23.09.2021 | Hintergrund

Das Klimasystem der Erde und der Klimawandel

Grundschule, Sekundarstufe

Wissenschaftliche Erkenntnisse über die Prozesse im Klimasystem und die Auswirkungen des Klimawandels sind wichtig, um über geeignete Maßnahmen des Klimaschutzes zu entscheiden. Noch sind nicht alle Details erforscht – denn das Klimasystem der Erde ist komplex und zwischen den verschiedenen Teilsystemen bestehen vielfältige Wechselwirkungen. Doch das Wissen über grundlegende Zusammenhänge ist gesichert, viele Vorgänge sind gut verstanden und können mithilfe von Klimamodellen realitätsnah simuliert werden.

Gehört zu:

Thema des Monats: Wodurch wird das Klima beeinflusst? (Grundlagen Klimawandel)
Unterrichtsvorschlag: Das Klima – ein komplexes System (SEK)
Unterrichtsvorschlag: Was ist der Treibhauseffekt? (GS)

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit. Massive Minderungen der Emissionen von Treibhausgasen sind notwendig, um den weltweiten Temperaturanstieg zu begrenzen. Außerdem müssen sich die Menschen an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels anpassen.

Im Bundestagswahlkampf 2021 wurden Fragen des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel erstmals von fast allen Parteien prominent behandelt. Auch die Fridays-for-Future-Bewegung hat seit 2018 dazu beigetragen, dass sich eine breite Öffentlichkeit der Risiken der globalen Erwärmung mehr und mehr bewusst wird.

Spürbare Folgen der Klimakrise

Die Folgen der Klimakrise für Menschen und Natur wurden in den vergangenen Jahren deutlich spürbar. Es häuften sich Medienberichte über Extremwetterereignisse und deren Folgen in verschiedenen Regionen der Welt, unter anderem verheerende Überschwemmungen in Südamerika und Südostasien, Hitzewellen und Waldbrände in der Mittelmeerregion, im Nordwesten Amerikas und in Australien sowie katastrophale Wirbelstürme in Afrika, Südasien und im Westpazifik. Im Juli 2021 führten Starkregenereignisse in West- und Mitteleuropa zu schweren Überschwemmungen. Mindestens 180 Menschen kamen allein in Deutschland um ihr Leben, mehrere Gemeinden wurden mit ihrer Infrastruktur von den Fluten völlig zerstört.

Tatsächlich werden Wetterextreme mit fortschreitendem Klimawandel künftig zunehmen. Das ist eine zentrale Aussage aus dem ersten Teil des 6. Sachstandsberichts des Weltklimarates [https://www.de-ipcc.de/350.php], der im August 2021 veröffentlicht wurde. Dieser Bericht fasst den aktuellen Stand der Wissenschaft zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels zusammen. Demnach ist es mittlerweile sicher, dass wir Menschen den größten Teil des heute zu beobachtenden Klimawandels durch die Freisetzung von Treibhausgasen verursacht haben. Der Bericht beschreibt den gegenwärtigen Zustand des Klimas und enthält Modellrechnungen für die mögliche künftige Entwicklung.

Wissenschaftliche Erkenntnisse über das Klimasystem und die Auswirkungen des Klimawandels sind entscheidend, weil sie als Grundlage dafür dienen, sowohl Maßnahmen für Klimaschutz als auch Klimaanpassung zu planen. So berechneten die Wissenschaftler/-innen, wie viel Treibhausgasemissionen noch verbleiben, wenn bestimmte Obergrenzen der globalen Erwärmung (zum Beispiel 1,5 Grad Celsius) eingehalten werden sollen. Auf der Grundlage derartiger CO_2-Restbudgets werden konkrete Maßnahmen festgelegt, um den Ausstoß von Treibhausgasen in den einzelnen Wirtschaftssektoren kontinuierlich zu verringern. Weil manche Folgen des Klimawandels jedoch nicht mehr vermieden werden können, geht es im Bereich der Klimaanpassung darum, entsprechende Schutzmaßnahmen zu treffen. Zum Beispiel, um gefährdete Regionen auf intensivere und häufigere Starkregenereignisse und den steigenden Meeresspiegel vorzubereiten.

Gesichertes Wissen über den Klimawandel

Der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand zu den Ursachen und Folgen des Klimawandels wird im 6.

Sachstandsberichts des Weltklimarates zusammengefasst. Zu den Hauptaussagen zählen unter anderem:

1. "Es ist eindeutig, dass der Einfluss des Menschen die Atmosphäre, den Ozean und die Landflächen erwärmt hat. Es haben weitverbreitete und schnelle Veränderungen in der Atmosphäre, dem Ozean, der Kryosphäre und der Biosphäre stattgefunden."
2. "Das Ausmaß der jüngsten Veränderungen im gesamten Klimasystem und der gegenwärtige Zustand vieler Aspekte des Klimasystems sind seit vielen Jahrhunderten bis Jahrtausenden beispiellos."
3. "Der vom Menschen verursachte Klimawandel wirkt sich bereits auf viele Wetter- und Klimaextreme in allen Regionen der Welt aus."

Es steht fest, dass der größte Teil des Klimawandels durch die Emissionen von Treibhausgasen verursacht wird und menschengemacht ist, insbesondere durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern. Der starke Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur innerhalb eines äußerst kurzen geologischen Zeitraums kann nicht mit natürlichen Faktoren erklärt werden. Die vergangenen vier Jahrzehnte waren wärmer als jede andere Dekade seit 1850. Jede einzelne dieser vier Dekaden war wiederum wärmer als die vorangegangene.

Der Weltklimarat machte bei der Vorstellung des ersten Teils des 6. Sachstandsberichts sehr deutlich, dass jede zusätzliche Tonne Treibhausgas die Lage nicht nur für Menschen, sondern auch für Tiere und Pflanzen verschlechtern wird: Die gesamte Biosphäre ist betroffen.

Was versteht man unter dem "Klimasystem"?

Das Klimasystem der Erde ist ein komplexes Zusammenwirken verschiedener Subsysteme. Zu diesen Subsystemen zählen die **Atmosphäre**, die **Hydrosphäre** (Ozeane, Seen, Flüsse), die **Kryosphäre** (Eis und Schnee), die **Lithosphäre** (Böden und Gesteinsschichten) und die **Biosphäre** (Lebewesen an Land und im Meer). Diese Subsysteme stehen miteinander in Wechselwirkung und tauschen ständig untereinander Energie aus.

Beispielsweise herrscht zwischen den Ozeanen und der Atmosphäre ein ständiger Energie- und Wärmeaustausch. So wird Energie aus der Atmosphäre, die sich durch die Strahlungsenergie der Sonne schneller erwärmt, an den Ozean abgegeben, der diese hauptsächlich in der obersten Schicht speichert. Durch globale Strömungssysteme (die unter anderem durch atmosphärische Windsysteme angetrieben werden) gelangt die Wärme/Energie vom Äquator in Richtung der Pole. Dort wird sie vom Ozean wieder an die hier kältere, untere Atmosphäre abgegeben. Am Golfstrom kann man diese Wechselwirkung gut nachvollziehen. Er ist eine hauptsächlich von Winden angetriebene Strömung im Atlantischen Ozean mit warmen Wassermassen vor der nordamerikanischen Küste. Ein Teil des Golfstroms, der sogenannte Nordatlantikstrom, reicht in den Nordatlantik und damit nach Europa. Der Wärmetransport des Nordatlantikstroms nach Norden sorgt dafür, dass in West- und Nordeuropa vergleichsweise mildes Klima herrscht, milder als in anderen Regionen gleicher geografischer Breite. In anderen Gebieten, zum Beispiel an der nordamerikanischen Ostküste, sorgen kalte Meeresströmungen für ein kühleres Klima.

Auch die Kryosphäre mit ihren Schnee- und Eisflächen steht in enger Wechselwirkung mit der Atmosphäre. Voraussetzung für die Bildung von Schnee und Eis sind zunächst Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Schnee- und Eisflächen wiederum reflektieren in hohem Maße die Sonnenstrahlung und wirken dadurch kühlend in Bodennähe und auf die untere Atmosphäre. Tauen dagegen Eisflächen wie gegenwärtig in der Arktis, setzt in der Tendenz eine Erwärmung der unteren Luftschichten ein.

Wie kommt der Klimawandel zustande, und welche Veränderungen bewirkt er im Klimasystem der Erde?

Was bedeutet Klima?

Klima ist der mittlere Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem bestimmten Gebiet über einen längeren Zeitraum. Das Klima wird durch statistische Eigenschaften der Atmosphäre charakterisiert, wie Mittelwerte, Häufigkeiten, Andauer und Extremwerte meteorologischer Größen. Dazu zählen Luftdruck, Temperatur, Bewölkung, Niederschlag, Wind und Verdunstung. Das Klima kann für sehr kleine Räume wie eine Stadt, aber auch für größere Regionen, Kontinente oder die gesamte Erde betrachtet werden.

Als Zeitspanne für Untersuchungen des Klimas empfiehlt die Weltorganisation für Meteorologie 30 Jahre, aber auch Betrachtungen über längere Zeiträume wie Jahrhunderte und Jahrtausende sind bei der Erforschung des Klimas gebräuchlich.

Zur wissenschaftlichen Untersuchung des Klimas werden Beobachtungsdaten und Klimamodelle genutzt. Klimamodelle

basieren auf anerkannten physikalischen Gesetzen, wie der Erhaltung von Masse, Energie und Impuls. In den vergangenen Jahrzehnten wurden sie immer weiter verbessert und simulieren viele physikalische Prozesse in und zwischen den Subsystemen des Klimasystems. Diese hochkomplexen Modelle sind in der Lage, sowohl Klimaänderungen der Vergangenheit als auch den gegenwärtig beobachteten Klimawandel abzubilden. Die Klimamodelle werden insbesondere dazu genutzt, Aufschluss über die mögliche künftige Entwicklung des Klimas zu erhalten und erforderliche Maßnahmen zum Klimaschutz abzuleiten.

Der weltweite Temperaturanstieg bewegt sich heute in dem Korridor, den der Weltklimarat (IPCC) in seinem ersten Sachstandsbericht bereits 1990 angegeben hat. Auch andere Aussagen früherer Klimamodelle wurden später durch die Realität bestätigt, zum Beispiel die Gletscherschmelze, der Meeresspiegelanstieg oder die Zunahme von Dürren.

Siehe dazu auch: Umweltbundesamt: Was ist eigentlich Klima? [https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/haeufige-fragen-klimawandel#klima]

Wie kommt es zu Klimaänderungen?

Der Motor des Klimas der Erde ist die Strahlung der Sonne. Von der auf der Erde ankommenden Sonnenstrahlung wird ein Teil durch Wolken, Bestandteile der Luft und die Erdoberfläche reflektiert und in Richtung Weltraum zurückgestrahlt. Ein weiterer Teil wird an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre in Wärmestrahlung umgesetzt. Ein Teil dieser Wärmestrahlung wird wiederum an den Weltraum abgegeben. Laut Energieerhaltungssatz ist das Verhältnis zwischen ankommender und abgehender Strahlung (die Strahlungsbilanz) ausgeglichen. Wenn dieses Verhältnis – verursacht durch bestimmte Prozesse und Faktoren – nicht mehr im Gleichgewicht ist, ändert sich das Klima so lange, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt und die Energiebilanz wieder ausgeglichen ist.

Folgende Prozesse beeinflussen die Energiebilanz und gehören damit zu den wesentlichen Ursachen von Klimaänderungen:

- Änderungen der ankommenden Sonnenstrahlung,
- Änderungen der reflektierten Sonnenstrahlung,
- Änderungen der in den Weltraum abgegebenen Wärmestrahlung,
- interne Variabilität des Klimasystems.

Die Sonnenstrahlung schwankt in sehr langen und auch kürzeren Zeiträumen und beeinflusst damit das Klima auf der Erde. Die Forschung hat Zyklen gefunden, die von Dekaden bis hin zu einigen Jahrtausenden dauern. Die auf der Erde ankommende Sonnenstrahlung unterliegt zudem Schwankungen, wenn sich die Parameter der Erdbahn um die Sonne ändern.

Zur Reflektion der Sonnenstrahlung tragen in der Atmosphäre neben den Wolken besonders Aerosole (kleine schwebende Teilchen oder Tröpfchen) bei. Eine Quelle für Aerosole sind zum Beispiel Vulkanausbrüche, die in der Tendenz zu einer kurzzeitigen Abkühlung des Klimas führen. Auch die Beschaffenheit der Erdoberfläche beeinflusst, wieviel Sonnenstrahlung reflektiert wird. Eine nur mit Schnee und Eis bedeckte Erde würde beispielsweise sehr viel Strahlung reflektieren. Der Mensch verändert durch seine Tätigkeit – zum Beispiel durch Bebauung, Landwirtschaft, Rodung von Wäldern – die Landoberfläche und beeinflusst damit das Klima.

Die Erdatmosphäre enthält einen natürlichen Anteil an Gasen – sogenannte Treibhausgase – die Wärmestrahlung absorbieren (aufnehmen). Diese Gase lassen die Sonnenstrahlung passieren. Allerdings absorbieren sie Teile der Wärmestrahlung, die von der Erdoberfläche kommt. Dadurch verringern die Gase den Anteil der in den Weltraum abgegebenen Wärmestrahlung. Seit der Industrialisierung hat der Mensch die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert und den Anteil an Treibhausgasen, besonders an Kohlendioxid, erhöht. Dadurch hat sich das Klima erwärmt.

Es gibt auch interne Klimaschwankungen, die nicht durch äußere Antriebe – wie Änderungen der Sonnenstrahlung, der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Beschaffenheit der Erdoberfläche – hervorgerufen werden. Die interne Klimavariabilität entsteht durch Wechselwirkungen in und zwischen den einzelnen Subsystemen des Klimasystems. Ein Beispiel dafür ist das El-Niño-Phänomen im tropischen Pazifik, eine starke, kurzfristige, interne Klimaschwankung. El Niño (spanisch: das Christkind) ist ein Ereignis, bei dem die Oberflächentemperaturen des Ozeans in einem großen Gebiet im tropischen Pazifik ungewöhnlich erhöht sind. Die Änderung der Meeresoberflächentemperaturen hat Folgen für die atmosphärische Zirkulation: In Regionen Südamerikas, in denen sonst Trockenheit herrscht, kann es zu starken Niederschlägen mit Überschwemmungen kommen, während in Indonesien und Australien Dürren auftreten, die teils verheerende Wald- und Buschbrände nach sich ziehen.

Siehe dazu auch: Umweltbundesamt: Was sind die Ursachen von Klimaänderungen?
[https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/haeufige-fragen-klimawandel#klima]

Welche Rolle spielt Kohlendioxid (CO_2)? (Kohlenstoffkreislauf)

Kohlenstoff kommt auf der Erde in verschiedenen chemischen Verbindungen vor. Er wird auch umgewandelt und zwischen den Subsystemen des Klimasystems ausgetauscht. Diese Prozesse der Umwandlung und des Austauschs werden als Kohlenstoffkreislauf bezeichnet. Die Subsysteme gleichen die Kohlenstoffgehalte untereinander aus und streben einen Zustand des Gleichgewichts an.

Vor der Industrialisierung war der globale Kohlenstoffkreislauf annähernd im Gleichgewicht. Messungen aus Eisbohrkernen zeigen eine nahezu konstante atmosphärische CO_2-Konzentration während mehrerer Jahrtausende vor dem Industriezeitalter. Die durch den Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen in die Atmosphäre haben dieses Gleichgewicht jedoch gestört. Dadurch kommt es – wie im Folgenden beschrieben – zu einer Umverteilung des zugefügten Kohlenstoffs zwischen den Subsystemen des Klimasystems, bis der Austausch zu einem neuen, angenäherten Gleichgewicht führt. Ein Teil des zusätzlichen CO_2 bleibt dennoch für lange Zeit – bis zu einigen Jahrtausenden – in der Atmosphäre und beeinflusst noch weit in die Zukunft hinein das Klima.

In die Atmosphäre eingebrachtes CO_2 wird zunächst vergleichsweise schnell zwischen der Atmosphäre, dem oberen Ozean und der Vegetation verteilt. Anschließend wird der Kohlenstoff weiter zwischen den verschiedenen Reservoirs des globalen Kohlenstoffkreislaufs, wie Böden, dem tieferen Ozean und Gesteinen, ausgetauscht. Die längsten Zeiträume zur Aufnahme von CO_2 und zur Speicherung von Kohlenstoff – zehntausende bis hunderttausende von Jahren – benötigen geologische Prozesse wie die Einlagerung von Sedimenten in die Erdkruste oder die Reaktionen mit Gesteinen, die beispielsweise bei der Verwitterung ablaufen.

Im Ozean reagiert CO_2 mit Wassermolekülen zu Kohlensäure, die wiederum mit dem im Wasser gelösten anorganischen Kohlenstoff – Bikarbonat- und Karbonat-Ionen – reagiert. Dieser Prozess benötigt nur ein bis zwei Jahre. Innerhalb von Jahrzehnten bis Jahrhunderten transportieren Strömungen den Kohlenstoff von der Oberfläche in die tieferen Schichten des Ozeans. Marine Organismen verteilen Kohlenstoff ebenfalls um: Sie bilden organisches Gewebe und Kalkschalen im Oberflächenwasser, die nach ihrem Tod in tieferes Wasser absinken, wo sie durch Zersetzung und mikrobiellen Abbau in das Reservoir gelösten anorganischen Kohlenstoffs zurückkehren. Ein kleiner Teil erreicht den Meeresboden und wird in den Sedimenten abgelagert. Mehr als ein Viertel des vom Menschen verursachten atmosphärischen Kohlendioxids wurde über die vergangenen 200 Jahre von den Meeren aufgenommen.

An Land nimmt die Vegetation CO_2 durch Photosynthese auf. Ein Teil davon kehrt durch die Atmung der Pflanzen sofort als CO_2 in die Atmosphäre zurück. Den Rest nutzen die Pflanzen für ihr Wachstum. Totes pflanzliches Material wird in die Böden eingebunden, um schließlich von Mikroorganismen abgebaut und dann über deren Atmung als CO_2 zurück in die Atmosphäre abgegeben zu werden. Ein Anstieg von atmosphärischem CO_2 regt die Photosynthese an. Die Biomasse der Vegetation und in den Böden nimmt zu, sodass an Land mehr Kohlenstoff aufgenommen werden kann. Allerdings hängt dieser Effekt auch entscheidend von anderen Faktoren ab, wie beispielsweise der Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen.

Modelle zeigen, dass mit zunehmender Erwärmung des Klimas weniger Kohlenstoff durch den Ozean und das Land aufgenommen wird. Dadurch verbleibt mehr CO_2 in der Atmosphäre und verstärkt die Erwärmung weiter.

Siehe dazu auch: Deutsches Klima-Konsortium: Kohlenstoffkreislauf [https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-6-2.html]

Welche Folgen hat der Klimawandel?

Der Klimawandel bewirkt viele Änderungen in den Subsystemen des Klimasystems:

Atmosphäre:

Die von Menschen verursachten Treibhausgasemissionen führen zu einer Erwärmung der bodennahen Luftschichten. Die weltweite Mitteltemperatur in Bodennähe lag im Zeitraum 2011 bis 2020 etwa 1,09 Grad Celsius höher als in der Referenzperiode 1850 bis 1900. In der jüngsten Vergangenheit häufen sich Rekordjahre. Die Jahre von 2015 bis einschließlich 2020 stellen die sechs weltweit wärmsten Jahre dar.

Ein solches Temperaturniveau gab es laut den verfügbaren Klimadaten noch nie während der vergangenen 2.000 Jahre und sehr wahrscheinlich auch nie während der gegenwärtigen Warmzeit (dem Holozän), die vor knapp 12.000 Jahren begann — mit anderen Worten noch nie im Laufe der Geschichte des modernen Menschen.

Die Folgen zeigen sich unter anderem in der Zunahme extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Dürren (siehe dazu auch das Thema der Woche bei Umwelt im Unterricht Extreme Ereignisse: Lässt der Klimawandel das Wetter verrücktspielen? [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/extreme-ereignisse-laesst-der-klimawandel-das-wetter-verruecktspielen]).

Ozean:

Die Weltmeere haben mit 91 Prozent den größten Teil der zusätzlichen Energie aufgenommen, die dem Klimasystem zugeführt wurde. Infolgedessen haben sich die oberen Wasserschichten des Ozeans erwärmt. Beobachtungsdaten belegen die Erwärmung der Wassermassen an der Meeresoberfläche seit 1970.

Durch diese Erwärmung dehnt sich das Meerwasser thermisch aus und der mittlere globale Meeresspiegel steigt. Das Schmelzen von Eis an Land infolge der globalen Erwärmung ist eine weitere Ursache für den Anstieg des Meeresspiegels. Zwischen 1901 und 2018 stieg der mittlere globale Meeresspiegel um etwa 20 Zentimeter. In den letzten Jahrzehnten beschleunigte sich der Anstieg – von etwa 1,9 Millimeter pro Jahr zwischen 1971 und 2006 auf etwa 3,7 Millimeter pro Jahr zwischen 2006 und 2018. In keinem der vorangegangenen Jahrhunderte im Zeitraum der letzten 3000 Jahre vollzog sich ein derart schneller Meeresspiegelanstieg wie seit 1900.

Darüber hinaus ist mit der Aufnahme von mehr CO_2 und der Bildung von Kohlensäure das oberflächennahe Meerwasser zunehmend versauert – einhergehend mit einem Sauerstoffverlust in vielen Regionen des oberen Ozeans. Diese Entwicklung bedroht unter anderem zahlreiche kalkbildende Meereslebewesen wie Korallen, Muscheln oder Krebse. Laut dem 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates deuten wissenschaftliche Erkenntnisse darauf hin, dass die in den vergangenen Jahrzehnten beobachtete Versauerung der ozeanischen Wasseroberfläche im Zeitraum der letzten zwei Millionen Jahre ungewöhnlich ist.

Siehe dazu auch: Umweltbundesamt: Auswirkungen des Klimawandels auf marine Ökosysteme [https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/klimawandel-der-meere#auswirkungen-des-klimawandels-auf-marine-okosysteme]

Kryosphäre:

Im Verlauf der vergangenen Jahrzehnte hat die globale Erwärmung dazu geführt, dass weiträumig Eis- und Schneeflächen zurückgegangen sind. Eisschilde und Gletscher verloren Eismassen, die Schneebedeckung und das arktische Meereis verringerten sich.

In der Arktis gingen sowohl das Eisvolumen als auch die dort mit Eis bedeckte Ozeanfläche (die Maximalausdehnung am Ende des Winters ebenso wie das Minimum am Ende des Sommers) seit Beginn der Satellitenmessungen 1979 stetig zurück – um durchschnittlich mehr als zehn Prozent pro Dekade. Betrug die Ausdehnung des arktischen Meereises zwischen 1979 und 1992 noch rund 6,1 Millionen Quadratkilometer, so lag dieser Wert im Zeitraum 2007 bis 2020 nur noch bei rund 4,4 Millionen Quadratkilometern. Gemäß dem 6. Sachstandsbericht war die mittlere jährliche Ausdehnung des arktischen Meereises im Zeitraum 2011 bis 2020 die geringste seit mindestens 1850. Die Eisausdehnung am Ende des Sommers war sogar geringer als in irgendeinem anderen Zeitintervall in den letzten 1000 Jahren.

Der Grönländische Eisschild verliert jedes Jahr mehr als 250 Milliarden Tonnen Eismasse. Dieser Eisverlust trägt seit 2006 mit mehr als sieben Millimetern pro Jahrzehnt zum Anstieg der durchschnittlichen globalen Meeresspiegelhöhe bei. Auch das Tempo des Eisverlusts auf Grönland hat sich in den vergangenen Jahren stark beschleunigt. Überdies gehen an Teilen des antarktischen Eispanzers seit 2006 etwa 150 Milliarden Tonnen Eismasse pro Jahr verloren. Sie tragen mit rund vier Millimetern pro Jahrzehnt zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

Auch die meisten Gebirgsgletscher schrumpfen. Die globale Gesamtmasse der Gebirgsgletscher hat seit 1980 im Durchschnitt eine Eisschicht von mehr als 20 Metern Dicke verloren. Überdies ist die Dauer der Schneebedeckung in vielen Regionen in den vergangenen Jahrzehnten deutlich zurückgegangen.

Siehe dazu auch: Zwischenbericht des Weltklimarats IPCC: Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima [https://www.de-ipcc.de/media/content/SROCC-SPM_de_barrierefrei.pdf]

Biosphäre:

Seit 1970 zeigen sich im Zusammenhang mit dem Klimawandel Veränderungen der Biosphäre über den Landflächen. Laut dem 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates verschoben sich auf beiden Hemisphären der Erde Klimazonen polwärts. Überdies nahm die Wachstumsperiode in außertropischen Regionen der Nordhalbkugel seit den 1950er

Jahren im Mittel um zwei Tage pro Jahrzehnt zu.

Siehe auch dazu: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Österreich: Biosphäre [https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/geosphaeren/biosphaere]

Das Risiko von Kipp-Punkten

Bei bestimmten Größenordnungen, die die globale Erwärmung annimmt, können kritische Schwellen im Klimasystem, sogenannte Kipp-Punkte, erreicht werden. An Kipp-Punkten können starke oder sogar abrupte Klimaänderungen einschließlich irreversibler Prozesse einsetzen.

Wann genau welche Kipp-Punkte eintreten können und welche Folgen sie im Detail nach sich ziehen, ist noch Gegenstand der Forschung. Fest steht jedoch, dass bereits geringe Änderungen im Klimasystem zum Erreichen der Kipp-Punkte führen und die Auswirkungen gravierend sein können.

Es gibt eine ganze Reihe von Kipp-Punkten. Dazu zählt zum Beispiel das Schmelzen des Meereises und die Abnahme der Albedo in der Arktis. Die Arktis hat wegen ihrer großen Eisflächen eine hohe Albedo. Das bedeutet, dass ein großer Teil der einfallenden Sonnenstrahlung durch den hellen Untergrund reflektiert wird. Aufgrund des Klimawandels schmilzt das arktische Meereis in starkem Maße und verschwindet unter Umständen im Spätsommer fast vollständig. In diesem Fall würde sich die Albedo der Erdoberfläche erheblich verringern. Somit wird weniger Sonnenstrahlung zurück ins Weltall reflektiert und der Untergrund erwärmt sich deutlich stärker. Die Folge ist eine erhebliche Verstärkung des Temperaturanstiegs in der arktischen unteren Atmosphäre.

Ein weiterer Kipp-Punkt betrifft das Schmelzen des Grönländischen Eisschildes. Wenn die jährlichen Eismassenverluste dauerhaft größer als die Zunahmen durch Schneefall sind und in den kommenden Jahrhunderten anhalten, könnte der Grönländische Eisschild vollständig abschmelzen. Dies würde zu einem Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels von rund sieben Metern führen – mit katastrophalen Auswirkungen in küstennahen Gebieten.

Siehe dazu auch: Umweltbundesamt: Kipp-Punkte im Klimasystem [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3283.pdf]

Wie gehen wir mit dem Wissen über den Klimawandel um?

Auf allen politischen Ebenen werden Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beschlossen. Einzelheiten hierzu finden sich unter anderem im Thema der Woche Weltklimakonferenz [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/weltklimakonferenz-wie-steht-es-um-das-uebereinkommen-von-paris].

Was kann ich selbst tun?

Lernen, reden, handeln – jede und jeder kann ihren/seinen Beitrag zu mehr Klimaschutz und Vorsorge leisten. Einen Überblick bietet der Erklärfilm des Umweltbundesamtes: Klimaneutral leben im Alltag [https://www.umweltbundesamt.de/themen/klimaneutral-leben-im-alltag].

Kommunikation: Fachleute der Klimakommunikation betonen, dass es im Rahmen des Klimaschutzes auch wichtig ist, über die Klimakrise zu sprechen. Das geht einfacher, wenn man sich Wissen über grundlegende Zusammenhänge aneignet. So kann man selbst besser beurteilen, welche Handlungen und Maßnahmen persönlich wichtig und sinnvoll sind. Wie jede und jeder einen persönlichen Standpunkt und Lösungsansätze für das eigene private, das gesellschaftliche wie auch professionelle Umfeld finden kann, darüber gilt es zu reden.

Siehe dazu auch: Handbuch zur Klimakommunikation von Klimafakten.de [https://klimakommunikation.klimafakten.de/]

Engagement: Für Verantwortliche in Politik und Wirtschaft ist die gesellschaftliche Stimmung und Akzeptanz für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen ein zentrales Entscheidungskriterium. Zivilgesellschaftliche Aktionen wie Schulstreiks und Klimacamps haben nachweisbar in den vergangenen zwei Jahren zu einem höheren gesellschaftlichen und politischen Interesse für Klimafragen geführt und den Klimaschutz vorangebracht.

Siehe dazu auch: Thema der Woche Schulstreiks fürs Klima - Zukunft selber machen? [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/zukunft-selber-machen-wie-geht-mitgestaltung]

Konsum: Konsumverhalten und Lebensstil in den Industrieländern beanspruchen weltweit natürliche Ressourcen und belasten die Umwelt. Denn die Herstellung von Produkten ist global organisiert. Immer mehr Menschen wissen dies und achten auf nachhaltigen Konsum.

Siehe dazu auch: Thema der Woche Nachhaltiger Konsum? So geht's! [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/nachhaltiger-konsum-so-gehts]

Mobilität: Persönliche CO_2-Emissionen lassen sich rasch einschränken, wenn jede und jeder die Zahl der Fernreisen per Flugzeug, die zurückgelegten Autokilometer und den Kraftstoffverbrauch des Autos reduziert. Daher nutzen zahlreiche Menschen alternative Möglichkeiten der Fortbewegung.

Siehe dazu auch: Thema der Woche Mobil ohne Auto [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/mobil-ohne-auto]

Wohnen: Die Größe der Wohnfläche, die Art der Heiztechnik und der Dämmstandard sind beim Wohnen die entscheidenden Faktoren. Nicht jede und jeder kann diese Faktoren direkt beeinflussen, doch auch hier spielt die Nachfrage für die Gestaltung des Wohnmarkts eine wichtige Rolle.

Ernährung: Tierische Produkte wie Fleisch, Käse oder Butter sind mit besonders hohen Emissionen verbunden. Allein mit der Wahl von Bioprodukten lassen sich knapp 20 Prozent der CO_2-Emissionen einsparen. Hersteller reagieren auf Nachfrageänderungen und haben beispielsweise zahlreiche Fleisch-Ersatzprodukte auf den Markt gebracht.

Siehe dazu auch: Thema der Woche Gut, gesund und umweltfreundlich: Was wollen wir essen? [http://www.umwelt-im-unterricht.de//wochenthemen/gut-gesund-und-umweltfreundlich-was-wollen-wir-essen]

Weiterführende Links

Leopoldina: Klimawandel – Factsheet
https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2021_Factsheet_Klimawandel_web_01.pdf
[https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2021_Factsheet_Klimawandel_web_01.pdf]

Deutsches Klimakonsortium: Was wir heute übers Klima wissen
https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel-2021.pdf [https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/basisfakten-klimawandel-2021.pdf]

Umweltbundesamt: Klimawandel
https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel [https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel]

Weltklimarat IPCC – Deutsche Koordinierungsstelle: Sechster IPCC-Sachstandsbericht Naturwissenschaftliche Grundlagen
https://www.de-ipcc.de/350.php [https://www.de-ipcc.de/350.php]

Klimafakten.de
https://www.klimafakten.de [https://www.klimafakten.de]

Deutscher Wetterdienst: Wetter- und Klimalexikon
https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html;jsessionid=10AB72CD73D669D523E12121E49EFD82.live31082
[https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html;jsessionid=10AB72CD73D669D523E12121E49EFD82.live31082]

[http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/]*Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. [http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/]*

Sie dürfen diesen Text unter anderem ohne besondere Genehmigung verwenden und bearbeiten, z.B. kürzen oder umformulieren, sowie weiterverbreiten und vervielfältigen. Dabei müssen www.umwelt-im-unterricht.de [http://www.umwelt-im-unterricht.de/] als Quelle genannt sowie die oben genannte Creative Commons-Lizenz verwendet werden. Details zu den Bedingungen finden Sie auf der Creative Commons-Website [http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/].

[http://www.unesco.de/oer-faq.html] *Umwelt im Unterricht unterstützt die Erstellung von Bildungsmaterialien unter offenen Lizenzen im Sinne der UNESCO [http://www.unesco.de/oer-faq.html].*

Material herunterladen

Das Klimasystem der Erde und der Klimawandel - GS / SK (PDF - 0 B)

Unterrichtsvorschläge

Das Klima – ein komplexes System - SK (PDF - 91 KB)
Was ist der Treibhauseffekt? - GS (PDF - 0 B)

Zielgruppe

Grundschule | Sekundarstufe

Fächer

Biologie | Chemie | Geografie | Physik | Politik, SoWi, Gesellschaft | Sachunterricht

Schlagwörter

Erderwärmung | Treibhauseffekt | Faktencheck | Klima | Klimafolgen | Klimasystem | Klimawandel | Kohlenstoff | Kohlenstoffkreislauf | Strahlungshaushalt | Ökosystem | Stoffkreisläufe | Globale Erwärmung