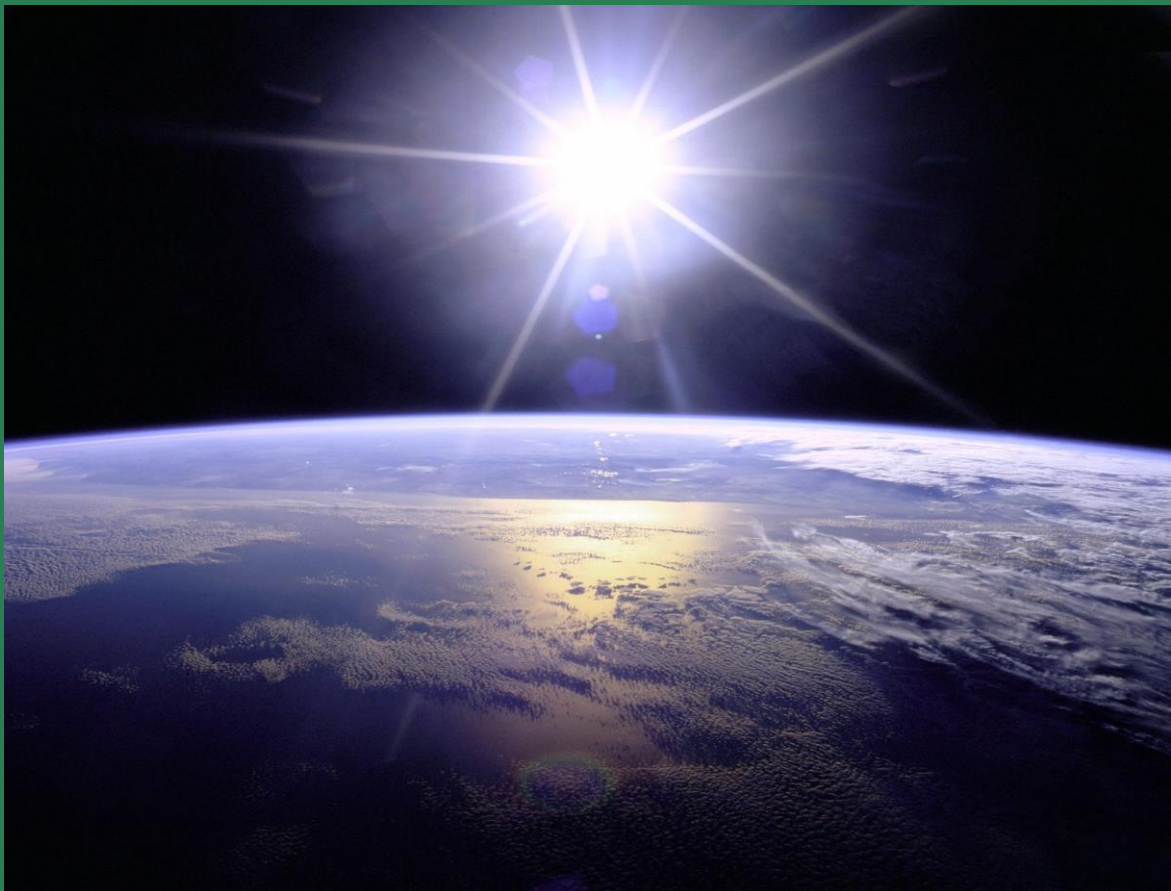


Der Klimawandel: verstehen und handeln

Die Erde wird bestrahlt

Modul 2a

www.klimawandel-schule.de



Dr. Cecilia Scorza
LMU Fakultät Physik
München

Moritz Strähle
Asam-Gymnasium
München

Zusammenfassung

Die Sonne ist ein selbstleuchtender, per Kernfusion betriebener Himmelskörper, welcher mittels elektromagnetischer Wellen Energie auch zur Erde transportiert. Die *Solarkonstante* S_0 gibt die Strahlungsintensität an, mit der ein senkrecht zur Sonne stehender Quadratmeter Erdoberfläche (bei mittlerem Abstand zur Sonne und ohne den Einfluss der Erdatmosphäre) bestrahlt wird ($S_0 = 1361 \frac{W}{m^2}$). Von der eingestrahlten Energie wird im Mittel ca. 30 % ins All reflektiert und 70% von der Erdoberfläche absorbiert. Die dadurch erwärmte Erde strahlt die aufgenommene Energie als nicht sichtbare Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) in Richtung Weltall zurück. Im Langzeitmittel muss die Energie der Wärmestrahlung der Erde der von der Erde aufgenommenen Strahlungsenergie entsprechen - die Erde befindet sich im *Strahlungsgleichgewicht*.

Inhalt

Die Erde wird bestrahlt	1
1.1. Die Sonne als Energiequelle.....	1
Exkurs: Die gesamte Strahlungsleistung (Leuchtkraft L_0) der Sonne abschätzen.....	2
1.2. Die Erde im Strahlungsgleichgewicht.....	3
Aktivitäten	4
Aktivität 1 – Die Erde wird bestrahlt.....	4
Aktivität 2 – Die Rolle der Eisflächen für die Erdtemperatur.....	5
Literatur	7

Die Erde wird bestrahlt

1.1. Die Sonne als Energiequelle

Wie alle Sterne ist auch unsere Sonne ein massereicher, selbstleuchtender Himmelskörper aus sehr heißem ionisiertem Gas, einem sogenannten Plasma. Bedingt durch den starken Druck, der durch die Gasmasse auf das Zentrum des Sterns ausgeübt wird, beträgt die Temperatur im inneren Kern unserer Sonne ca. 15 Millionen Grad Celsius. Bei diesen hohen Temperaturen findet Kernfusion statt: Bei der Verschmelzung von Wasserstoffkernen zu Heliumkernen wird Masse in Energie umgewandelt, denn das Fusionsprodukt hat eine geringere Masse als die Summe der Massen der Edukte. Deshalb wird dabei entsprechend Einsteins Gleichung $E = \Delta m \cdot c^2$ eine immense Menge an Energie in Form elektromagnetischer Strahlung freigesetzt. Pro Sekunde wandelt die Sonne so 620 Millionen Tonnen Wasserstoff in Helium um.

Die Sonnenstrahlung besteht aus elektromagnetischen Wellen und außerdem aus einem Strom von Teilchen (u. a. Protonen, Elektronen und Heliumatomkerne), dem sogenannten Sonnenwind. Die elektromagnetische Strahlung kann man nach ihrer Wellenlänge in Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, Ultraviolettstrahlung, sichtbares Licht, Infrarotstrahlung und Radiowellen einteilen.

Die Sonne strahlt aufgrund ihrer Oberflächentemperatur von etwa 5.500 °C entsprechend dem planckschen Strahlungsgesetz überwiegend elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von ca. 400 Nanometer (vom Menschen als Violett wahrgenommen) bis 750 Nanometer (Rot) ab. Der größte Anteil der Strahlung wird im gelben bis grünen Spektralbereich emittiert. Unsere Augen haben sich im Lauf der Evolution an diesen Teil des Spektrums angepasst, sodass wir elektromagnetische Wellen in diesem Bereich sehen können.

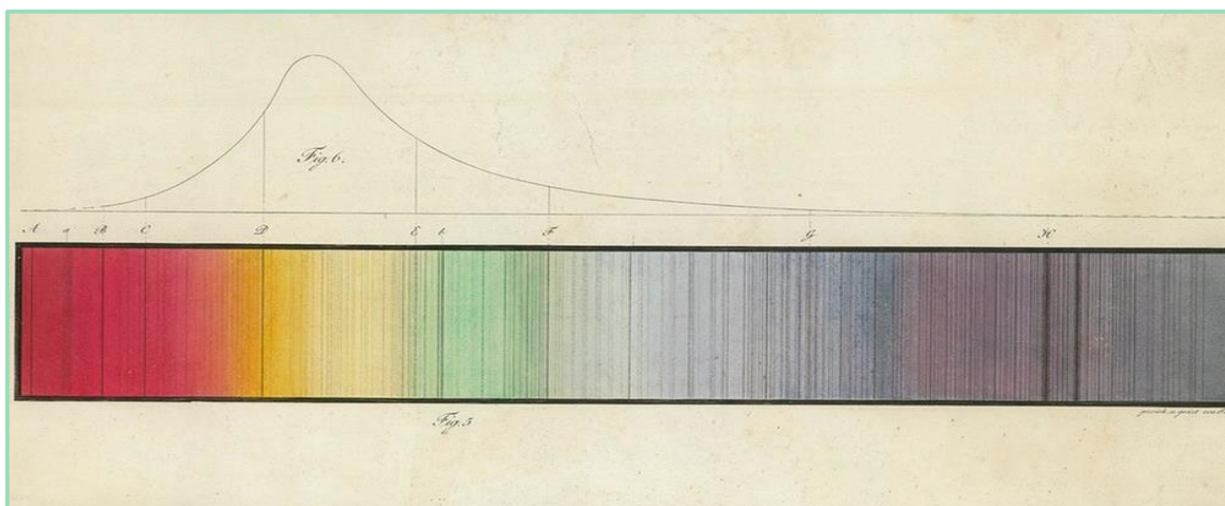


Abbildung 1 - Fraunhofer'sche Spektrallinien. x-Achse: Frequenz der EM-Strahlung, y-Achse: Intensität
Originalbild: Deutsches Museum München

Wie viel Energie bekommt die Erde von der Sonne?

Die Energie der Sonne wird in alle Richtungen gleichmäßig abgestrahlt. Wie viel davon bei einem bestimmten Planeten ankommt, hängt von dessen Entfernung zur Sonne ab.

Als *Solarkonstante* S_0 bezeichnet man die Strahlungsintensität, die auf der Erde bei mittlerem Abstand zur Sonne und ohne den Einfluss der Erdatmosphäre senkrecht zur Strahlungsrichtung auf der Erde ankommt. Messungen ergeben, dass auf einer Fläche von 1 m^2 oberhalb der Erdatmosphäre eine Strahlungsleistung von 1361 W [2] auftrifft (siehe Abbildung 2, $1 \text{ AE} = 1$ Astronomische Einheit = Mittlere Entfernung Erde-Sonne).

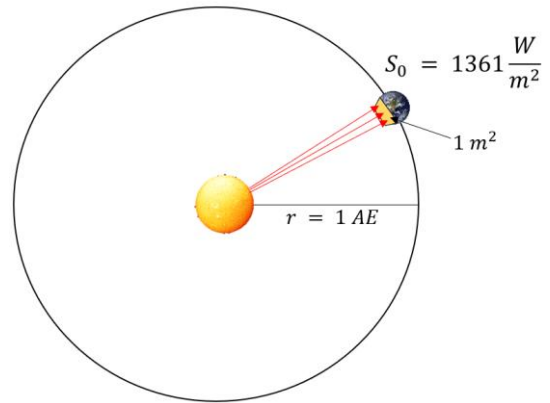


Abbildung 2 – Zur Messung der Solarkonstante bestimmt man die Leistung, die im Abstand Sonne-Erde auf 1 m^2 Fläche auftrifft. (Credits: Scorza, Strähle)

Exkurs: Die gesamte Strahlungsleistung (Leuchtkraft L_\odot) der Sonne abschätzen

Wenn sich die Strahlung der Sonne ins Weltall ausbreitet, wird die Gesamtstrahlungsleistung der Sonne zunehmend auf eine größere Fläche ($\sim r^2$, siehe Abbildung 3) verteilt. Zur Berechnung der gesamten Strahlungsleistung der Sonne, der Leuchtkraft L_\odot , stellt man sich eine Kugel vor, in deren Mittelpunkt die Sonne liegt und deren Radius der Entfernung zwischen Erde und Sonne entspricht.

Auf die Oberfläche dieser gedachten Kugel verteilt sich die gesamte Strahlung der Sonne. Der

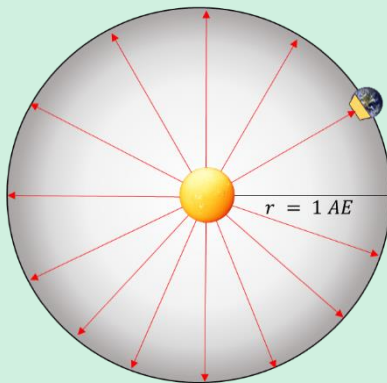


Abbildung 3 – Die gesamte Sonnenstrahlung L_\odot verteilt sich auf der gedachten Kugeloberfläche (Credits: Scorza, Strähle)

$$S_0 = 1361 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$r = 1 \text{ AE} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$A = 4 \pi r^2$$

$$L_\odot = A \cdot S_0$$

$$L_\odot = 4 \pi r^2 \cdot S_0$$

$$L_\odot = 4 \pi (149,6 \cdot 10^9)^2 \text{ m}^2 \cdot 1361 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 3,83 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3,83 \cdot 10^{23} \text{ kW}$$

Radius r dieser Kugel ist gleich der Distanz der Erde zur Sonne (1 AE) und so kann die Fläche A der Kugel berechnet werden. Die Leuchtkraft der Sonne L_\odot wird dann bestimmt, indem diese Fläche A mit der Solarkonstante S_0 multipliziert wird. Mit der so berechneten Leuchtkraft L_\odot und den bekannten Entfernungen der anderen Planeten zur Sonne, kann die Solarkonstante auf Merkur, Venus, Mars usw. bestimmt werden. Dies kann dann beispielsweise zur Abschätzung der Möglichkeit außerirdischen Lebens herangezogen werden.

1.2. Die Erde im Strahlungsgleichgewicht

Aktivität 1

Der Energietransport von der Sonne zur Erde findet über elektromagnetische Wellen statt. Im sichtbaren Spektralbereich, also im Wellenlängenbereich von 400 bis 750 nm absorbieren die Gase in der Atmosphäre die Sonnenstrahlung kaum. Dieser relativ kurzwellige, sichtbare Teil der Sonnenstrahlung erreicht daher fast ungehindert den Erdboden, wird dort zum Teil absorbiert und trägt so zur Erwärmung der Erdoberfläche bei. Die warme Erde strahlt diese aufgenommene Energie als nicht sichtbare Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) in Richtung Weltall zurück.

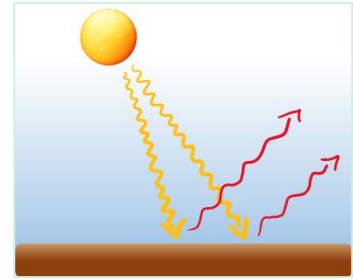


Abbildung 4 – Kurzwellige Sonnenstrahlung (gelb) wird vom Erdboden absorbiert, langwellige Infrarotstrahlung (rot) abgestrahlt

Im Langzeitmittel muss die Energie der thermischen Strahlung, die von der Erde ins All abgestrahlt wird, exakt der von der Erde aufgenommenen Strahlungsenergie der Sonne entsprechen. Die Erde befindet sich mit ihrer Umgebung daher im so genannten *Strahlungsgleichgewicht*. Wäre dies nicht der Fall und würde die Erde z. B. mehr Energie aufnehmen als sie abstrahlt, würde sie sich mit der Zeit immer weiter erwärmen. Da ein Körper aber umso mehr Energie abstrahlt, umso wärmer er ist, würde diese Erwärmung nur solange stattfinden, bis eingestrahlte und abgestrahlte Energie wieder gleichauf sind und die Erde sich letztendlich bei einer entsprechenden *Gleichgewichtstemperatur* doch im Strahlungsgleichgewicht befindet.

Im Strahlungsgleichgewicht muss die von der Erdoberfläche absorbierte Sonnenstrahlung vollständig wieder als langwellige Wärmestrahlung ins All abgestrahlt werden.

Die von der Sonne senkrecht eingestrahelte Leistung pro Quadratmeter (Intensität) beträgt auf der Erde $S_0 = 1361 \text{ W/m}^2$ (Solarkonstante, siehe Seite 2). Allerdings wird ja nicht die komplette Erdkugel senkrecht, sondern zu den Polen hin zunehmend flacher bestrahlt. Außerdem wird ja immer nur eine Halbkugel der Erde bestrahlt. Die andere Halbkugel liegt derweil im Dunkeln. Im Mittel verteilt sich die Intensität der Sonnenstrahlung auf die gesamte Erdoberfläche $O = 4\pi \cdot r_{\text{Erde}}^2$. Die Intensität der Solarkonstante wirkt jedoch nur auf die Querschnittsfläche der Erde $Q = \pi \cdot r_{\text{Erde}}^2$. Dies ist offensichtlich genau $1/4$. Somit ergibt sich für die *mittlere Intensität der Sonnenstrahlung auf die Erde*

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow} = \frac{1361 \text{ W}}{4 \text{ m}^2} = 340 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

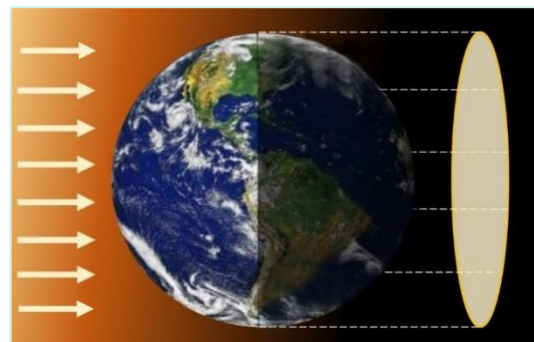


Abbildung 5 – Die von der Erde empfangene Strahlungsleistung entspricht der Leistung, die senkrecht auf die Querschnittsfläche der Erde fällt. (Credits: Scorza)

Aktivitäten

Aktivität 1 – Die Erde wird bestrahlt



Moritz Strähle und
Cecilia Scorza

Warum wird die Erde nicht immer heißer, obwohl sie ständig von der Sonne bestrahlt wird?

Hintergrund:

Wird ein kühler Körper durch Zuführung von Strahlungsenergie erwärmt, so strahlt er selbst auch immer mehr Energie in Form von thermischer Strahlung ab. Irgendwann nimmt er die gleiche Menge an Energie pro Sekunde auf, wie er selbst abstrahlt – er befindet sich dann im *Strahlungsgleichgewicht* und hat die *Gleichgewichtstemperatur* erreicht. Wie alle Planeten des Sonnensystems wird die Erde von der Sonne bestrahlt. Befindet sich die Erde im Strahlungsgleichgewicht?



Materialien:

- ✓ Strahler
- ✓ Kleine Erdkugel aus Holz
- ✓ 1 Digitalthermometer
- ✓ Stoppuhr



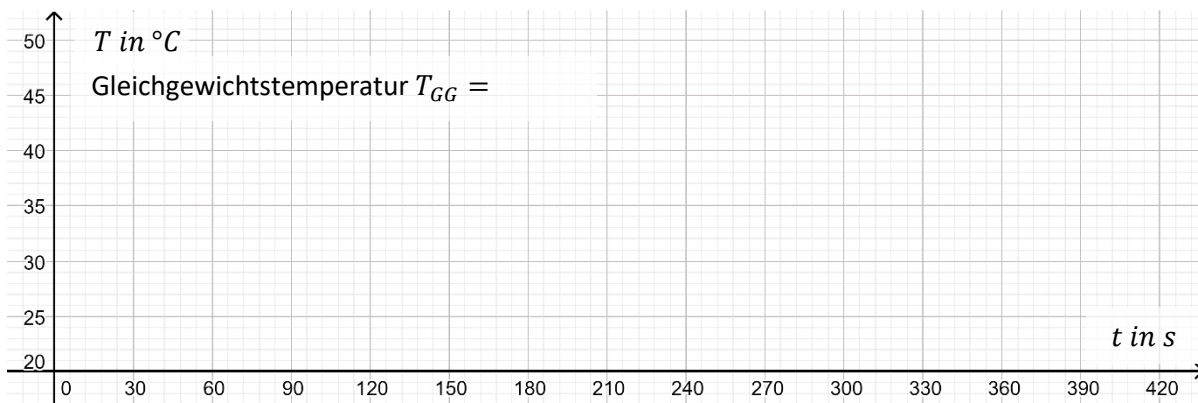
Durchführung:

Nimm das Erdmodell und stecke das Digitalthermometer in die kleine Öffnung an einer Seite. Platziere die Erde direkt unter dem Strahler, sodass sie mit der höchsten Intensität bestrahlt wird.

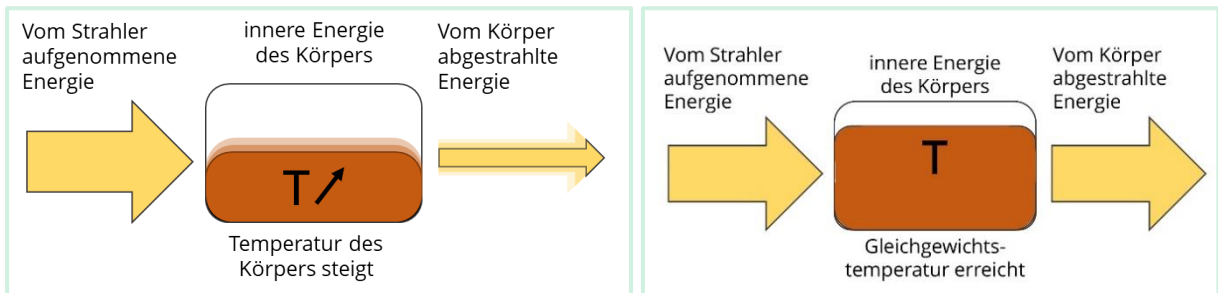
→ Miss die Temperatur der Erde alle 30 Sekunden und notiere die Ergebnisse in einer Tabelle.

Zeit s	0	60	120	180	240	300	330	330	360	360	390	390	420	420	450	450
T °C																
Erde																

→ Stelle die Ergebnisse grafisch im Diagramm dar:



→ Diskutiere dein Messergebnis und erkläre, warum die Temperatur des Erdmodells nicht immer weiter ansteigt. Benutze für deine Diskussion und Interpretation die beiden folgenden Abbildungen. Verwende dabei die Begriffe *Gleichgewichtstemperatur* und *Strahlungsgleichgewicht*.



? Der Planet Venus befindet sich näher an der Sonne als die Erde. Was würde für die Temperatur auf der Erde folgen, wenn man sie an den Ort der Venus (bzw. des Mars) verschieben würde?

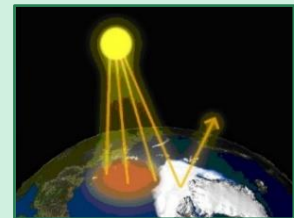


Aktivität 2 – Die Rolle der Eisflächen für die Erdtemperatur

Welche Rolle spielen die Eisflächen für die Temperatur der Erde?

Hintergrund:

Helle Flächen auf der Erde, wie z. B. Eis und Schnee, reflektieren das einfallende Licht der Sonne stärker als z. B. Wasser oder der Erdboden. Dieses Rückstrahlvermögen einer Oberfläche wird als *Albedo α* (lat. "Weiße") bezeichnet. Für die gesamte Erde gilt $\alpha = 0,3$, d. h. 30 % der einfallenden Strahlungsenergie werden reflektiert und tragen nicht zur Erwärmung bei. Der Verlust von weißen Flächen durch die globale Erderwärmung hat verheerende Auswirkungen für das Erdklima.



Albedo der Erde

Materialien:

- ✓ Strahler
- ✓ 2 Papierkörper (bedruckt als Gesteins- bzw. Eisfläche)
- ✓ 2 Digitalthermometer
- ✓ Stoppuhr

Durchführung:

- Die beiden Thermometer werden jeweils in die gefalteten Papierkörper gesteckt. Der eine stellt das Gestein unter einem geschmolzenen Gletscher dar, der zweite eine intakte Eisfläche. Beide Testkörper werden so unter dem eingeschalteten Strahler platziert, dass sie mit gleicher Intensität bestrahlt werden.

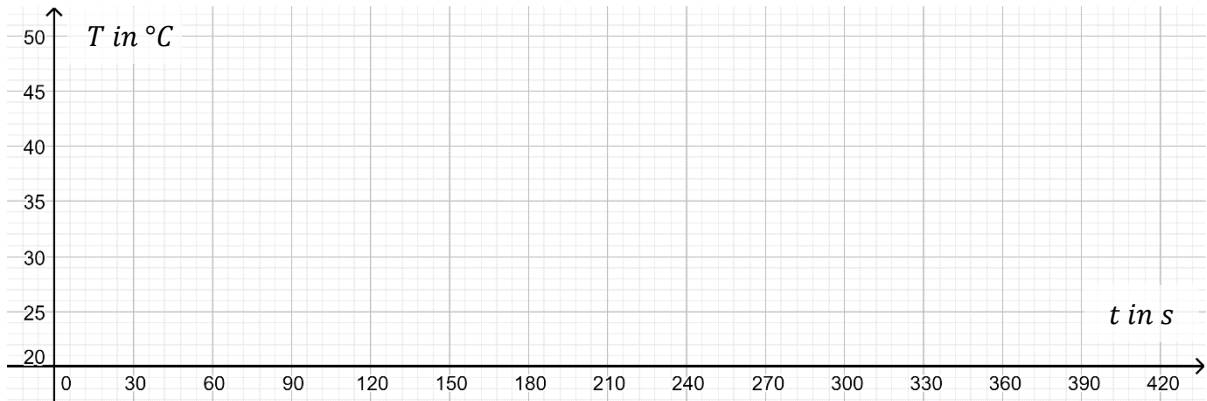


Experiment zur Albedo

→ Miss die Temperatur der beiden Papierkörper alle 30 Sekunden und notiere die Ergebnisse in der Tabelle.

Zeit in s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Temperatur Schwarz in °C											
Temperatur Weiß in °C											

→ Stelle die Ergebnisse grafisch in dem Diagramm dar. Verwende dabei unterschiedliche Farben.



→ Diskutiere dein Messergebnis und erkläre die unterschiedlichen Temperaturverläufe. Verwende dabei die Begriffe *Albedo*, *Gleichgewichtstemperatur* und *Strahlungsgleichgewicht*.

? Diskutiere welche Auswirkungen das Schmelzen von Eis- und Gletscherflächen auf die Temperatur der Erde hat. Welche Auswirkungen hat es, dass die Polkappen aktuell immer weiter abschmelzen?

Literatur

- [1] R. M. Ramirez und L. Kaltenegger, „A Volcanic Hydrogen Habitable Zone,“ *The Astrophysical Journal Letters*, 1 März 2017.
- [2] G. Kopp und J. L. Lean, „A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 1, Januar 2011.
- [3] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 3 Dezember 2013. [Online]. Available: [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_\(einfach\)](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_(einfach)). [Zugriff am 27 Mai 2020].
- [4] P. D. Jones, M. New, D. E. Parker, S. Martin und I. G. Rigor, „Surface air temperature and its changes over the past 150 years,“ *Reviews in Geophysics*, Bd. 37, Nr. 2, p. 173–199, 1999.
- [5] P. T. Doran und M. K. Zimmerman, „Examining the Scientific Consensus on Climate Change,“ *Eos*, Bd. 90, Nr. 3, pp. 22-23, 2009.
- [6] S. Rahmstorf und H. J. Schellnhuber, *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*, München: C.H.Beck, 2018.
- [7] „EU Science Hub,“ [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/global-fossil-co2-emissions-increased-2017>. [Zugriff am 2020 Mai 27].
- [8] T. F. Stocker, D. Qin und e. al., „Climate Change 2013,“ Cambridge University Press, New York, 2013.
- [9] „Umweltbundesamt,“ [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [10] „The NOAA Annual Greenhouse Gas Index,“ NOAA, [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [11] T. M. Lenton, J. Rockström, O. Gaffney, S. Rahmstorf, K. Richardson, W. Steffen und H. J. Schellnhuber, „Climate tipping points - too risky to bet against,“ *Nature*, Bd. 575, pp. 592-596, 2019.
- [12] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 10 September 2020. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Gr%C3%B6nlandischer_Eisschild. [Zugriff am 21 09 2020].
- [13] „Scinexx,“ MMCD NEW MEDIA GmbH, 20 Dezember 2004. [Online]. Available: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/wird-der-amazonas-regenwald-zur-steppe/>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [14] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 02 Dezember 2015. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kippunkte_im_Klimasystem. [Zugriff am 21 09 2020].

- [15] „Wiki Bildungsserver,“ Hamburger Bildungsserver, 5 Dezember 2013. [Online]. Available: https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoff_im_Ozean. [Zugriff am 21 09 2020].
- [16] D. Coumou, S. Rahmstorf und weitere, „A decade of weather extremes,“ *Nature*, 2012.
- [17] X. Chen, X. Zhang, J. Church, C.S.Watson, M. King, D. Monselesan, B. Legresy und C. Harig, „The increasing rate of global mean sea-level rise during 1993–2014,“ *Nature Climate Change*, Bd. 7, pp. 492–495, 2017.
- [18] P. Christoffersen und M. B. e. al., „Significant groundwater contribution to Antarctic ice streams hydrologic budget,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 41, Nr. 6, pp. 2003-2010, 2014.
- [19] B. Schinke, S. Harmeling, R. Schwarz, S. Kreft, M. Treber und C. Bals, „Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten,“ Germanwatch, Bonn, 2011.
- [20] C. Jakobeit und C. Methmann, „Klimaflüchtlinge,“ Universität Hamburg, Hamburg, 2007.
- [21] J. A. Church, N. J. White, L. F. Konikow, C. M. Domingues, J. G. Cogley, E. Rignot, J. M. Gregory, M. R. v. d. Broeke, A. J. Monaghan und I. Velicogna, „Revisiting the Earth’s sea-level and energy budgets from 1961 to,“ *Geophysical Research Letters*, Bd. 38, Nr. 18, pp. 1944-2007, 2011.
- [22] „Beobachteter Klimawandel,“ Umweltbundesamt, [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/beobachteter-klimawandel>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [23] „Klimafolgen: Handlungsfeld Wasser, Hochwasser- und Küstenschutz,“ Umweltbundesamt, 04 09 2013. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-wasser-hochwasser#wasserverfuegbarkeit-und-hitze>. [Zugriff am 21 09 2020].
- [24] „Klima-Report Bayern 2015,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, München, 2015.
- [25] B. f. Naturschutz. [Online]. Available: <https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/moore-entstehung-zustand-biodiversitaet/moortypen.html>. [Zugriff am 20 10 2020].
- [26] D. G. f. M.-. u. T. e.V., „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ 2009.
- [27] H. Höper, „Freisetzung klimarelevanter Gase aus deutschen Mooren,“ *Telma*, Bd. 37, pp. 58-116, 2007.
- [28] A. u. M. D. Freibauer, „Moor unter: Klimaschutz,“ *Politische Ökologie*, Bd. 30, pp. 98-105, 2012.
- [29] „klimawandel-meistern.bayern.de,“ Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, [Online]. Available: <https://www.klimawandel-meistern.bayern.de/moorschutz.html>. [Zugriff am 20 10 2020].

- [30] M. & K. M. Drösler, „Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050),“ *Anliegen Natur*, Bd. 42, Nr. 1, pp. 31-38, 2020.
- [31] W. Steffen, J. Rockström, K. Richardson, T. M. Lenton, C. Folke, D. Liverman, C. P. Summerhayes, A. D. Barnosky, S. E. Cornell, M. Crucifix, J. F. Donges, I. Fetzer, H. Schellnhuber und weitere, „Trajectories of the Earth System in the Anthropocene,“ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Bd. 115, Nr. 33, pp. 8252-8259, 2018.
- [32] J. Rogelj, P. Forster, E. Kriegler, C. Smith und R. Seferian, „Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets,“ *Nature*, Bd. 571, pp. 335-342, 2019.
- [33] J. Swim, P. Stern, T. Doherty, S. Clayton, J. Reser, E. Weber, R. Gifford und G. Howard, „Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change,“ *American Psychologist*, Bd. 66, Nr. 4, p. 241–250, 2011.
- [34] „Am 15. März ist CO2-Tag: Deutschland am Limit,“ Zukunft Erdgas e.V., 2020. [Online]. Available: <https://zukunft.erdgas.info/ueber-zukunft-erdgas/expertenleistungen/kommunikation/kampagnen/co2-budget-deutschland>.
- [35] „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland,“ Umweltbundesamt, 06 07 2020. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>. [Zugriff am 22 09 2020].
- [36] R. Goodland und J. Anhang, „Livestock and climate change,“ *World Watch*, Bd. 22, pp. 10-19, November 2009.
- [37] „Was haben Moore mit dem Klima zu tun?,“ Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde e.V., 2009.
- [38] V. Quaschnig, „Sektorkopplung durch die Energiewende,“ Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, 2016.
- [39] V. Quaschnig, „volker-quaschnig.de,“ [Online]. Available: <https://www.volker-quaschnig.de/grafiken/index.php>. [Zugriff am 12 10 2020].
- [40] Umweltbundesamt, „CO2-Bepreisung in Deutschland,“ 2019.

Weitere Literaturhinweise

- Bals, C. (2002): *Zukunftsfähige Gestaltung der Globalisierung. Am Beispiel einer Strategie für eine nachhaltige Klimapolitik*. In: Zur Lage der Welt 2002. Fischer Verlag.
- Bals, C. et al. (2008): *Die Welt am Scheideweg. Wie retten wir das Klima?* Rowohlt Verlag
- Buchal, C. und Schönwiese, C.D. (2010): *Klima – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten* Jülich/Frankfurt, Heraeus-Stiftung, Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
- Dincere, I. (2018): *Comprehensive Energy Systems*, Elsevier Verlag.

- Levke, C., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G., Saba, V. (2018): *Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation*. In: Nature [DOI: 10.1038/s41586-018-0006-5]
- Church, J. und White, N. (2006): *A 20th century acceleration in global sea-level rise*
In: Geophysical Research Letters, Vol. 33, L01602
- Hupfer, P. (1998): *Klima und Klimasystem*. In Lozan, J.L., H. Graßl und P. Hupfer: *Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten*, Hamburg, S. 17–24.
- IPCC (2007a): *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents
- IPCC (2007b): *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*
<http://www.ipcc-wg2.org/>
- IPCC (2007d): *Klimaänderungen 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger*
<http://www.proclim.ch/4dcgi/proclim/de/Media?555>.
- IPCC (2007e): *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.
- Jonas, H. (1984): *Prinzip Verantwortung*, Suhrkamp Verlag.
- Lenton, T.M. et al. (2008): *Tipping Elements in the Earth's Climate System*
In: PNAS, Vol. 105.
- Lesch, H. und Kamphausen, K. (2016): *Die Menschheit schafft sich ab – Die Erde im Griff des Anthropozäns*, Komplett-Media.
- Rahmstorf, S. und Katherine Richardson, K. (2007): *Wie bedroht sind die Ozeane?*
Fischer Taschenbuch Verlag.
- Rahmstorf, S. und Schellnhuber, H.J. (2018): *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie*
Verlag C.H. Beck.
- Schüring, J. (2001): *Schneeball Erde*. Spektrumdirekt.
- Seifert, W. (2004): *Klimaänderungen und (Winter-)Tourismus im Fichtelgebirge – Auswirkungen, Wahrnehmungen und Ansatzpunkte zukünftiger touristischer Entwicklung*, Universität Bayreuth.
- Swim, J.K., Stern, P.C., Doherty, T.J., Clayton, S., Reser, J.P., Weber, E.U., Gifford, R., Howard, G.S. (2011): *Psychology's contributions to understanding and addressing global climate change*. *American Psychologist*, Vol 66(4), May–Jun 2011, 241–250.
- WBGU (2007): *Welt im Wandel – Sicherheitsrisiko Klimawandel*. Hauptgutachten. Berlin.
http://www.wbgu.de/wbgu_jg2007.html.

