:

4. Stelle die Bechergläser auf einen weißen Hintergrund. Gib evtl. noch 1–2 Tropfen Indikatorlösung in beide Bechergläser.

Lösung im Sammelbehälter sammeln, den Rest bitte reinigen und aufräumen.

Ergebnis:

Was kannst du beobachten? _____

Fülle die Lücken im Text mithilfe der Wörter in der Box.

Durch seine Fähigkeit, Wärme und Kohlenstoffdioxid zu speichern, hat das Meer eine Pufferwirkung in Bezug auf den Klimawandel. Wenn jedoch die Temperatur des Wassers zunimmt, verlieren diese Puffer an Wirkung: Warmes Wasser nimmt _____ Wärme auf, da die Temperaturdifferenz zur Umgebung abnimmt. Warmes Wasser kann _____ Kohlenstoffdioxid binden. Zudem entsteht durch die erhöhten Wassertemperaturen verstärkt Wasserdampf. Da Wasserdampf selbst ein _____ ist, führt dies zu einer zusätzlichen _____ des Treibhauseffekts!

Treibhausgas ♦ weniger ♦ Verstärkung ♦ weniger

Aktivität 11 – Kippunkte: Wenn das Klima kippt...

Wird der Klimawandel irgendwann nicht mehr zu bremsen sein?

Beim „Kippen“ mit einem Stuhl kann man sich in eine Schiefelage bringen, indem man sich an einem Tisch abdrückt. Drückt man nicht mehr gegen den Tisch, kehrt man wieder in seine Ausgangsposition zurück. Doch wehe man stößt sich einmal auch nur ein kleines bisschen zu viel ab...



Aufgabe 1: Versuch zu den Kippunkten im Klimasystem der Erde

Materialien:

- ✓ Holzrahmen und Holzmodell
- ✓ Metallstab
- ✓ Tischtennisball
- ✓ große Mutter 50 g
- ✓ kleine Muttern (M6)
- ✓ Behälter (z.B. Tütchen)



Vorbereitung:

Scanne den QR-Code und baue das Modell anhand der bebilderten Schritt-für-Schritt-Anleitung auf.



Aufbauanleitung

a) Was hat das Modell mit dem Erdklima zu tun?

Ordne die Versuchselemente den richtigen Entsprechungen zu. Verbinde mit einer Linie.

Entspricht der Erhöhung der Durchschnittstemperatur der Erde gegenüber heute.

Symbolisiert den Zustand des Erdklimas und wie stabil dieses ist.



Entspricht dem weltweiten Ausstoß pro Jahr von CO₂ durch fossile Brennstoffe (40 Gigatonnen CO₂).

b) Du kannst den CO₂-Anstieg simulieren, indem du kleine Muttern in das Tütchen legst. Um wie viel Grad erhöht sich jeweils die Temperatur. Ergänze die Werte in der Tabelle.

	1 Mutter	2 Muttern	3 Muttern	4 Muttern
Temperaturerhöhung in °C				

c) Nimm nun die Muttern nach und nach wieder aus dem Behälter. Was kannst du beobachten? Was bedeutet das für den Klimawandel?

Aufgabe 2: Wann kippt das Klima?

- Wie viele Muttern könnte man in das Tütchen legen, bis der Ball auf die andere Seite rollt. Notiere deine Vermutung in der Tabelle.
- Überprüfe deine Vermutung, indem du so viele Muttern in den Behälter legst, bis der Ball zur anderen Seite überkippt (= Kippunkt erreicht).

	Vermutung	Versuch
Anzahl der Muttern		

- Nimm nun die Muttern nach und nach wieder aus dem Behälter. Was kannst du beobachten?

Wenn ein Klima-Kippunkt ausgelöst wird, setzen sich Abläufe in Gang, die sich selbst immer mehr verstärken. Die Auswirkungen sind **nicht mehr umkehrbar**.

Versuch: Kleine Ursache, große Wirkung

Der Zusammenhang zwischen den Muttern (CO₂-Gehalt der Atmosphäre) und der Position x des Balls (Zustand des Erdklimas) soll nun genauer untersucht werden:

- Mischt die **Aktionskärtchen** und legt den Stapel vor euch auf den Tisch. Zieht fünf Karten, eine Karte nach der anderen, lest sie laut vor. Entscheidet, ob ihr dafür eine Mutter in das Säckchen werfen müsst, oder nicht. Wenn ja, dann werft eine Mutter in das Säckchen. Sortiert die Kärtchen dann auf zwei Stapel (Mutter eingeworfen / keine Mutter eingeworfen).
- Bevor ihr nun weiter Karten zieht, sollt ihr euch kurz überlegen, was passiert, wenn ihr die Tüte weiterhin mit Muttern füllt. Notiert eure Vermutungen knapp und zieht dann weiter Karten:

- Der Ball ist auf die andere Seite gerollt. Entfernt nun das Säckchen mit Muttern. Was fällt euch auf?

Diskutiert, was eure Beobachtung in Bezug auf den Zustand des Erdklimas aussagt.

- d) Betrachtet nun alle Karten, für die ihr eine Mutter eingeworfen habt. Formuliert Handlungsalternativen, für die ihr keine Mutter hättet einwerfen müssen.

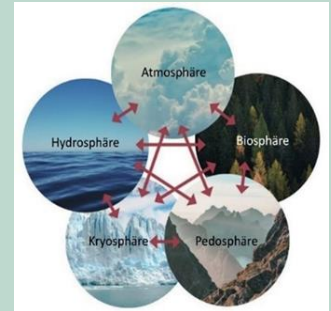
Aktivität 12: Achillesferse im Klimasystem – Kippunkte

Wie stabil ist das System Erde?

Information:

Das **Klimasystem der Erde** wird von mehreren wichtigen Bereichen (den **Hauptbestandteilen**) beeinflusst. Dazu gehören:

- die **Hydrosphäre** (alles Wasser),
- die **Atmosphäre** (die Luft),
- die **Kryosphäre** (Eis und Schnee),
- die **Pedosphäre und Lithosphäre** (Böden und Gesteine)
- und die **Biosphäre** (alle Lebewesen).



Wenn sich die Erde **global erwärmt** (also immer wärmer wird), setzt das Prozesse in Gang, die all diese Bereiche auf verschiedene Weise verändern. Manche Prozesse **verstärken sich selbst**. Ein Beispiel: Steigt die Temperatur, verdunstet mehr Wasser, und weil **Wasserdampf** ein **Treibhausgas** ist, wird die Atmosphäre noch wärmer. Das führt dann erneut zu **mehr Verdunstung**.

Solche **selbstverstärkenden Rückkopplungen** können dazu führen, dass das **Klimasystem** ab einem bestimmten Punkt plötzlich in eine **Heißzeit** kippt. Dieser Punkt wird auch **Kippunkt** genannt. „Kippen“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich die Veränderungen immer weiter hochschaukeln und **nicht mehr aufzuhalten** oder rückgängig zu machen sind.

Die Folgen dieser Kippunkte für die Umwelt können sehr groß sein. Sie könnten zum Beispiel dafür sorgen, dass die **Lebensgrundlagen** vieler Millionen Menschen in Gefahr geraten.

Du weißt nun, was Kippunkte sind. Überprüfe dein Wissen anhand der folgenden Aussagen. Kreuze richtige Antworten an und verbessere die falschen.

☐ Die Hauptbestandteile des Klimasystems stehen in einer Wechselwirkung zueinander.

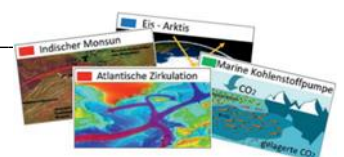
☐ Diese sind Wasser, Luft, Eis und Schnee, Strom, Böden und Gestein.

☐ Die globale Erderwärmung setzt selbstverstärkende Prozesse in Gang.

☐ Kippunkt bedeutet, dass wir dringend handeln müssen.

☐ Die Folgen einer Überschreitung kann der Mensch rückgängig machen.

Aufgabe 2: Kippunkte der Erde



Materialien:

- ✓ 21 Kärtchen: Abbildungen (A), Erläuterungen (B) und Folgen (C) zu den Kippunkten
- ✓ Eine Weltkarte mit den Kippunkten

Durchführung:

Auf der Weltkarte sind Kippunkte und die betroffenen Teile des Klimasystems in unterschiedlichen Farben eingezeichnet:

Eiskörper ■ Strömungssysteme ■ Ökosysteme



1. Legt die Kärtchen mit den Abbildungen der Kippunkte (A) auf den Tisch und sortiert sie nach der Farbe. Legt rechts davon die Kärtchen mit den Erläuterungen zu den Kippunkten (B) aus, daneben die Folgen (C).

2. Ordnet die Kärtchen entsprechend und bildet die Zusammenhänge.

3. a) Betrachtet die Weltkarte. Wo liegen die auf den Kärtchen angesprochenen Kippunkte?

b) Formuliert „Wenn...dann“-Sätze, mit Ursache und Wirkung. Wo findest du noch Zusammenhängen zwischen den Systemen.

c) Man kann diese Kippunkte mit dem „Domino-Effekt“ vergleichen. Warum? Diskutiert!

