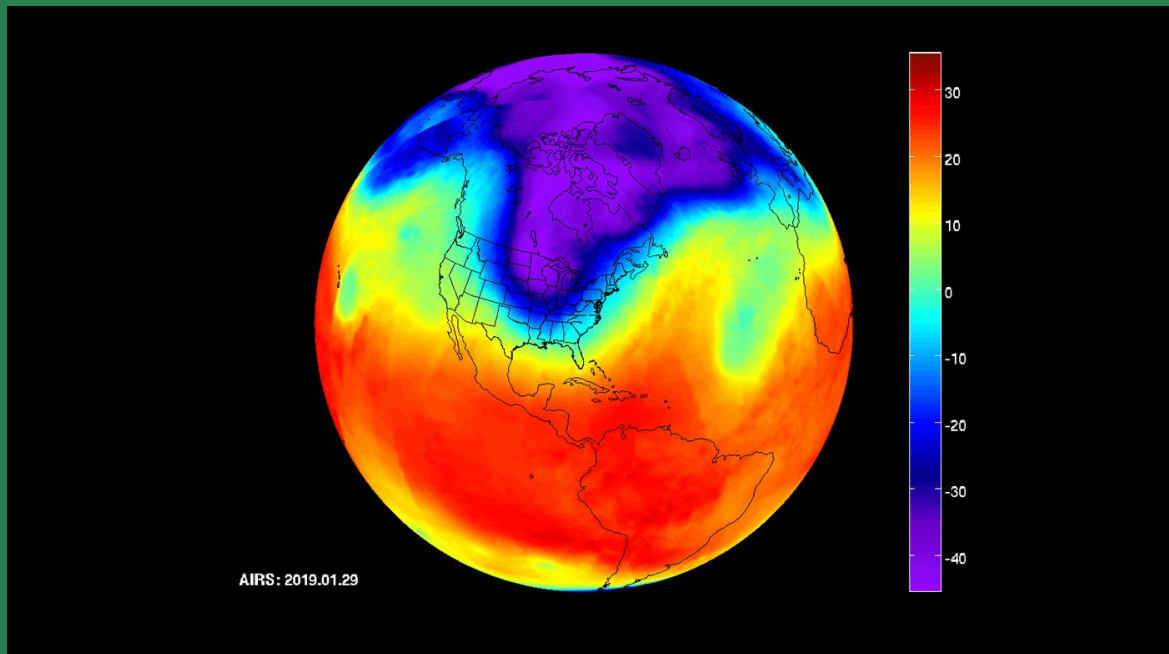


Der Klimawandel: verstehen und handeln

Die Erde, ein strahlender Planet

Modul 2b

www.klimawandel-schule.de



Dr. Cecilia Scorza
LMU Fakultät Physik
München

Moritz Strähle
Asam-Gymnasium
München

Zusammenfassung

Damit die Erde nicht immer heißer wird, muss sie die von der Sonne absorbierte Strahlungsenergie wieder abgeben – in Form von Wärmestrahlung. Der Zusammenhang zwischen der Temperatur der Erdoberfläche und seiner Strahlungsleistung wird durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben. Es drückt aus, welche Strahlungsintensität I (in Watt pro m^2) ein Körper bei einer bestimmten Temperatur T abstrahlt. Mithilfe dieses Gesetzes kann man bei einer bekannten Strahlungsintensität auf die Temperatur des Körpers schließen. Auf diese Weise lässt sich bestimmen, dass auf einer fiktiven Felsenerde ohne Atmosphäre eine mittlere Temperatur von -18°C herrschen würde.

Inhalt

Die Erde, ein strahlender Planet	1
1.1. Die Erde im Strahlungsgleichgewicht.....	1
1.2. Abschätzung der Temperatur auf einer Erde ohne Atmosphäre.....	2
Aktivitäten	4
Aktivität 1 – Die Erde, ein strahlender Planet.....	4
Aktivität 2 – Strahlungsdurchlässigkeit verschiedener Materialien	5
Literatur	6

Die Erde, ein strahlender Planet

1.1. 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.

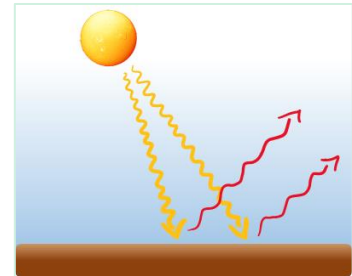


Abbildung 1– Kurzwellige Sonnenstrahlung (gelb) wird vom Erdboden absorbiert, langwellige Infrarotstrahlung (rot) abgestrahlt

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 eingestrahlte Leistung pro Quadratmeter (Intensität) beträgt auf der Erde $S_0 = 1361 \text{ W/m}^2$ (Solarkonstante, siehe Modul 2a). 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* $I_{\text{Sonne} \rightarrow} = \frac{1361 \text{ W}}{4 \text{ m}^2} = 340 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

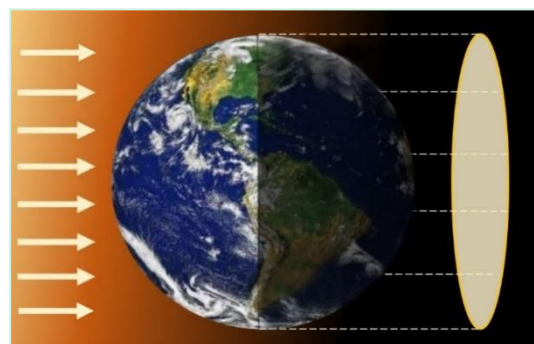


Abbildung 2 – Die von der Erde empfangene Strahlungsleistung entspricht der Leistung, die senkrecht auf die Querschnittsfläche der Erde fällt. (Credits: Scorza)

1.2. Abschätzung der Temperatur auf einer Erde ohne Atmosphäre

Wir haben gesehen, dass sich die Erde im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung befindet. Die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche lässt sich mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz abschätzen:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Dieses Gesetz beschreibt, welche Strahlungsintensität I (in Watt pro m^2) ein Körper bei einer bestimmten Temperatur T abstrahlt. In Abbildung 3 ist diese Abhängigkeit dargestellt. Je heißer ein Körper ist, desto mehr thermische Strahlung gibt er ab und zwar proportional zur vierten Potenz seiner Temperatur. Bei doppelter Temperatur (in Kelvin gemessen) strahlt ein Körper also z.B. pro Sekunde 16-mal mehr Energie ab. Mit der Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ kann man bei bekannter Temperatur die Strahlungsintensität berechnen oder umgekehrt von einer bekannten Strahlungsintensität auf die Temperatur eines Körpers schließen. Das möchten wir ausnutzen, um die Temperatur der Erdoberfläche abzuschätzen.

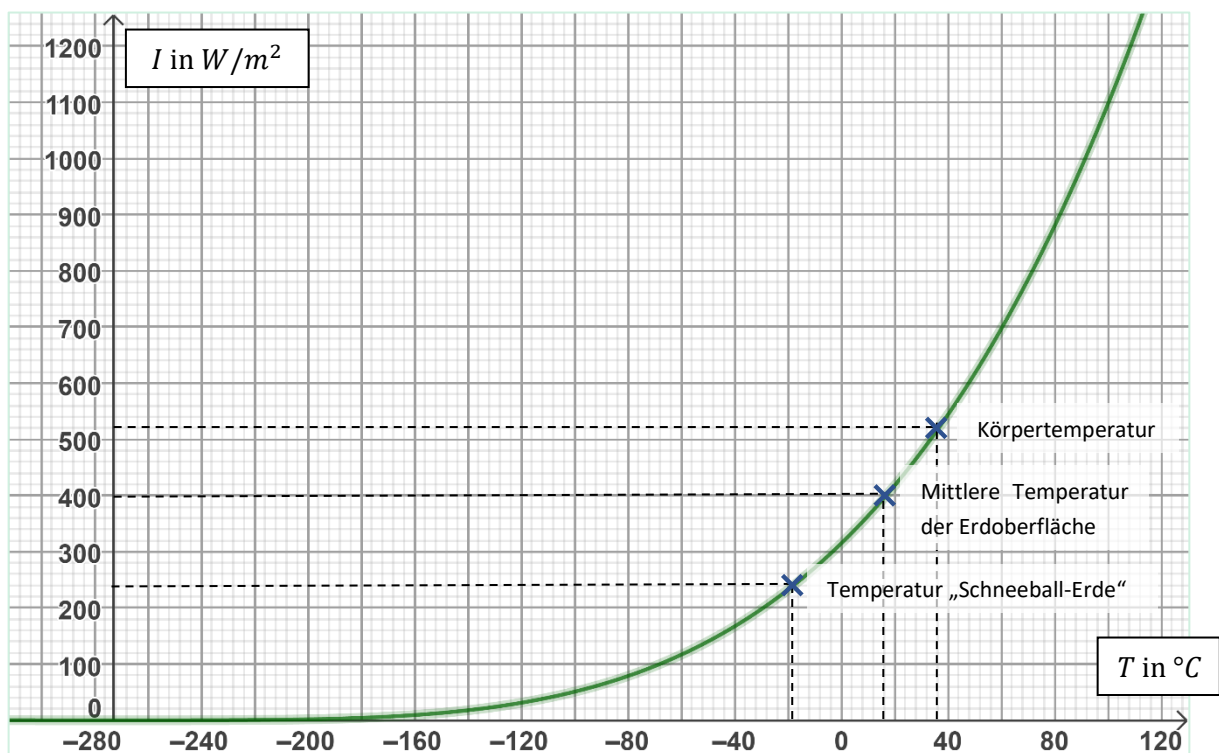


Abbildung 3 – In der Abbildung ist das Stefan-Boltzmann-Gesetz dargestellt, also der Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Intensität der thermischen Strahlung eines Körpers (Credits: Strähle, erstellt mit Geogebra)

Von den auf die Erde eingestrahlten 340 W/m^2 werden im Mittel ca. 30 % [3] direkt ins All reflektiert. Dieses Rückstrahlvermögen von Oberflächen nennt man *Albedo* α und ist z. B. bei Eis besonders hoch. Die Erdoberfläche absorbiert also die geringere Intensität

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdob.}} = (1 - \alpha) \cdot I_{\text{Sonne} \rightarrow} = 0,7 \cdot 340 \frac{W}{m^2} = 238 \frac{W}{m^2}.$$

Stellen wir uns nun für einen Moment vor, die Erde hätte keine Atmosphäre. Da sich diese fiktive Felsenerde im Strahlungsgleichgewicht befindet, wird die von der Sonne eingestrahlte Intensität auch wieder abgestrahlt und es gilt $I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdob.}} = I_{\text{Erdob.} \rightarrow}$. Diese Strahlungsbilanz ist in Abbildung 4 dargestellt.

Die Intensität der thermischen Strahlung der Erdoberfläche hängt, wie oben beschrieben, mit deren Temperatur zusammen:

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdob.}} = I_{\text{Erdob.} \rightarrow} = 238 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \sigma \cdot T^4$$

Diese Gleichung wird nach der Temperatur T aufgelöst:

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1 - \alpha) \cdot I_{\text{Sonne} \rightarrow}}{\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{238 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}}} = 255 \text{K} = -18 \text{ } ^\circ\text{C}^1$$

Auf unserer fiktiven Felsenerde, bei der die thermische Strahlung des Erdbodens ungehindert ins All entweichen kann, würde also eine mittlere Temperatur von $-18 \text{ } ^\circ\text{C}$ herrschen!

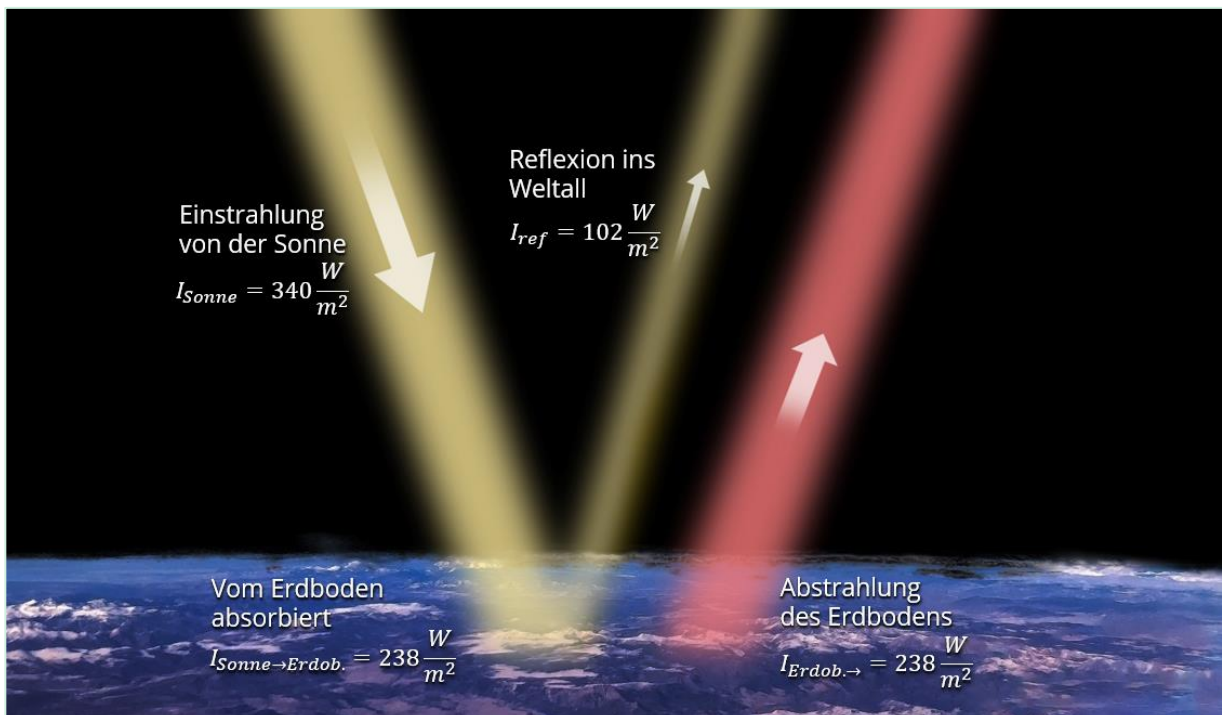


Abbildung 4 - Strahlungsbilanz einer Felsenerde ohne Atmosphäre (Credits: Strähle, Hohmann)

Änderungen in der Intensität der Sonneneinstrahlung $I_{\text{Sonne} \rightarrow}$ oder Änderungen in der Albedo α wirken sich also immer direkt auf die Temperatur der Erde aus. Verringert sich die Albedo der Erde, beispielsweise durch das Abschmelzen von Eisflächen, so erhöht sich die Temperatur der Erde so lange, bis das Strahlungsgleichgewicht bei einer neuen und höheren Gleichgewichtstemperatur wiederhergestellt ist.

¹ Zur Erinnerung: 0 K entsprechen einer Temperatur $-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Aktivitäten

Aktivität 1 – Die Erde, ein strahlender Planet

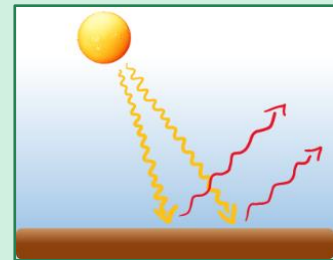


Cecilia Scorza und
Moritz Strähle

Können wir die Wärmestrahlung der Erde sichtbar machen?

Hintergrund:

Der Energietransport von der Sonne zur Erde findet über elektromagnetische Wellen statt. Der größte Anteil der Sonnenstrahlung besteht aus kurzwelliger elektromagnetischer Wellen (*das für uns sichtbare Licht*), die fast ungehindert von der Atmosphäre den Erdboden erreichen, wo sie dann zu einem großen Teil absorbiert werden. Der Erdboden strahlt diese erhaltene Sonnenenergie dann als Wärmestrahlung in Form von *langwelliger Infrarotstrahlung* in Richtung Weltall ab. Insgesamt nimmt die Erde soviel Sonnenenergie auf, wie sie als Wärmestrahlung ins Weltall abgibt – sie befindet sich im *Strahlungsgleichgewicht*. Die Wärmestrahlung der Erde ist für uns unsichtbar. Kann man sie sichtbar machen und erforschen?



Kurzwellige Sonnenstrahlung (gelb) und langwellige Infrarotstrahlung (rot). (Credits: Scorza, Strähle)

Materialien:

- ✓ Wärmebildkamera



Durchführung:

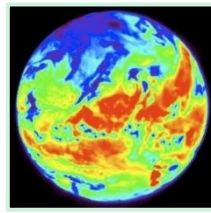
- Nicht nur die Erde, sondern alle Körper strahlen Wärmestrahlung ab! Hierbei gilt: Je wärmer ein Körper ist, umso intensiver ist diese. Beobachte mit der Wärmebildkamera Menschen ohne und mit Brille. Was kannst du beobachten? Welche Stellen im Gesicht sind wärmer, welche kälter?
- Wärmestrahlung kann man auch spüren! Fühle vorsichtig neben einer Tasse mit warmem Tee oder einen anderen heißen Körper; beobachte auch mit der Wärmebildkamera.
- Reibe deine Handflächen fünf Sekunden lang kräftig aneinander und drücke sie danach fünf Sekunden lang fest auf den Tisch. Betrachte die Auflagestelle nach dem Entfernen der Hände vom Tisch mit der Wärmebildkamera. Erkläre wie das Bild zustande kommt und auch warum es wieder verschwindet. Reibe den Boden mit deinen Füßen. Was siehst du?
- ? Stelle eine Verbindung zwischen dem Verblassen deines Handabdrucks und der strahlenden Erdoberfläche her. Warum kühlt der Erdboden nicht auch immer mehr ab?
- ? Betrachte die folgenden Bilder a) der Erde und b) der Sonne. Kannst du erkennen, was in Bild c) abgebildet ist?



a) Erde



b) Sonne



c) ?

Aktivität 2 – Strahlungsdurchlässigkeit verschiedener Materialien

Welche Materialien sind durchlässig für sichtbares Licht, welche für die Infrarotstrahlung?

Hintergrund:

Sichtbares Licht und Infrarotstrahlung haben verschiedene Eigenschaften. Manche Materialien sind durchlässig für Infrarotstrahlung (IR-Strahlung) nicht aber für sichtbares Licht. Andere Materialien absorbieren hingegen Infrarotstrahlung (fangen sie also auf) und lassen sichtbares Licht ungehindert hindurch. Wir erkunden selbst diese Eigenschaften.



Materialien:

- ✓ Wärmebildkamera
- ✓ Schwarze Mülltüte, Papier, luftgefüllter Ballon, wassergefüllter Ballon
- ✓ Petrischale aus Glas



Verschiedene Materialien zur Erforschung der IR-Strahlung

→ Untersuche mit deiner Hand als Infrarotstrahler und deinen Augen bzw. der Wärmebildkamera die Durchlässigkeit verschiedener Materialien und ergänze die Tabelle:

Material	Durchlässig für IR-Strahlung	Durchlässig für sichtbares Licht
Glas		
schwarze Tüte		
Papier		
luftgefüllter Ballon		
wassergefüllter Ballon		
Schulbuch		
Frischhaltefolie		

? Die Treibhausgase in der Atmosphäre lassen sichtbares Licht beinahe ungehindert hindurch, absorbieren aber Infrarotstrahlung. Welches der untersuchten Materialien weist ebenfalls diese Eigenschaften auf?

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/Kipppunkte_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.

