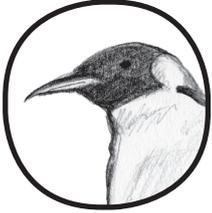


Chat



Ja, ich steh auf Eisbohrkerne. Was man da alles rauslesen kann.

Wow, die Forscher   haben sich ja mächtig reingehängt die letzten Jahre. Und wie viele Methoden sie entwickelt haben...

Hey, ich habe eine Idee. Wir könnten ja einfach alles weiß anmalen, vielleicht wird's dann kühler?

Hab's Opa erklärt. Es wurde schon öfters wärmer, aber noch nie so schnell. Opa sagt, das ist mein Problem. Er lebt im Moment.

Naja, vielleicht gibt's ja noch mehr so verrückte „Klimareparaturideen“  – hören wir uns mal um!

Verrückte Idee, da sind wir lange dran. Für meine Tarnung wär's spitze.





065 Geoengineering

Kann man das Klima „reparieren“?

Wie funktioniert der Kohlenstoffkreislauf?

Gibt es Ansätze, um der Atmosphäre das CO_2 zu entziehen?

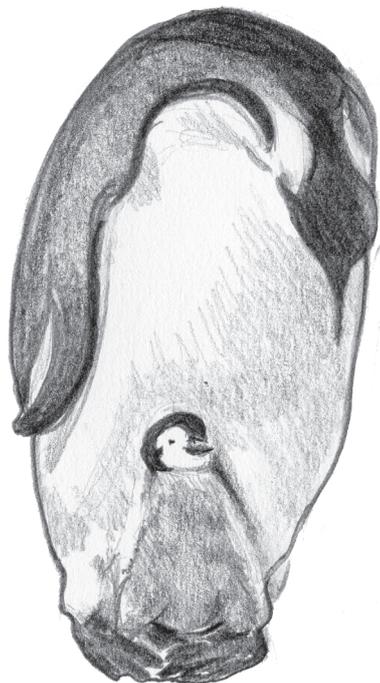
Welche Ideen gibt es, um die Sonneneinstrahlung zu verringern?

Welche Probleme können sich mit den verschiedenen Möglichkeiten ergeben?

Können wir das Klima reparieren?

Einige Naturwissenschaftler und Ingenieure haben angesichts des schnellen Anstiegs der CO_2 -Konzentration schon vor Jahren damit begonnen, sich zu überlegen, mit welchen Methoden man den CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre aktiv senken könnte. Offensichtlich sind sie der Überzeugung, dass die von Politikern und der Gesellschaft – damit sind wir alle gemeint – geplanten und versprochenen Einsparungen nicht reichen werden. Anfangs wurden die Methoden belächelt, mittlerweile wird jedoch immer mehr in diese Richtung geforscht. Es liegen auch schon erste Ideen auf dem Tisch.

Mit künstlichen „Bäumen“ soll CO_2 aus der Atmosphäre gesaugt werden. Oder unsere Lufthülle wird „absichtlich“ verschmutzt, damit weniger Sonnenlicht auf die Erdoberfläche gelangt. Diese Methoden sind sehr teuer und wir wissen nicht, wie groß ihr Nutzen sein wird und welche unerwünschten Nebenwirkungen und Risiken sie für uns und für das Leben auf der Erde haben könnten. Bei einigen Methoden ist es fraglich, ob die Wirkung bei Bedarf wieder rückgängig gemacht werden könnte.



Können wir das Klima reparieren?

Verrückt, verwegen, teuer, kühn – und mitunter gefährlich. Das sind die Rückmeldungen, die vielfach auf die Bestrebungen von Wissenschaftlern und Ingenieuren, die sich mit Geoengineering beschäftigen, zu hören sind.

Generell gibt es beim Geoengineering zwei Strömungen. Die eine Richtung will den CO₂-Gehalt der Atmosphäre aktiv senken, die andere will die Sonneneinstrahlung reduzieren.

CO₂-Gehalt senken

Künstliche „Bäume“: Technische Einrichtungen sollen aktiv CO₂ aus der Luft filtern.

Phytoplankton züchten: Im Südpolarmeer gibt es nährstoffarme Gebiete. Diese sollen mit Eisen gedüngt werden, damit Phytoplankton wachsen kann und CO₂ in Form von Kalk (CaCO₃) in seine Schalen einbaut.

Sonneneinstrahlung reduzieren

Erde beschatten: Ähnlich wie bei großen Vulkanausbrüchen in der Vergangenheit sollen riesige Mengen an kleinen Partikeln in die Stratosphäre (20-25 km Höhe) verteilt werden, damit weniger Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche durchdringt.

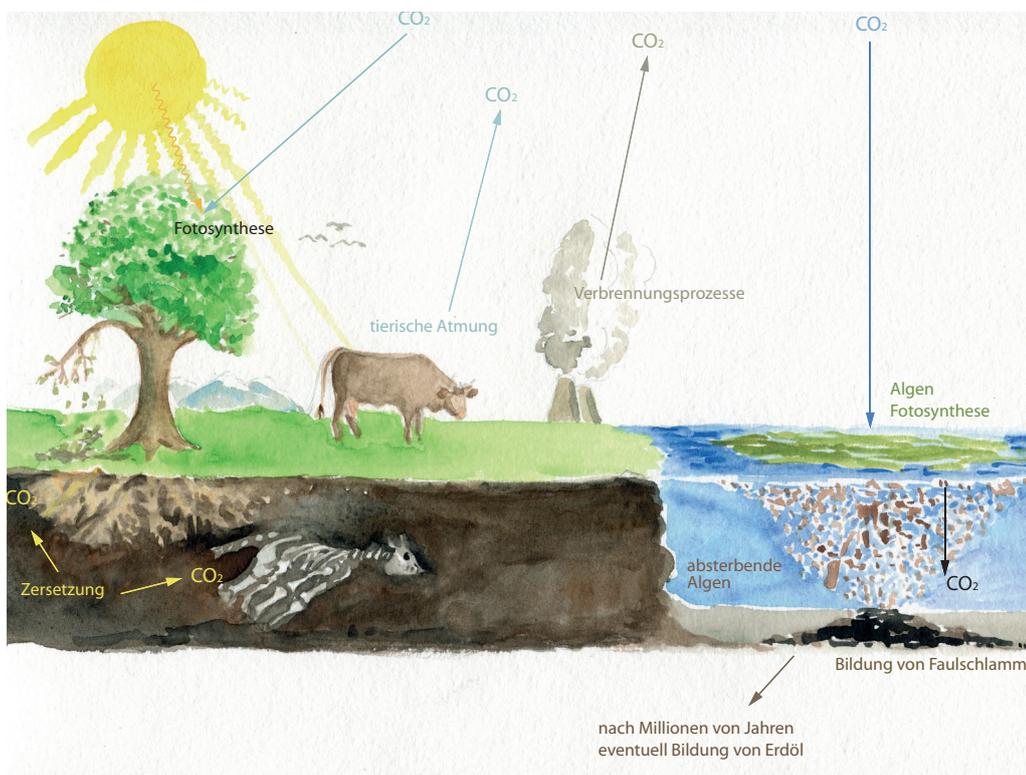
Spiegelnde Flächen: Riesige Spiegel im All oder mehr spiegelnde Oberflächen auf der Erde sollen die Sonnenstrahlen direkt in den Weltraum reflektieren.

Der Kohlenstoff im Kreislauf

Die C-Atome unseres Planeten sind die Tausendsassas unter Ihresgleichen. Sie sind in zahlreichen Verbindungen anzutreffen – im Calciumcarbonat (CaCO_3) der Kalkgesteine und der Schalen von Lebewesen, in den komplexen Molekülen des Lebens – ob tot oder lebendig – und in der Atmosphäre, wo sie im CO_2 oder im CH_4 ihr Dasein fristen.

Das CO_2 dient dabei sozusagen als Vermittler zwischen der belebten und der unbelebten Natur. Pflanzen nehmen das Gas auf und bilden daraus im Rahmen der Fotosynthese mit Hilfe von Licht und Wasser Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Tiere fressen diese neu entstandene organische Substanz, verbrennen sie und atmen wiederum CO_2 aus. Das wäre die Basis des natürlichen Gleichgewichts. Einzeller mit Kalkschalen nehmen CO_2 auf und wandeln es in Kalk um. Ebenso nehmen Korallen CO_2 auf und bauen daraus ihr Kalkskelett.

Für das Klima ist entscheidend, in welchen Bindungen der Kohlenstoff vorkommt. Ist zu viel im Gestein, im Erdöl, in den Kalkschalen von Einzellern, wie Foraminiferen, oder im Kalkskelett von Korallen gebunden, dann wird es eisig auf unserem Planeten. Ist zu viel Kohlenstoff in Form von CO_2 oder CH_4 in der Atmosphäre, wird es zu heiß. Es kommt also auf die richtige Dosis an. Im Zuge der industriellen Revolution haben wir damit begonnen, Energie durch Verbrennung von fossil gespeichertem Kohlenstoff – in Form von Kohle, Gas und Öl – zu gewinnen. Dadurch sind Unmengen von CO_2 in die Atmosphäre gelangt.



Info

Kohlenstoffkreislauf
Ob in Tieren, Pflanzen, in der Luft, am Meeresboden, in Kohle- und Erdöllagerstätten oder gebunden im Gestein, C-Atome sind überall anzutreffen, ihr Kreislauf bestimmt nicht nur die Temperatur der Atmosphäre.

Können wir das Klima reparieren?

CO₂ zu Kalkgestein

In Island laufen Pilotprojekte, deren Ziel es ist, das in Kohlekraftwerken entstandene CO₂ in bestimmte Gesteinsschichten zu pumpen. Dort wird der Kohlenstoff über chemische Reaktionen in harmlosem Kalkgestein (CaCO₃) gebunden. Dies ist eine Möglichkeit, CO₂ abzuscheiden und in der Tiefe zu speichern. Das Problem dabei ist, nicht alle Regionen der Erde verfügen direkt neben ihren Kohlekraftwerken über die geeigneten Gesteinsschichten.

Künstliche „Bäume“

Ebenfalls erforscht werden technische Einrichtungen, die in der Lage sind, CO₂ aktiv aus der Luft zu filtern. Die Filterung ist jedoch energieaufwändig und es ist noch unklar, wohin man mit dem gewonnenen CO₂ soll. Zudem gibt es bereits Wunderwerke der Natur, wie natürliche Bäume, man könnte diese einfach stehen lassen.

Plankton züchten

Das Südpolarmeer hat Bereiche, die nährstoffarm sind, und deshalb kaum Lebewesen beherbergen. Aber sie weisen Umgebungsbedingungen auf, unter denen Plankton prinzipiell gedeihen kann. Plankton bindet durch Fotosynthese CO₂ in seiner Biomasse und, im Falle von kalkschalenbildendem Phytoplankton (Haptophyta, Foraminiferen), baut es als Calciumcarbonat in seine Schale ein. Ein Teil des Planktons sinkt nach dem Absterben im Ozean ab, und wird dort in Meeressedimenten abgelagert. Der entsprechende Anteil an Biomasse und Calciumcarbonat, sowie der darin enthaltene Kohlenstoff, wird dem Kohlenstoffkreislauf der Erde entzogen, und führt zu einer Reduktion der Menge des verfügbaren CO₂ in der Atmosphäre. Phytoplankton braucht, wie wir Menschen auch, Eisen um zu gedeihen. Mehrere Forschungsprojekte im Zeitraum von 1995 bis 2012 untersuchten, inwieweit eine Düngung dieser Meeresbereiche mit Eisensulfat das Wachstum der Algen fördert. Das Risiko dabei ist, dass niemand weiß, welche Folgen die Düngung der Meere und die damit verbundene, massive Förderung eines Teilnehmers eines Ökosystems langfristig bedeutet – wer sagt den Kieselalgen, wann sie mit Wachstum und Vermehrung aufhören sollen?

Entzug von Biomasse

Eine Richtung zur Reduktion des CO₂-Gehalts befasst sich damit, Biomasse wie z.B. Ernteaabfälle im großen Stil in tiefen Meeresbereichen zu versenken. So wird die Zersetzung und die damit verbundene CO₂-Freisetzung durch Bakterien verhindert. Hier sind vor allem logistische Probleme, sowie der Grundsatz, die Ökosysteme der Meere nicht aktiv zu verändern, hinderlich.

Können wir das Klima reparieren?

Erde beschatten

Große Vulkane machen es vor. Sie schleudern ihre Asche in große Höhen, die Partikel sorgen für eine leichte Beschattung und es gelangt weniger Sonnenlicht bis zur Erdoberfläche. Der letzte Ausbruch, der diesbezüglich eine nennenswerte Abkühlung verursachte war der Pinatubo 1992. Der Ausbruch des Tambora 1815 war heftiger – ihm folgte 1816 das „Jahr ohne Sommer“ auf der Nordhalbkugel. Diese Beobachtungen führten Forscher wie David Keith zu Überlegungen, ob das die Menschheit nicht auch zustande bringt. Große Mengen an Partikeln werden in die Stratosphäre, in Höhen von 20-25 km, geschleudert. Dort verbleiben sie länger als in der darunter liegenden Troposphäre. Diskutiert wird dabei die Verwendung von Schwefelverbindungen, welche die Sonneneinstrahlung auf der Erde reduzieren sollen. Folgen? Unabsehbar. Kosten? Schwer einzuschätzen. Aufwand? Enorm.

Spiegelnde Oberflächen

Weiters diskutiert wird eine aktive Beschattung von Teilen der Erdoberfläche. Sei es durch spiegelnde Oberflächen im All oder durch den Einsatz von mehr reflektierenden Oberflächen an Land. Der technische Aufwand hierbei ist enorm. Zudem sind die Auswirkungen auf Windzirkulationen und Meeresströmungen nicht abschätzbar. Des Weiteren senkt eine Beschattung den CO₂-Gehalt nicht und wäre daher als Gegenmaßnahme zur CO₂-bedingten Versauerung der Meere völlig wirkungslos.

Keiner dieser Wege führt uns gefahrlos in die Zukunft. Die Suche nach technischen Lösungen aus der Klimakrise steckt in den Kinderschuhen. Zu groß sind noch der technische Aufwand und die damit verbundenen Kosten. Auch die Folgen und „Nebenwirkungen“ dieser aktiven Eingriffe sind noch nicht abschätzbar, aber vielleicht folgt sie ja bald, die einfache, praktikable und flächendeckend einsetzbare Lösung, das CO₂ in der Atmosphäre zu reduzieren.

Die Hoffnung stirbt bekanntlich zuletzt...

Schlusswort

„Nie haben die Massen nach Wahrheit gedürstet. Von den Tatsachen, die ihnen missfallen, wenden sie sich ab und ziehen es vor, den Irrtum zu vergöttern, wenn er sie zu verführen vermag. Wer sie zu täuschen versteht, wird leicht ihr Herr, wer sie aufzuklären sucht, stets ihr Opfer.“ (Gustave Le Bon)

Erderwärmung – eine hysterische Panikmache?

In den vergangenen Jahrzehnten haben unter anderem Mineralölkonzerne etliche Millionen dafür ausgegeben, Erkenntnisse von Forschern, die schon seit den 1950ern vor einer Erwärmung der Erde warnen, anzuzweifeln, die Folgen herunterzuspielen oder die Forscher öffentlich zu diskreditieren – und das ganz unverhohlen. Um das herauszufinden, braucht man gar keine geheimen Dokumente zu durchforsten, das lässt sich auf gängigen Enzyklopädien im Internet nachlesen und wird nicht einmal dementiert.

Die Lobbys waren erfolgreich. In weiten Teilen der Bevölkerung wird – trotz der gemessenen Temperaturen und Treibhausgaskonzentrationen, der geschmolzenen Eisflächen, der unzähligen Beobachtungen in der Natur und vielem anderem mehr – fleißig weitergezweifelt.

Die Erde erwärmt sich, darin sind sich fast alle Wissenschaftler einig. Wir uns auch. Und dennoch, würden wir mit unserer Einschätzung gerne falsch liegen! Es würde bedeuten, dass wir den Umstieg auf erneuerbare Energien und Effizienzsteigerungen umsonst gemacht hätten... Umsonst? Wäre es so schlimm, aus Kohle, Gas und Öl ausgestiegen und nicht mehr davon abhängig zu sein? Nichts wäre umsonst gewesen. Die Probleme hätten sich nur in Luft aufgelöst...

Unser Dank gilt allen, die uns bei der Realisierung dieser Mappe geholfen haben. Im Besonderen Dr. Christian Stepanek, Dr. Walter Geibert und Winfried Hebold-Heitz vom Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Eure genauen Analysen und fachlichen Kommentare haben diese Mappe erst ermöglicht! Ein ganz spezielles Danke geht an Andrea Nagl, für ihre – wie immer – genialen Illustrationen! Herzlichen Dank an die Direktoren der inatura Erlebnis Naturschau – Mag. Ruth Swoboda und Dr. Peter Schmid – für ihr grenzenloses Vertrauen in unsere Arbeit. Wir danken auch der Firma Jochum Druck in Schwarzach für die Geduld, die Beratung bei der Umsetzung und die Möglichkeit, mit umweltschonenden Materialien diese Mappe zu verwirklichen.

Verwendete und weiterführende Literatur

Allison I., Bindoff N.L., Bindshadler R.A., Cox P.M., de Noblet N., England M.H., Francis J.E., Gruber N., Haywood A.M., Karoly D.J., Kaser G., Le Quéré C., Lenton T.M., Mann M.E., McNeil B.I., Pitman A.J., Rahmstorf S., Rignot E., Schellnhuber H.J., Schneider S.H., Sherwood S.C., Somerville R.C.J., Steffen K., Steig E.J., Visbeck M. & Weaver A.J. (2009). *The Copenhagen Diagnosis. Updating the World of the Latest Climate Science*. Philadelphia: Elsevier.

APCC (2014). *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14)*. Austrian Panel on Climate Change (APCC). Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Berner U. & Streif H. (Hrsg.) (2004). *Klimafakten: der Rückblick - ein Schlüssel für die Zukunft* (4. Auflage). Stuttgart: Schweizerbart.

Böhm R. (2008). *Heisse Luft: Reizwort Klimawandel: Fakten, Ängste, Geschäfte*. Wien-Klosterneuburg: Edition Va Bene.

Eitzinger J., Kersebaum K.C. & Formayer H. (2009). *Landwirtschaft im Klimawandel: Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa*. Clenze: Agrimedia.

Essl F., Lexer M.J. & Seidl R. (2013). *Wälder: Anbaugrenzen, Klimaextreme, Parasiten und Störungen*. In F. Essl und W. Rabitsch (Hrsg.), *Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa* (S. 179-192). Heidelberg, Berlin: Springer Spektrum Verlag.

Evans D.A., Beukes N.J. & Kirschvink J.L. (1997). *Low-latitude glaciation in the Palaeoproterozoic era*. *Nature* 386, 262 – 266.

Friedrich O., Erbacher J., Moriya K., Wilson P.A. & Kuhnert H. (2008). *Warm saline intermediate waters in the Cretaceous tropical Atlantic Ocean*, *Nat. Geosc.*, 1, 453-457.

Fritsche U.R. (2007). *Treibhausgasemissionen und Vermeidungskosten der nuklearen, fossilen und erneuerbaren Strombereitstellung*. Öko-Institut, Büro Darmstadt.

Fuhrer J. (2003). *Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1), 1-20. 108.

Gabriel D. (2016). *Aktueller Stand der Wissenschaft zum Thema Klimawandel und ein Vorschlag zur didaktischen Umsetzung im Unterricht*, Diplomarbeit, Universität Innsbruck. 116 S.

Graßl H. (2005). *Das Klima der Erde und seine Änderungen*. In Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.), *Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten?* (S. 18-23). München: pg Verlag München.

Hain M.P., Sigal D.M. & Haug G.H. (2014). *8.18 – The biological Pump in the Past*. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Treatise on Geochemistry (Second Edition)*, 2014, Pages 485-517.

Hansen J.E. (2005). *A Slippery Slope: How Much Global Warming Constitutes “Dangerous Anthropogenic Interference”?* In *Climatic Change*, Volume 68, Number 3, Page 269.

Hartmann J., West A.J., Renforth P., Köhler P., De La Rocha C.L., Wolf-Gladrow D.A., Dürr H.H. & Scheffran J. (2013). *Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification*, *Rev. Geophys.*, 51, 113–149, doi:10.1002/rog.20004.

Hulme M. & Jones P.D. (1994). *Global Climate Change in the instrumental period*, *Environmental Pollution*, 83, 23-36.

IPCC (2007). Häufig gestellte Fragen und Antworten. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor & H.L. Miller (Hrsg.), *Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen*, Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), Cambridge, New York: Cambridge University Press.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, New York: Cambridge University Press.

IPCC (2014). *Klimaänderung 2014: Synthesebericht*. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri & L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

Klein A. (2007). *Klimawandel und Tourismus in der Europäischen Union: Folgen für den Wintersport- und Sommertourismus*. Saarbrücken: Verlag Dr. Müller.

Köhler P., Hartmann J. & Wolf-Gladrow D.A. (2010). Geoengineering potential of artificially enhanced silicate weathering of olivine, *PNAS*, 107, 20228-20233, doi: 10.1073/pnas.1000545107. S. 6.

Latif M. (2009). *Klimawandel und Klimadynamik*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Latif M. (2012). *Globale Erwärmung*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Niebert K. (2010). *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.

Pollard R.T., Salter I., Sanders R.J. et al. (2009). Southern Ocean deep-water carbon export enhanced by natural iron fertilization, *Nature* 457, 577-580, doi:10.1038/nature07716.

Rabitsch W. & Essl F. (2013). Änderungen im globalen Klimasystem mit Auswirkungen auf Mitteleuropa. In F. Essl und W. Rabitsch (Hrsg.), *Biodiversität und Klimawandel – Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa* (S. 147-153). Heidelberg, Berlin: Springer Spektrum Verlag.

Rahmstorf S. (2005). Die Klimaskeptiker. In Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.), *Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten?* (S. 76-84). München: pg Verlag München. 112.

Rahmstorf S. & Schellnhuber H.J. (2007). *Der Klimawandel: Diagnose, Prognose, Therapie* (7. Auflage). München: Verlag C.G.Beck oHG.

Ruddiman W. F. (2008). *Earth's Climate, Past and Future* (2nd edition), W.H. Freeman, New York, 388 pp.

Schuler S. (2005). Umweltwissen als subjektive Theorie: Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum Klimawandel. In M. Schrenk (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ergebnisse empirischer Untersuchungen* (S. 97-112). Hamburg: Kovac.

Schuler S. (2011). *Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels: Erhebung und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive*. Bochum: Europäischer Universitätsverlag.

Smolka A. (2005). Klimaänderungen und Vulkanismus. In Münchner Rückversicherungs-Gesellschaft (Hrsg.), *Wetterkatastrophen und Klimawandel – Sind wir noch zu retten?* (S. 50-56). München: pg Verlag München.

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung globale Umweltveränderungen (WBGU) (Hrsg.) (2006). Die Zukunft der Ozeane: zu hoch, zu warm, zu sauer. Berlin. 114.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012). Geo-Engineering: wirksamer Klimaschutz oder Größenwahn? Methoden - Rechtliche Rahmenbedingungen – Umweltpolitische Forderungen. 48 S, Dessau.

Umweltbundesamt (2017). Anderl M., Burgstaller J., Gössl M., Haider S., Heller Ch., Ibesich N., Kuschel V., Lampert Ch., Neier H., Pazdernik K., Poupa St., Purzner M., Rigler E., Schieder W., Schneider J., Schodl B., Stix S., Storch A., Stranner G., Vogel J., Wiesenberger H., Winter R. & Zechmeister A. Klimaschutzbericht 2017. Reports, Bd. REP-0622. Umweltbundesamt, Wien.

Internetquellen:

Bayerisches Landesamt für Umwelt. CO₂-Rechner.
https://www.lfu.bayern.de/energie/co2_rechner/index.htm (Abgerufen am 05.03.2018)

NASA Earth Observatory. Global temperatures by Carlowicz M.
<https://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/decadaltemp.php?all=y>
(Abgerufen am 04.03.2018)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide – Recent global CO₂.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html> (Abgerufen am 12.09.2015)

Spratt R.M. & Lisiecki L.E. A Late Pleistocene sea level stack, *Clim. Past*, 12, 1079-1092.
<https://doi.org/10.5194/cp-12-1079-2016> (Abgerufen am 17.11.2017)

Stiftung Wissenschaft und Politik – Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit. (SWP). Herausforderung Klimawandel.
<http://www.swp-berlin.org/de/swp-themendossiers/klimapolitik.html> (Abgerufen am 10.11.2013)

The Columbia Electronic Encyclopedia, 6th ed, Columbia University Press.
<https://www.infoplease.com/encyclopedia/places/africa/african-physicalgeography/sahara/climate> (Abgerufen am 01.12.2017)

UNEP, n.d., Mato Grosso. Environmental Change Hotspots. Division of Early Warning and Assessment (DEWA). United Nations Environment Programme (UNEP).
<https://na.unep.net/atlas/webatlas.php?id=2358> (Abgerufen am 05.03.2018)

