



Klimawandel im Unterricht

BERNHARD, GLÖCKLER
GL.BERNHARD@GMAIL.COM

Zusammenfassung

In diesem Dokument wird zunächst untersucht in welcher Form das Klima ein Teil des Unterrichts im Gymnasium ist. Anschließend werden ergänzende Aspekte für den Physikunterricht ausgearbeitet. Ein besonderes Augenmerk wird auf den modernen Klimawandel und den Treibhauseffekt gelegt. Beginnend mit der ersten Klasse der AHS und daran anschließenden Unterrichtsergänzungen bis hin zur achten Klasse, hat diese Arbeit einen aufbauenden Charakter.

1 Klima im österreichischen Schulunterricht

Zunächst wird versucht, einen Überblick über die Vorgaben oder Möglichkeiten, die der Lehrplan der allgemeinbildenden höheren Schulen, zur Behandlung des Themas Klima bietet, zu schaffen.

1.1 Geografie und Wirtschaftskunde (GWK)

Der Lehrplan gibt für das Fach GWK vor, dass die allgemeine Erklärung, der Entstehung von Naturvorgängen sowie ihre Wirkung auf Menschen und Umwelt, thematisiert werden müssen. Auch die Auswirkungen klimatischer Veränderungen sollen behandelt werden.

Für die erste Klasse (fünfte Schulstufe) ist vorgesehen, dass Schüler*innen Regelmäßigkeiten an klimatischen Erscheinungen erkennen.

In der fünften Klasse (neunten Schulstufe) liegt der Fokus ebenfalls auf dem Klima, wobei die Inhalte der ersten Klasse dabei vertieft behandelt werden und Hintergründe sowie Zusammenhänge verstanden werden sollen.

Dem allgemeinen Teil des GWK-Lehrplans zufolge sollen Basiskonzepte, welche fundamentale fachliche Ideen beinhalten, eingeführt werden. Auf das Klima und dessen Wandel bezogen ist vor allem das Konzept der Geoökosysteme relevant:

„Geoökosysteme sind als selbstregulierende, in einem dynamischen Gleichgewicht funktionierende Wirkungsgefüge [...] zu verstehen. Wesentliche Aspekte [...] sind die Vulnerabilität dieser Systeme, etwa durch Eingriffe des wirtschaftenden Menschen [...]“

(Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

1.2 Physikunterricht

Für den Physikunterricht bietet sich vor allem die dritte Klasse im Rahmen „Unser Leben im Wärmebad“ zur Behandlung des Themas Klima an. Hierbei werden thermodynamische Grundlagen und auch Wettervorgänge sowie Klimaerscheinung angeführt. Für die Oberstufe wird im

Lehrplan festgehalten, dass *„Einsichten in die Ursachen von Naturerscheinungen und daraus abgeleiteten, zugehörigen physikalischen Gesetzmäßigkeiten [zu] gewinnen [sind]“* (Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

Daher eignen sich besonders die fünfte beziehungsweise sechste Klasse, im Rahmen der Thermodynamik, zur ergänzenden Behandlung klimatischer Erscheinungen. Auch die siebte Klasse bietet durch die Behandlung von Licht sowie der Absorption und Emission, Raum für klimateinflussende Prozesse.

(Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

1.3 Biologie und Umweltkunde

Im Biologielehrplan der Unterstufe wird zwar das Thema Klima nicht explizit erwähnt, jedoch ist die Abhängigkeit des Lebens von seiner Umwelt von zentraler Bedeutung. Vor allem die Folgen des menschlichen Handelns auf Ökosysteme werden im Lehrplan betont. (Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

In diesem Zusammenhang ist in den Schulbüchern vor allem die Entwicklung des Lebens in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen präsent.

In der zweiten Klasse Oberstufe sollen dem Lehrplan zufolge Ökosysteme mit ihren Stoff- und Energiekreisläufen, sowie deren Umweltfaktoren mit einbezogen werden. Für das Klima ist in diesem Zusammenhang vor allem der Kohlenstoffkreislauf von Bedeutung. Unter der besonderen Berücksichtigung anthropogener Einflüsse, wird dieser Kreislauf in der Arbeit später im Detail behandelt. Ebenfalls wird für die 10 Schulstufe die Behandlung des Klimawandels vorgeschlagen. Es sollen *„Umweltprobleme (zB Klimawandel) und Lösungsmöglichkeiten im Rahmen nachhaltiger Entwicklung“* betrachtet werden. (Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

1.4 Technisches Werken

Der Lehrplan sieht im Schulfach Technisches Werken für Schüler*Innen vor, sich mit naturwissenschaftlichen Inhalten zu beschäftigen.

Ziel ist die „Förderung systematischen Denkens durch die [...] Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Inhalten und Methoden, Nutzung zeitgemäßer Technologien.“ (Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020) Für die dritte Klasse der Unterstufe ist die Behandlung von Strömungstechniken vorgegeben. Es sollen Prinzipien der Aerodynamik gelehrt werden. Grundlegend dafür sind Kenntnisse über die Strömungslehre. Da ebenfalls ein Auseinandersetzen mit naturwissenschaftlichen Inhalten gefordert wird, kann dies am Beispiel des Klimas erfolgen.

Der Wandel des Klimas sollten insofern im Unterricht einfließen, da die Schüler*innen Auswirkungen des menschlichen Handelns abzuschätzen lernen sollten.

(Artikel 1 §1 Anhang A Lehrplan AHS, 2020)

2 Ausführung eines Konzeptes für den Physikunterricht

Im GWK Unterricht der ersten Klasse werden maßgebliche Grundlagen zur Erkenntnis klimatischer Erscheinungen gesetzt. Es folgt daher eine Detailbetrachtung, um einen fließenden Anschluss, für den Physikunterricht zu erlangen.

Vorwissen aus der ersten Klasse GWK (fünfte Schulstufe)

Ein Ziel der 1. Klasse GWK ist es Schüler*innen verständlich zu machen, dass es unterschiedliche klimatische Zonen gibt, die äußerst variierende Lebensbedingungen für ihre Bewohner bieten.

Zunächst wird aber das Wetter behandelt und grundlegende Begriffe wie Temperatur und Niederschlag sowie deren Messmöglichkeiten gelehrt. Der Begriff des Klimas muss definiert werden. Um die klimatischen Unterschiede von der äquatorialen- zur polaren Region zu erklären wird häufig auf die unterschiedliche Strahlungsintensität der Sonne hingewiesen.

Klimadiagramme können Schüler*innen bereits lesen und vergleichen. Diese Informationen stammen aus den exemplarisch gewählten Schulbüchern „GEOprofi 1“ (Mayerhofer, et al. 2015) und „Unterwegs 1“ (Fridrich, et al., 2014).

2.1 3. Klasse Physik

Bevor nun in der dritten Klasse Physik an das Thema Klima angeknüpft werden kann, sollten Grundlagen der Thermodynamik behandelt werden. Dazu zählen vor allem die verschiedenen Formen des Wärmetransports, die Wärme als

eine Form der Energie, sowie Aggregatzustände und deren Übergänge.

Nun sollte mit dem für das Klima zentralen und maßgeblich entscheidenden Element, der Sonne begonnen werden. Zu betonen ist, dass die Sonne Ursprung jeglicher uns zur Verfügung stehender Energiequelle ist.

Die Sonne

Um an das Vorwissen der Schüler*innen aus dem GWK-Unterricht der ersten Klasse anzuschließen, lohnt es sich, auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen durch die Sonnenintensität einzugehen.

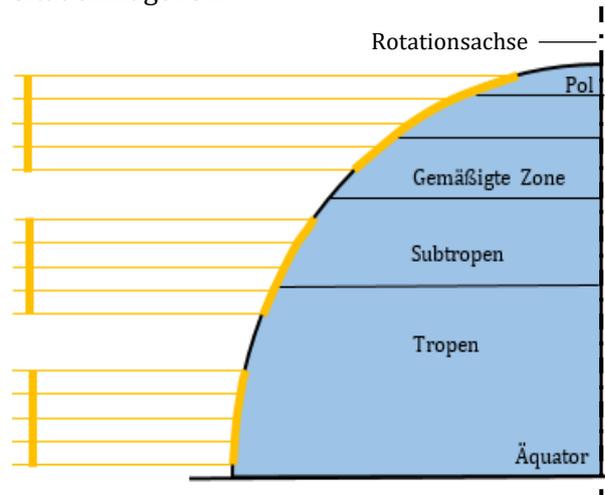


Abb. 1: Bei gleichbleibender Strahlenbreite wird die Auftrittsfläche größer, je weiter man sich in Richtung eines Poles bewegt (eigene Darstellung nach Dittrich, et al., 2013)

Verdeutlicht werden kann die Abnahme der Intensität in Richtung Pole auch anhand eines Globusses und einer darauf gerichteten fokussierten Taschenlampe. Bei gleichbleibendem Abstand zur Rotationsachse des Globusses vergrößert sich die bestrahlte Fläche, je weiter man die Lampe vom Äquator in Richtung Pol verschiebt. Ein weiteres Experiment zur Verdeutlichung des Phänomens besteht darin, eine Wärmelampe (Lampe im Infrarotbereich) auf ein gebogenes Blech zu richten (Abb. 2). (vgl. Dittrich, et al., 2013)

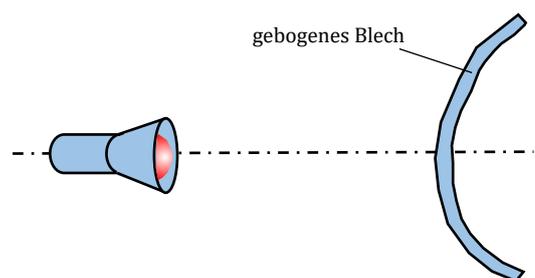


Abb. 2: Versuch, Gebogenes Blech und Infrarotlampe (eigene Darstellung nach Dittrich, et al., 2013)

Es soll eine Abnahme der Temperatur vom Zentrum in Richtung oberem und unterem Ende des Bleches fühlbar sein.

In den meisten Physikbüchern werden wesentliche, darauf aufbauende Aspekte des Klimas gründlich behandelt. Ein Punkt, der jedoch wenig ins Auge fällt, ist jener des Klimawandels.

Exkurs: Moderne Klimaerwärmung

Seit dem Ende der 1980er Jahre erfahren wir die Moderne Erwärmung des Klimas, die überdurchschnittlich stark und rasch sowie in überregionalem Maße stattfindet. Daher wird sie auch als globale Erwärmung bezeichnet. (vgl. Auer, et al., 2014) Es gilt als auffallend wahrscheinlich, dass diese Erwärmung nicht von natürlichem Ursprung ist, sondern auf den durch den Menschen verursachten exzessiv gestiegenen Treibhausgasausstoß, rückzuführen ist. (vgl. ZAMG, 2020) Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts betrug die Erwärmung im globalen Durchschnitt fast 1°C. Doch in großen Teilen Österreichs stieg die Temperatur um das Doppelte. Dies ist hauptsächlich durch die schnellere Erwärmung von Luftmassen über Landflächen bedingt, aber auch an der Nordverschiebung des subtropischen Hochdruckgürtels. Folgen dieser Änderung klimatischer Bedingungen sind eine messbare Erhöhung von Luftdruck und Sonnenschein. (vgl. ZAMG, 2020)

Treibhauseffekt

Nun wird grundlegend der natürliche Treibhaus Effekt der Atmosphäre eingeführt. Zunächst werden die Schüler*innen anhand eines konventionellen Glashauses an das Phänomen herangeführt (Abb. 3).

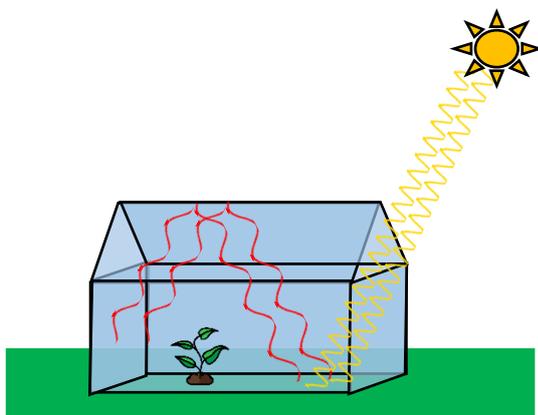


Abb. 3: Der Glashauseffekt (=Treibhauseffekt) in einem Gewächshaus (eigene Darstellung nach adobe, 2020a)

Von Bedeutung ist an dieser Stelle, dass die Schüler*innen bereits die unterschiedlichen Formen

der Wärmeausbreitung kennen. In diesem Fall darf nur die Wärmestrahlung betrachtet werden. Nun muss aber der Begriff der Welle eingeführt werden, denn das sichtbare Sonnenlicht (Abb. 3) kann zunächst ungehindert in das Glashaus eindringen und wird vom Boden absorbiert. Die vom Boden abgegebene Wärmestrahlung wird hingegen von der Glasoberfläche aufgenommen. Die Energie bleibt in dem Gebäude erhalten und es erwärmt sich zusätzlich. (vgl. Titz, 2013) Dies ist nur erklärbar, da es sich um zwei unterschiedliche Wellenlängen handelt, die in verschiedenen Formen mit dem Glas wechselwirken. Das kurzwellige Licht der Sonne kann die Scheibe passieren, die vom Boden abgegebene langwellige Strahlung wird aber zu großen Teilen reflektiert.

Für die Schüler*innen ist die Vorstellung des wellenförmig ausbreitenden Lichts neu und muss daher sorgfältig eingeführt werden.

An dieser Stelle muss noch ergänzt werden, dass der eigentliche Effekt im Glashaus zum größten Teil auf unterdrückten Wärmekonvektion des Glashauses mit der Umwelt beruht. Wärmekonvektion ist nur in Verbindung mit einem Stofftransport möglich, die Energie kann auf diese Weise nicht über die Glaswände abgegeben werden und verbleibt daher im Glashaus. (vgl. Titz, 2013) Dies hat aber keinen Einfluss auf den atmosphärischen Treibhauseffekt und wird daher außer Acht gelassen.

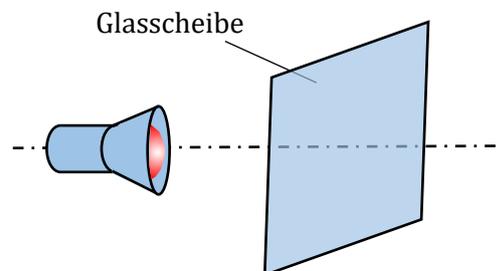


Abb. 4.: Experiment zur Wärmestrahlung

Ein weiteres Experiment ist an dieser Stelle hilfreich, um den Effekt zu verdeutlichen. Hält man die Rotlichtlampe vor eine Glasscheibe, so ist keine Wärmezunahme dahinter fühlbar. Der sichtbare Anteil der Strahlung kann trotzdem wahrgenommen werden.

Natürlicher Treibhauseffekt

Nun kann das Phänomen auf die Erde bezogen werden. Die Funktion der Glasscheibe übernehmen in der Atmosphäre zu großen Teilen gewöhnliche Wolken. Sie lassen, ähnlich wie zuvor erklärt, vermehrt das kurzwellige Licht der Sonne eintreten (Abb. 5). Die langwellige Wärmestrahlung der Erde kann jedoch nicht so einfach durch die Wolkendecke entweichen. Dies führt dazu, dass weniger Energie in das Weltall abgestrahlt wird, als von der Sonne die Erdoberfläche erreicht. Somit tritt der erwärmende Treibhauseffekt auf. Auch andere Gase wie Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) unterstützen den Glashauseffekt und werden als Treibhausgase bezeichnet. (vgl. Raschke, 2008)

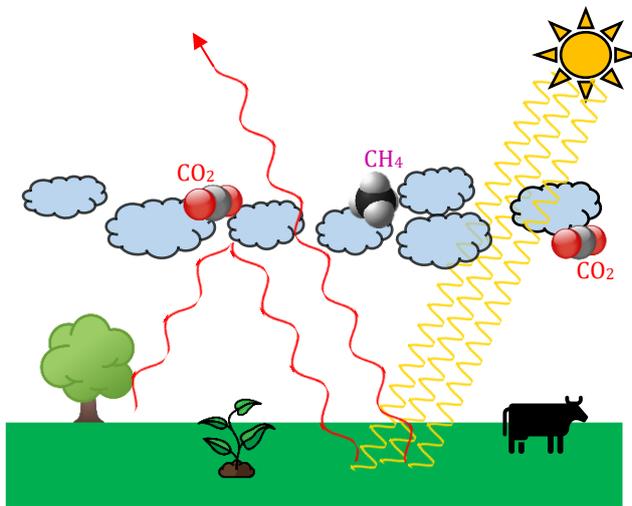


Abb. 5: Der natürliche Treibhauseffekt (eigene Darstellung nach adobe, 2020b)

Anthropogener Treibhauseffekt

Werden nun durch menschliches Verhalten vermehrt Treibhausgase ausgestoßen, wird der natürlich auftretende Effekt verstärkt und es kommt zu einer zusätzlichen Erwärmung der Atmosphäre (Abb. 6).

Die Anreicherung des Kohlendioxids und die damit verbundene geringere Wärmeabstrahlung werden als anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet und führen zur modernen Klimaerwärmung.

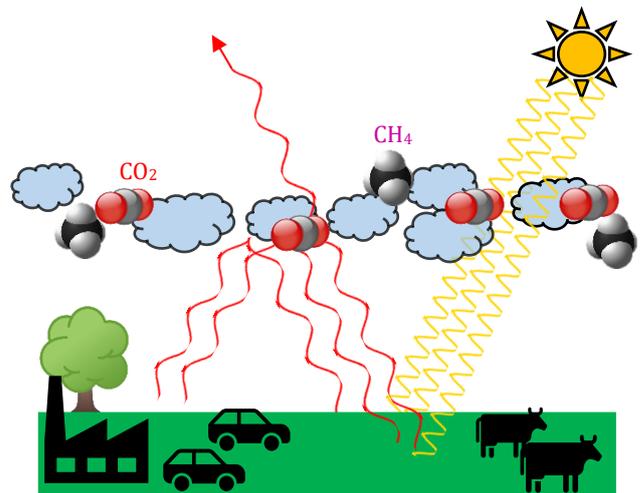


Abb. 6: Durch menschliches Handeln erhöht auftretender Treibhauseffekt (eigene Darstellung nach adobe, 2020b)

2.2 5. Klasse

In der fünften Klasse kann nun ein ergänzender und umfassender Blick auf die Ursachen des Treibhauseffektes und das anthropogene Einwirken getroffen werden.

Kohlenstoffzyklus

Kohlendioxid ist zu großen Teilen ein nicht reaktives Gas. Anders, wie zum Beispiel Methan wird CO_2 nicht zersetzt, sondern über Senkprozesse in verschiedenen Kohlenstoffkreisläufen umverteilt.

Nach dem Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt wird es zunächst relativ schnell zwischen der Atmosphäre, den oberen Schichten des Ozeans und der Vegetation verteilt. Es folgt ein langwieriger globaler Austauschprozess zwischen den Reservoirs des Kohlenstoffkreislaufs wie den Böden, dem tiefen Ozean und Gestein.

Vor der Industriellen Revolution befand sich der Kohlenstoffkreislauf über Jahrtausende hinweg nahezu in einem Gleichgewicht. Dies ist aus Eisbohrkernen bekannt. In Abbildung 7 ist der natürlich auftretende Kohlenstoffkreislauf durch dünne Pfeile eingezeichnet.

CO_2 das über den oberflächlichen Gasaustausch ins Meer gelangt, reagiert mit Wassermolekülen zu Kohlensäure (H_2CO_3). Somit wird der anorganische Kohlenstoff aus dem Kohlendioxid in Wasser gelöst. Im Englischen wird dies Form des Kohlenstoffs als Dissolved Inorganic Carbon (DIC) bezeichnet. Durch maritime Strömungen und unterschiedliche Dichteverhältnisse gelangt der Kohlenstoff in tiefere Schichten des Meeres. Lebewesen sorgen ebenfalls für eine Verteilung des Kohlenstoffes. Sie bilden organisches Gewebe und Kalkschalen im oberflächennahen Gewässer. Nach dem Tod der Tiere sacken die Skelette

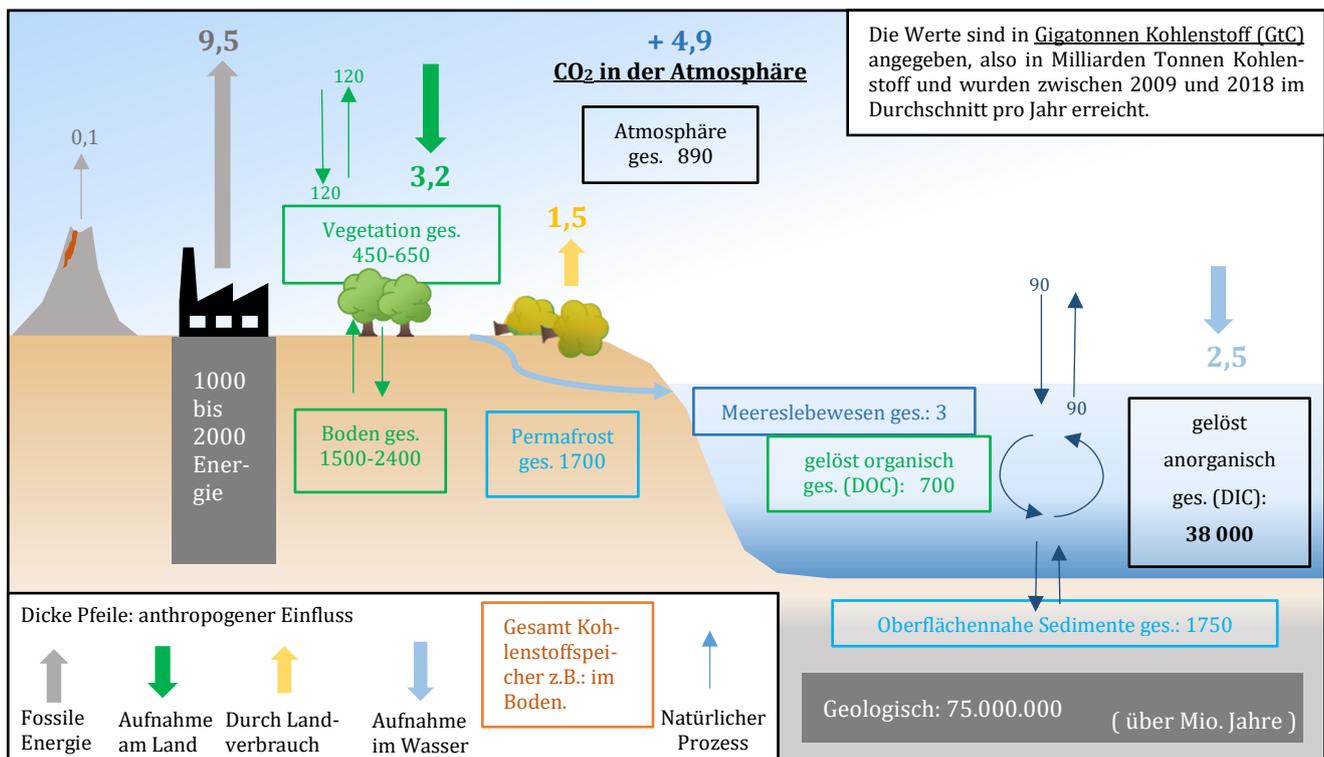


Abb. 7: Kohlenstoffkreislauf: natürlicher und anthropogener Anteil (eigene Darstellung nach Friedlingstein, et al., 2019; Daten über die geologischen Speicher nach Lucius, et al., 2005)

weiter ab und werden zu gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC). Dieser wird von Mikroben zerlegt und wieder dem großen Bereich des anorganischen Kohlenstoffes (DIC) zugeführt. Die Kalkskelette können aber auch am Boden als Sediment abgelagert werden. (vgl.IPCC, 2014)

Durch den anthropogenen Kohlenstoffausstoß und dem damit verbundenen erhöhten CO₂-Partialdruck in der Atmosphäre wird die Abgabe an Kohlendioxid in die Gewässer erhöht. Zurzeit werden 2,5 GtC (Gigatonnen Kohlenstoff) pro Jahr zusätzlich in den Ozean abgelagert (Abb. 7). (vgl.Friedlingstein, et al., 2019)

Nach ein bis zwei Jahren ist das Verhältnis zwischen Meer und Atmosphäre wieder ausgeglichen. Der Austausch mit tieferliegenden Gewässern dauert jedoch wesentlich länger. Dieser Prozess kann sich von Jahrzehnten bis über Jahrhunderte erstrecken. Die Sedimentbildung vollzieht sich über 10.000 Jahre.

Am Land nimmt die Vegetation CO₂ durch Photosynthese auf. Der Kohlenstoff wird in organischen Umgewandelt und für das Wachstum der Pflanzen benötigt. Nach dem Absterben der Lebewesen und ihrem Verrotten gelangt der Kohlenstoff durch Mikroorganismen wieder in die Atmosphäre oder wird in Böden eingelagert. Der Anstieg von Kohlendioxid regt die Photosynthese an und fördert somit das Wachstum von Landpflanzen. Es wird mehr Kohlenstoff aufgenommen und in der Vegetation gespeichert.

(vgl.IPCC, 2014) 3,2 GtC werden zurzeit von Pflanzen zusätzlich aufgenommen (Abb. 7). (vgl.Friedlingstein, et al., 2019)

Bei der Betrachtung des gesamten Kohlenstoffzyklus stellt man jedoch fest, dass mit einer zunehmenden Erwärmung insgesamt eine Abnahme der Aufnahmefähigkeit von CO₂ stattfindet. Viele Faktoren, wie die niedrigere CO₂-Löslichkeit von wärmeren Wasser und die vermehrte Respiration von nördlich gelegenen Böden, führen dazu. (vgl.IPCC, 2014)

Wenig Einfluss auf die Einlagerung des aktuell ausgestoßenen Kohlendioxids haben geologische Prozesse. Zu langsam finden diese Bindungsprozesse statt. Über Millionen Jahre gesehen werden allerdings über 99% des Kohlenstoffs in dem geologischen Reservoir gebunden. (Abb. 7) Gleichzeitig bildet ein kleiner Teil davon die Quelle der fossilen Energieträger. (vgl.Lucius, et al., 2005)

2.3 7. Klasse

In der 7. Klasse kann nun eine detaillierte Betrachtung des Wärmehaushaltes der Erde auf der Grundlage von Strahlungsgesetzten stattfinden.

Wärmehaushalt der Erde

Zunächst wird wieder die Sonne als Energiequelle betrachtet.

Von dem Stern ausgehend erreicht die Erde eine Energieflussdichte im Ausmaß von $1360 \frac{W}{m^2}$.

Dieser, über das Jahr, beziehungsweise der Erdumlaufbahn gemittelte Wert, wird auch als die Solarkonstante bezeichnet. Der theoretische Wert gilt jedoch nur für eine senkrecht zur Verbindungsgeraden stehenden Fläche. (vgl. Roedel & Wagner, 2017, p. 19)

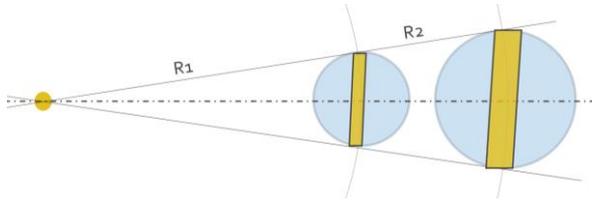


Abb. 8: Abhängigkeit der Solarkonstante von der Entfernung zur Sonne

Die betroffene Fläche der Erde kann vereinfacht als Projektionsfläche einer Kugel gesehen werden und wird durch $\pi \cdot r^2$ beschrieben, wobei r der Erdradius ist. Da die Oberfläche einer Kugel durch $4 \cdot \pi \cdot r^2$ definiert ist, beträgt die mittlere solare Einstrahlung ohne die Berücksichtigung der Atmosphäre ein Viertel der Solarkonstante S_0 .

$$S_0 = 340 \frac{W}{m^2}$$

Durch die Multiplikation mit der Erdoberfläche von $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ ergibt sich der gesamte auf die Erde treffende Energiefluss von $1,73 \cdot 10^{17}$ Watt. (vgl. Roedel & Wagner, 2017, pp. 20-21)

Von dem Energiefluss S_0 gelangt ein Anteil von 47% das $\sin 160 \frac{W}{m^2}$ bis an die Erdoberfläche und werden absorbiert. 23% von S_0 werden bereits von der Atmosphäre absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die restlichen Verluste entstehen durch den planetaren Albedo Effekt der sich aus der Reflektion an Luftmolekülen, Wolken und der Erdoberfläche zusammensetzt. (vgl. Roedel & Wagner, 2017, p. 23)

Der Albedo Effekt ist abhängig von den Oberflächenbeschaffenheiten. Allgemein lässt sich sagen je dunkler die Oberfläche desto geringer ist der Effekt ausgeprägt. Gegenläufig verhält sich sein Absorptionsverhalten.

Objekte, die die gesamte einfallende Strahlung absorbieren werden als Schwarze Strahler bezeichnet. Die aufgenommene Energie wird im gleichen Ausmaß in Form von Wärmestrahlung wieder abgegeben. Der Schwarze Körper ist ein idealisiertes Modell, das als Referenz herangezogen werden kann.

Gemäß dem für die Schüler*innen bekannten Gesetz von Stefan-Boltzmann lässt sich die Strahlungsleistung eines Schwarzen Körpers in Abhängigkeit von seiner Oberflächentemperatur berechnen.

$$P = \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad \sigma = \frac{2 \cdot \pi^5 \cdot k_b^4}{15 h^3 c^2}$$

(vgl. SEXTL, et al., 2013, p. 64)

Die Erdoberfläche lässt sich wegen ihres Aufnahmevermögens von 95% gut mit einem Schwarzen Strahler vergleichen. Durch Messungen wissen wir, dass die durchschnittliche Oberflächen-temperatur 15°C (288 K) beträgt.

Aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz lässt sich nun die durchschnittliche Energieflussdichte der Erde ermitteln:

$$\frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4 \cdot 0,95$$

Daraus ergibt sich ein Wert von $370 \frac{W}{m^2}$.

Wie zuvor ermittelt beträgt die Energieflussdichte an der Erdoberfläche lediglich $160 \frac{W}{m^2}$ und auch nur $340 \frac{W}{m^2}$ ohne die Berücksichtigung der Atmosphäre. Wie kommt es daher zu dieser hohen Strahlungsleistung der Erdoberfläche?

(vgl. Roedel & Wagner, 2017, pp. 43-44)

Treibhauseffekt

Dieser enorme Unterschied im Wärmehaushalt der Erde wird durch den Treibhauseffekt hervorgerufen. Die von der Erde emittierte langwellige Strahlung kann nicht so einfach durch die Atmosphäre gelangen wie die kurzwellige Strahlung der Sonne. Es bleibt langfristig mehr Energie in der Atmosphäre als abgestrahlt wird.

(vgl. Roedel & Wagner, 2017, pp. 43-44)

Die Temperatur einer Oberfläche korreliert mit der Wellenlänge des abgegebenen Lichts. Das Wiensche Verschiebungsgesetz beschreibt die Korrelation aus absoluter Temperatur und Wellenlänge, bei der die spektrale Verteilung ihr Maximum aufweist.

$$\lambda_{max} T = 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot K$$

(vgl. SEXTL, et al., 2013, p. 64)

Die daraus resultierende Verschiebungskonstante ist $2,9 \cdot 10^{-3} \cdot m \cdot K$.

Für die Sonne ergibt sich bei einer Oberflächen-temperatur von 5600 K die höchste Intensität bei 500 nm (grünes Licht). Die Erdoberfläche erzeugt bei einer Temperatur von 288 K ein Intensitätsmaximum bei ca. 1000 nm (Infrarot).

Die Treibhausgase der Atmosphäre absorbieren die langwelligere Strahlung der Erde besser als jene der Sonne. Da die Strahlung von den Gasmolekülen in gleichem Maße wieder abgegeben wird, gelangt ein großer Teil zurück in Richtung der Erde. Somit bleibt ein Teil der Energie der Erde erhalten und diese erwärmt sich zusätzlich. Der vermehrte menschliche Ausstoß an Treibhausgasen unterstützt diesen Prozess und führt gleichermaßen zum anthropogenen Klimawandel. (vgl. Raschke, 2008)

3 Fazit

Angesichts des geringen Ausmaßes, des vom Menschen frei gesetzten Kohlendioxids im Vergleich zum global zirkulierenden Kohlenstoff könnte man den anthropogenen Anteil am Klimawandel als überbewertet bezeichnen. Bei der Betrachtung im Detail fällt jedoch auf, dass es sich bei dem natürlichen CO₂-Austauschprozessen um geschlossene Kreisläufe handelt. Das zusätzliche, menschliche Treibhausgas wird viel zu schnell freigesetzt, um es in die langfristigen Speicher überzuführen. Ein großer Teil verbleibt daher in der Atmosphäre. (vgl. Friedlingstein, et al., 2019)

Noch nie wurden während des Holozäns vergleichbare Konzentrationen an CO₂ in der Atmosphäre festgestellt. Der Anstieg der globalen Temperatur und damit verbundene, bereits heute auftretende, Häufung an Katastrophen untermauern den Menschlichen Einfluss am Klimawandel. Jeglicher weiter Ausstoß des Treibhausgases führt zu einer Näherung an die planetaren Grenzen und damit zu ungewissen Veränderungen unseres Erdsystems. (vgl. Steffens, et al., 2015)

Angesichts der komplexen globalen Zusammenhänge und der enormen gesellschaftlichen Bedeutung sollte das Klima und seine Veränderung durch anthropogenes Handeln, auch seinen angemessenen Platz im Unterricht finden.

4 Literaturverzeichnis

Artikel 1, §1 Anhang A, Lehrplan AHS, 2020

Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne – allgemeinbildende höhere Schulen, Fassung vom 05.05.2020.

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> [Zugriff am 5 Mai 2020].

Steffens, W. et al., 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 13 Februar.

adobe, 2020a. *adobe stock*.

https://stock.adobe.com/de/images/der-natuerliche-treibhauseffekt/89018415?as_campaign=ftmigration2&as_channel=dpcft&as_campclass=brand&as_source=ft_web&as_camptype=acquisition&as_audience=users&as_content=closure_asset-detail-page&asset_id=80467989 [Zugriff am 05 Mai 2020].

adobe, 2020b. *adobe stock*.

https://stock.adobe.com/de/images/der-natuerliche-treibhauseffekt/89018415?as_campaign=ftmigration2&as_channel=dpcft&as_campclass=brand&as_source=ft_web&as_camptype=acquisition&as_audience=users&as_content=closure_asset-detail-page

[page](#)

[Zugriff am 05 Mai 2020].

Auer, I. et al., 2014. Vergangene Klimaänderung in Österreich. *UNI Innsbruck*.

Dittrich, E., Müller, B. & Schminke, A., 2013. *weltweit 1. 2* Hrsg. ÖBV.

Forkel, M., 2015. *www.klima-der-erde.de*.

<http://www.klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html>

[Zugriff am 5 Mai 2020].

Fridrich, C. et al., 2014. *Unterwegs 1. 1* Hrsg. ÖBV.

Friedlingstein, P. et al., 2019. *Global Carbon Budget 2019*. <https://www.earth-syst-sci-data.net/11/1783/2019/essd-11-1783-2019.pdf>

[Zugriff am 05 Mai 2020].

IPCC, 2014. Klimaänderung 2013: Naturwissen-

schaftliche Grundlagen. <https://www.deutsches-klima-konsortium.de/de/klimafaq-6-2.html>

[Zugriff am 7 Februar 2020].

Lucius, E. R., Bayrhuber, H. & Heidebrandt, K., 2005.

Der Kohlenstoffkreislauf. Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwizy6SB1JzpAhUJcZoKHUGVDDgQFjAAegQIBBAB&url=ftp%3A%2F%2Fftp.rz.uni-kiel.de%2Fpub%2Fipn%2FSystemErde%2F09_Begleittext_oL.pdf&usg=AOvVaw3q1uVnp7ZvhKazX0htwxC5 [Zugriff am 5 Mai 2020].

Mayerhofer, Posch & Reiter, 2015. *GEOPROFI 1. 6* Hrsg. Veritas.

Raschke, E., 2008. *Der Treibhauseffekt in der Erdatmosphäre*.

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/erde/atmosphaere/klimaforschung/treibhauseffekt/>

[Zugriff am 9 Februar 2020].

Roedel, W. & Wagner, T., 2017. *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*. Berlin: Springer-Verlag GmbH.

Sexl, R., Kühnelt, H., Stadler, H. & Jakesch, P., 2013.

Sexl Physik 8. 1 Hrsg. s.l.:ÖBV.

Titz, S., 2013. *Welt der Physik*.

<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/treibhaus/>

[Zugriff am 5 Mai 2020].

ZAMG, 2020.

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur>

[Zugriff am 10 Februar 2020].