Treibhausgas CO_2 und seine Rolle im Klimawandel: Von den Dinosauriern zu den neuesten Satellitenmessungen

Fortbildungsveranstaltung für Lehrerinnen und Lehrer,
15. Februar 2023, 16:00 – 18:00, online

Organisiert durch:
Claudia Lindner und Andreas Rienow
Geographisches Institut
Ruhr-Universität-Bochum

Michael Buchwitz und Maximilian Reuter
Institut für Umweltphysik (IUP)
Fachbereich 1 Physik u. Elektrotechnik
Universität Bremen

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Version 9-Feb-2023

Übersicht

- **Teil 1:** Einführender Vortrag mit Hintergrundinformationen zum Klimawandel und zu CO_2

- 2 Themenbereiche mit praktischen Übungen:

  - **Teil 2:** Was sagt uns der Zeitverlauf der atmosphärischen CO_2-Konzentration der letzten 450 Millionen Jahre?

  - **Teil 3:** CO_2-Messungen aus dem Weltraum: Wie geht das?

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Klimawandel: Einige Stichworte

Treibhausgas-Emissionen
Klimadaten
Treibhauseffekt
CO_2-Quellen
Fossile Brennstoffe
Essentielle Klimavariablen
CO_2-Senken
CO_2-Emissionen
N_2O-Emissionen
Klimamodelle
Klimaprojektionen
Methan-Emissionen
Kohlenstoffkreislauf
Sonnenstrahlung
Energiebedarf
Bevölkerungswachstum
Wärmestrahlung
Klimazonen
Ressourcenverbrauch
Klimaabkommen
Klimaschutz
Photosynthese
Erderwärmung
Energiewende
Emissionshandel
Fridays for Future
Meeresspiegelanstieg
Erneuerbare Energien
Wasserstoff
Gletscherschmelze
Energiesparen
Energiespeicher
Ernährung
Extemwetterzunahme
Kreislaufwirtschaft
CO_2 Preis
Malariaausbreitung
Überschwemmungen
Ressourceneffizienz
Ozeanversauerung
Vegetationsveränderungen
Verzicht
Dürren
Artensterben
Atomenergie
Wassermangel
Waldsterben
...

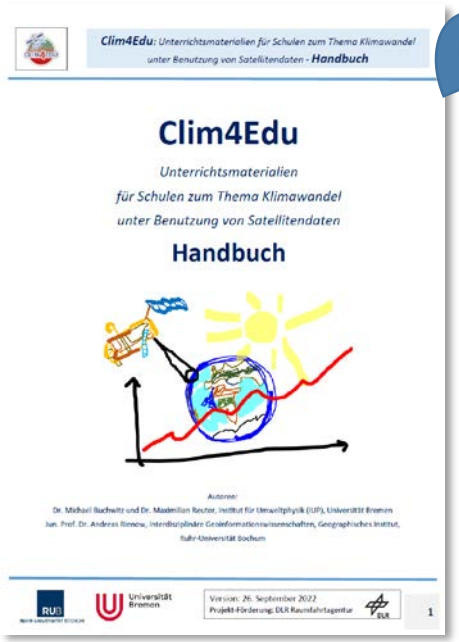
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

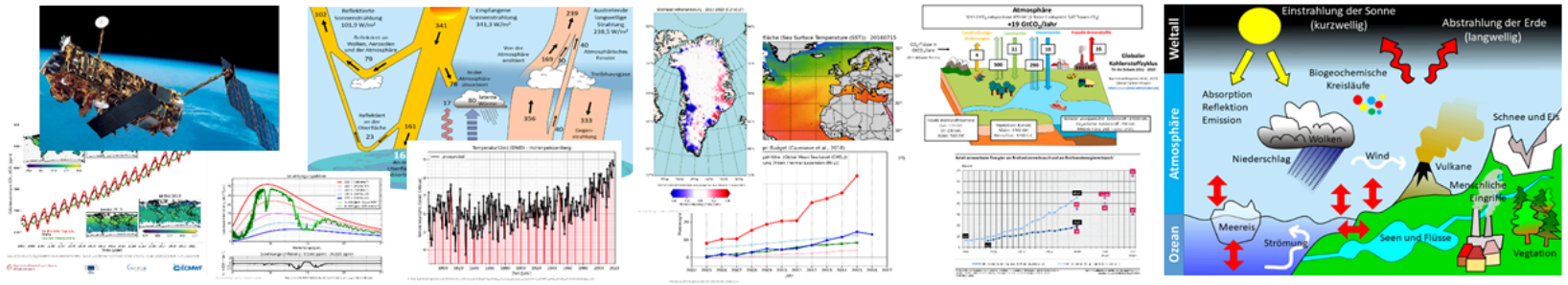
Projektförderung:
DLR

Clim4Edu: Handbuch, Videos & interaktive Unterrichtsmaterialien



- Hintergrund-informationen zum Klimawandel
- Literaturübersicht, Links zu Lehrmaterialien, …
- Übersicht Satellitenmessungen von „Essentiellen Klimavariablen“ (ECVs): CO_2, Methan, Meeresspiegel, Gletscher, Eisschilde, …
- Weiteres …

Clim4Edu: „Roter Faden“



CO_2 steigt an

- Beobachtungsdaten einschließlich globale CO_2-Satellitenmessungen
- Fossile Brennstoffe im Allgemeinen (einschließlich Methan, …)
- Treibhausgase
- Kohlenstoffkreislauf
- Wie misst man CO_2 aus dem Weltraum ?
- …

Temperatur steigt an

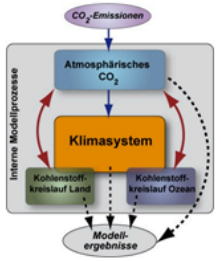
- Treibhauseffekt, Energiebilanz, Strahlung
- Temperaturzeitreihen und räumliche Verteilung
- Wetter und Klima
- Was zeigen die Daten für Deutschland?
- …
- **Andere Folgen:** Ozeanversauerung, …

Meeresspiegel steigt an & Weiteres

- Was zeigen Satellitenmessungen?
- Was trägt wieviel zum Meeresspiegel-Anstieg bei? (Grönland, Antarktis, Gletscher, …)
- Essentielle Klimavariablen: Was kann man alles aus dem Weltraum messen?
- …
- **Andere Folgen:**
  - Meereisabnahme, Wetterextreme, …

Zukunft ?

- Projektionen
- Klimamodelle
- …



Was tun ?

- Pariser Klimaabkommen
- Energiewende
- CO_2 Fußabdruck
- …

https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/Handbuch/

https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/interaktiv/

https://fis.rub.de/ Fernerkundung in Schulen

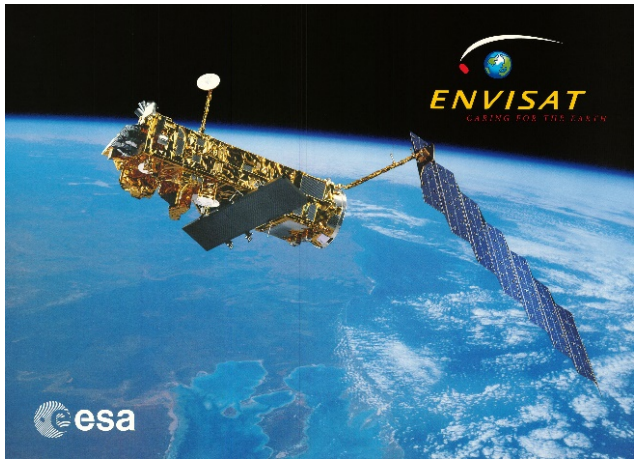
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

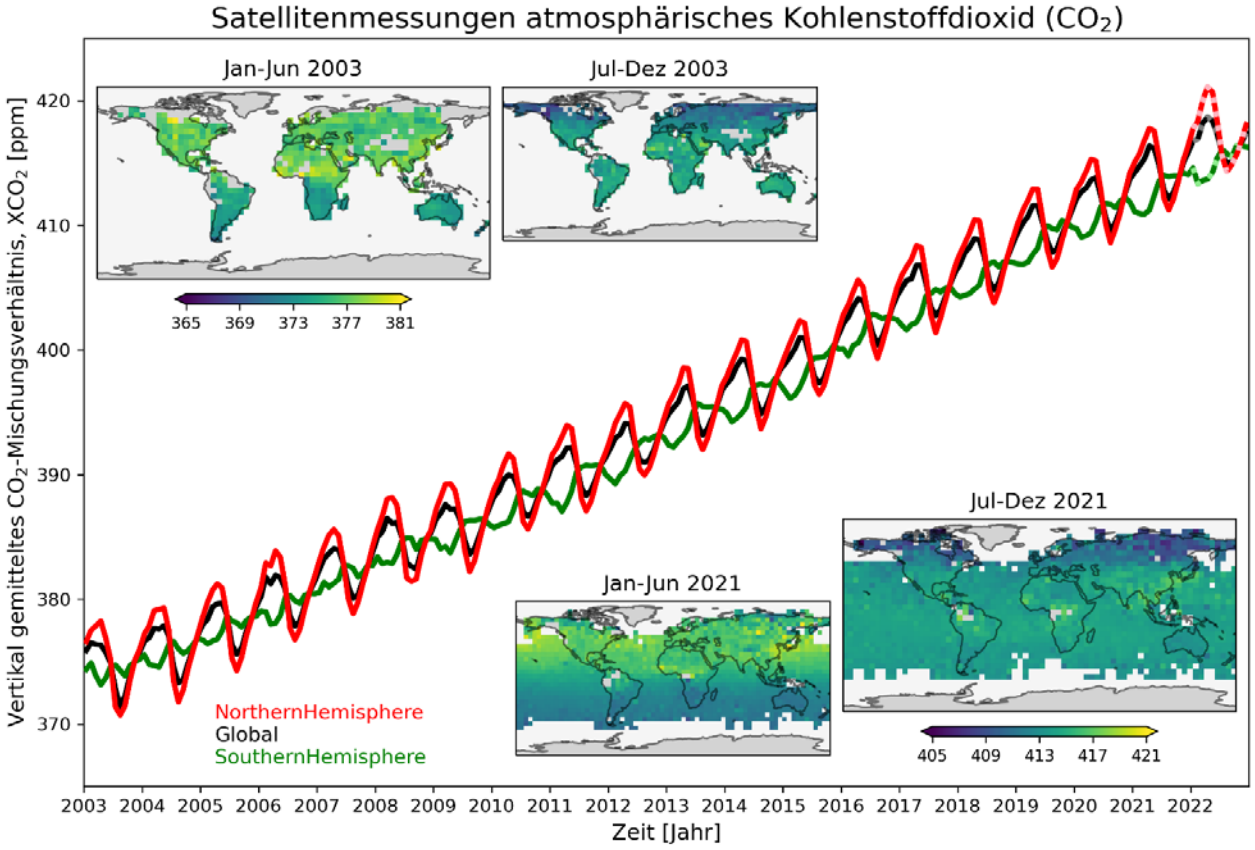
CLIM4EDU

Projektförderung: DLR

Was zeigen uns Satellitenbeobachtung des atmosphärischen CO_2 ?



- SCIAMACHY auf ENVISAT (2002-2012) – D (DLR), NL, BE
- GOSAT (seit 2009) – Japan (JAXA)
- OCO-2 (seit 2014) – USA (NASA)
- GOSAT-2 (seit 2018) – Japan (JAXA)
- …



CO_2 Mischungsverhältnis in ppm (*parts per million*)
= Anzahl der CO_2-Moleküle pro Millionen Luft-Moleküle (für trockene Luft)

- **Jahreszeitliche Schwankungen + Anstieg**
- **Beobachteter CO_2-Anstieg = Emissionen (Öl, Kohle, Erdgas, …) – Senken (Landpflanzen, Ozeane, …)**
- **Ungebremster CO_2-Anstieg** trotz Klimaabkommen (Kyoto, Paris, …), massivem Ausbau erneuerbarer Energien (Windkraftanlagen, Solaranlagen, …), etc.
- Grund: Energiesysteme basieren immer noch überwiegend auf **Verbrennung fossiler Brennstoffe**

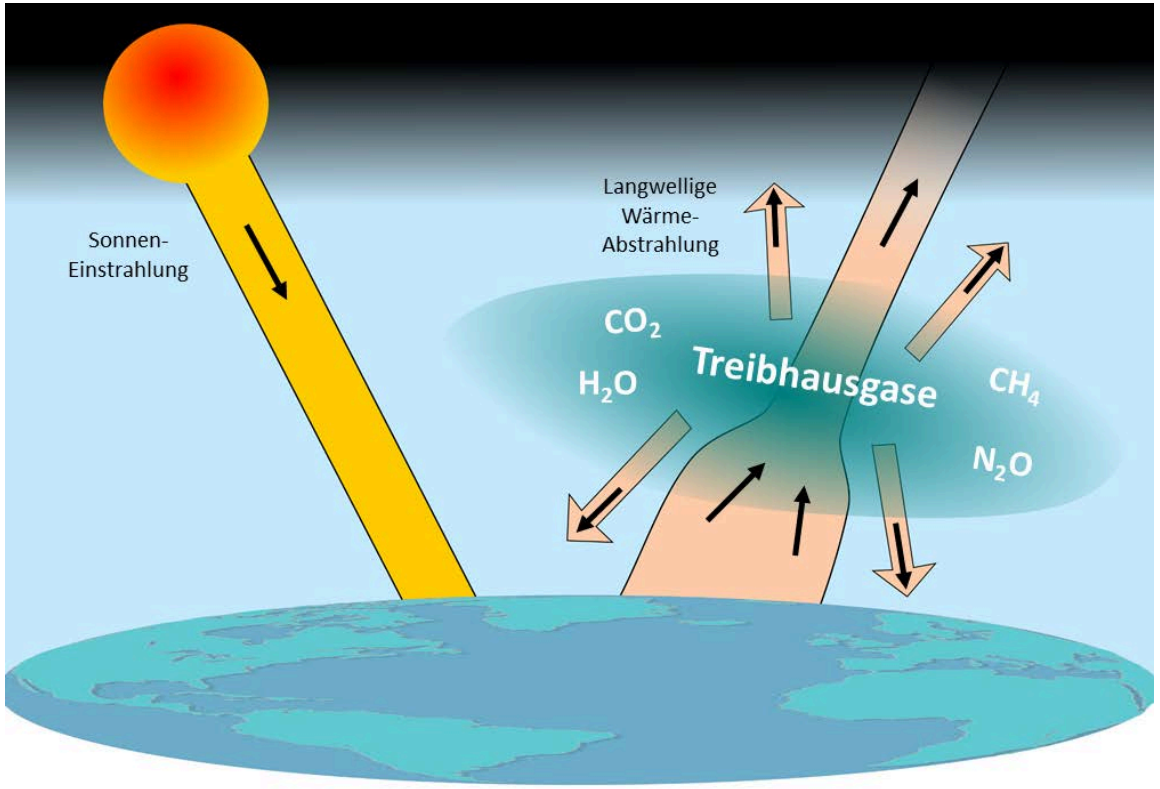
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Was ist der Treibhauseffekt und was sind Treibhausgase ?

Solar
(kurzwellig)
„Energie rein“



Wärmestrahlung /
Infrarot (langwellig)
„Energie raus“

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Treibhausgase absorbieren langwellige Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und sie „blockieren“ damit die Energieabstrahlung in den Weltraum. Treibhausgase re-emittieren diese absorbierte Wärmestrahlung in alle Richtungen - auch nach unten.

Diese „Rückstrahlung“ wärmt uns. Die Treibhausgasschicht wirkt wie eine zusätzliche Wärmequelle.

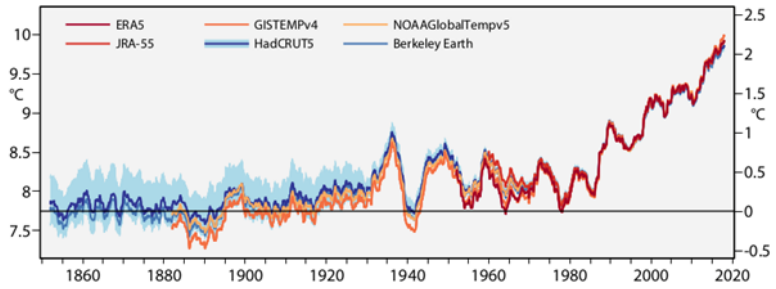
Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es 33 °C kälter (es wäre -18 °C statt +15 °C).
Wir brauchen also die Treibhausgase (Wasserdampf, CO_2, etc.) - nur nicht zu viele !

Kann man den erwarteten Temperaturanstieg schon beobachten ?

Temperatur-Anstieg:

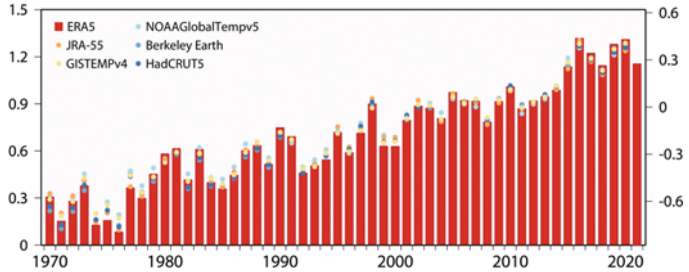
(a) **Temperatur** **Europa**

Temperaturänderung relativ zur Referenzperiode 1850-1900
Mittelwert über 60 Monate



(b) **Temperatur** **Global**

Referenzperioden: 1850-1900 (links) und 1991-2020 (rechts)
Jährliche Mittelwerte



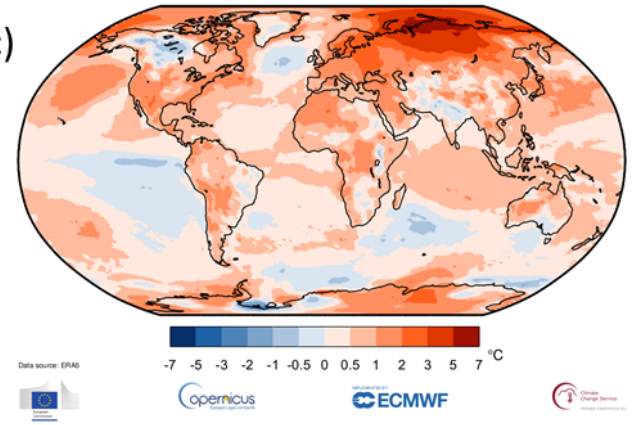
opernicus Climate Change Service

Temperaturanstieg 2016-2020 seit 1850-1900:

- **Global etwa +1,2°C**
- **Europa etwa +2,2°C**
- **Arktis etwa +3°C**

Temperaturdifferenz 2020 und 1981-2010

(c)

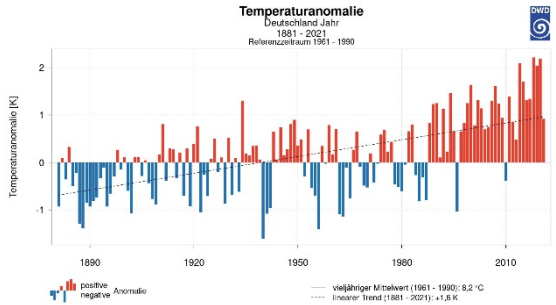


Quellen:

(a) https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature
(b) https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-y
(c) https://climate.copernicus.eu/copernicus-2020-warmest-year-rec

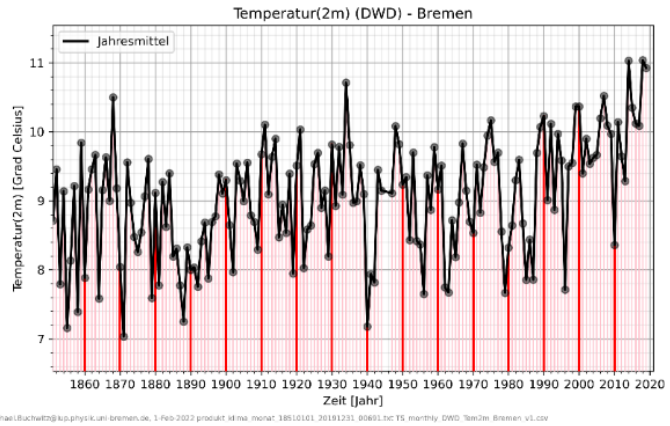
Deutschland

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Bremen (D)

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



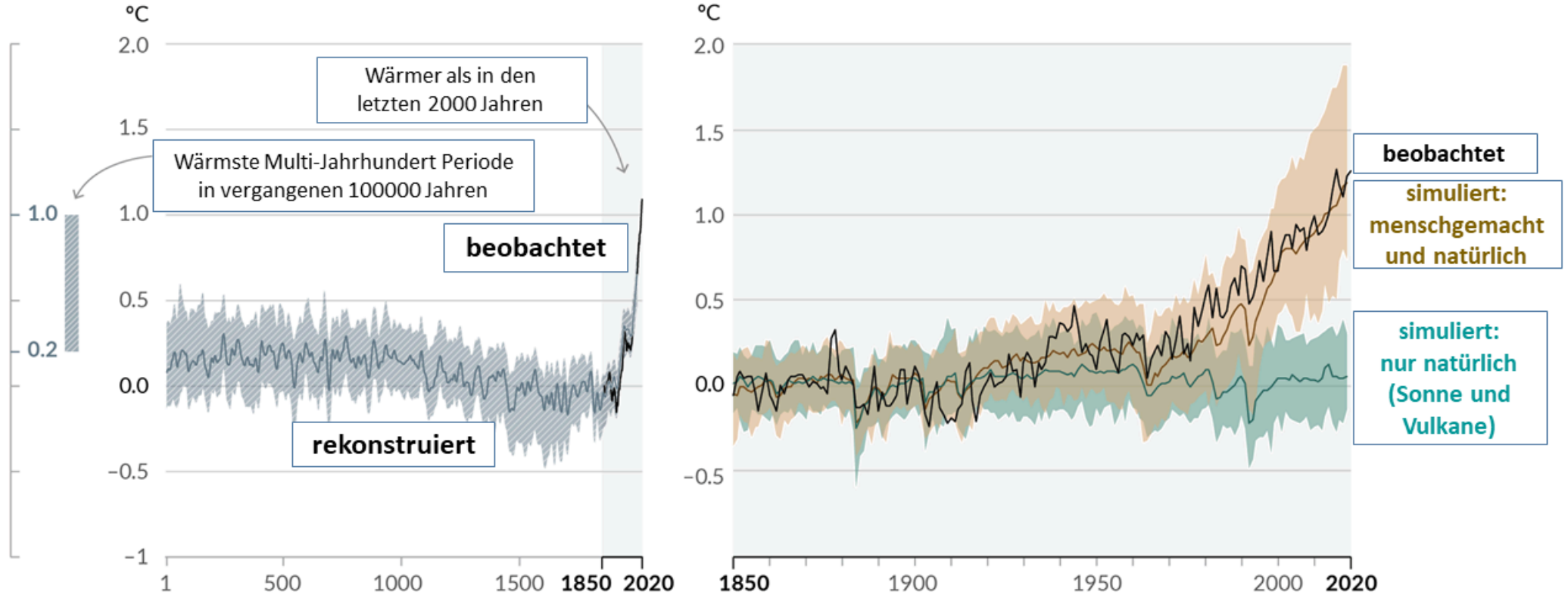
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Was verursacht den beobachteten Temperaturanstieg ?



Quelle: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1

Der beobachtete Temperaturanstieg kann nicht durch natürliche Effekte erklärt werden – **der Klimawandel ist** (überwiegend) **menschengemacht aufgrund der Verbrennung fossiler Brennstoffe !**

Anmerkung: Dies basiert auf früheren Arbeiten von Klaus Hasselmann, welcher hierfür den Physik Nobelpreis 2021 erhielt (zusammen mit 2 anderen Forschern)

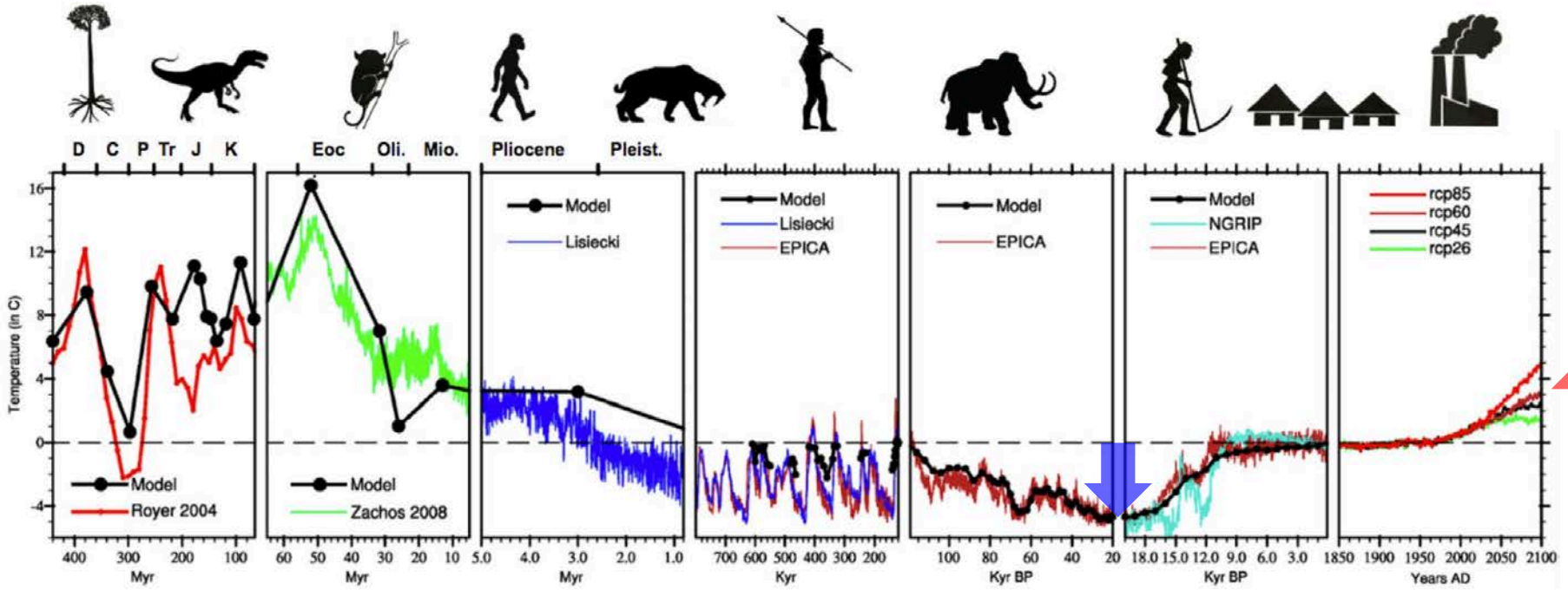
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Temperatur der letzten 450 Millionen Jahre + Projektionen bis 2100



Auf dem Weg in eine unbekannte **Heisszeit**

+4°C

0°C

-4°C

Global war es in der letzten Kaltzeit (Glazial, „Eiszeit“) „nur“ wenige Grad kälter als heute, aber große Teile Deutschlands waren von einer mehrere Kilometer dicken Eisschicht bedeckt

Jedes Grad Änderung der globalen Mitteltemperatur entspricht einer großen Veränderung und ist nicht zu vergleichen mit lokalen kurzfristigen Temperaturschwankungen

Eisbohrkerne:
NGRIP (Grönland), EPICA (Antarktis)

https://schoolsforfuture.net/m/slides/user_1/ff6b2bce4a024199106d_global-annual-mean-temperature-variation-of-the-Earth_P53161Z.png

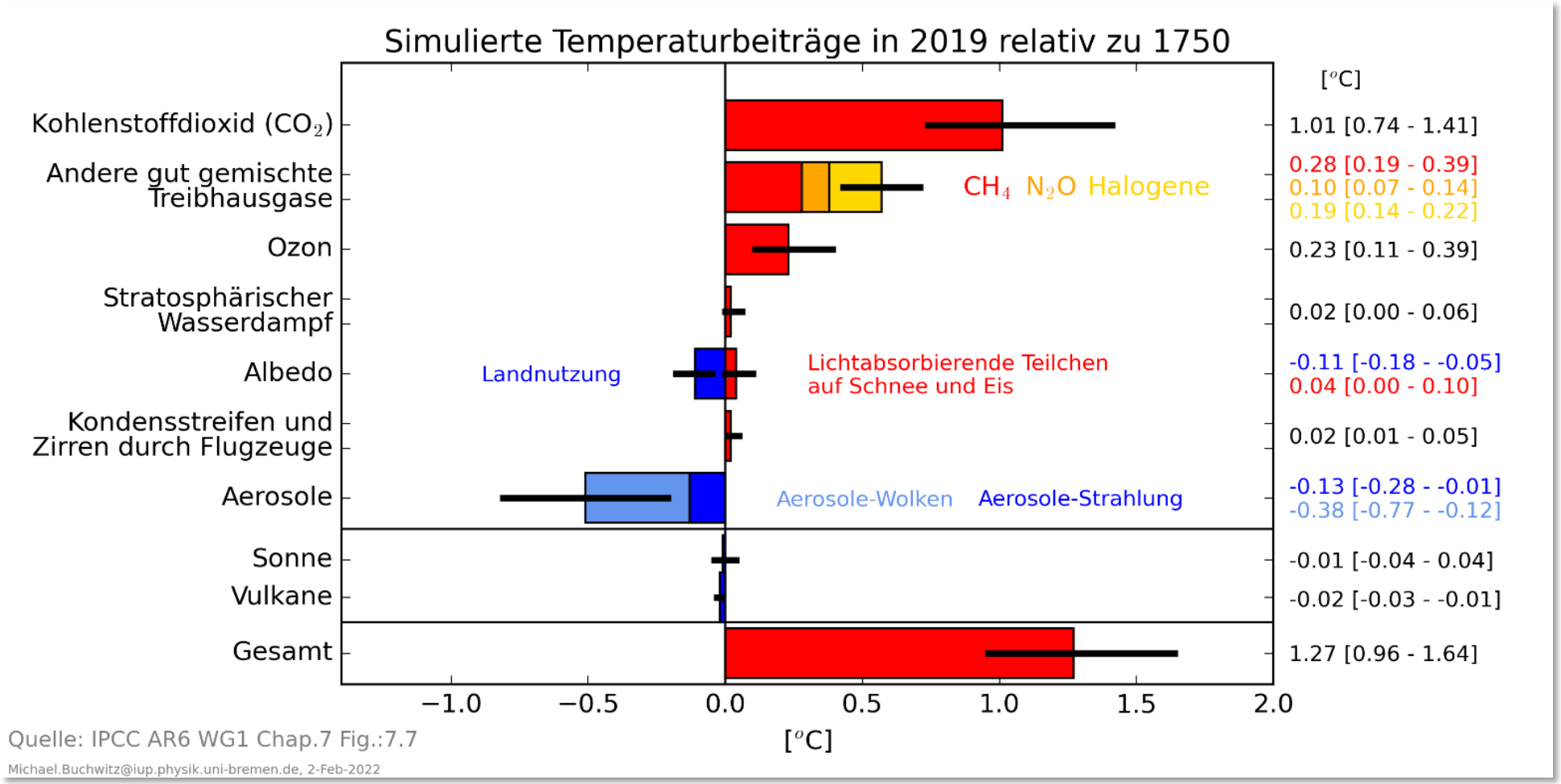
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Was trägt wieviel zum Temperaturanstieg bei ?



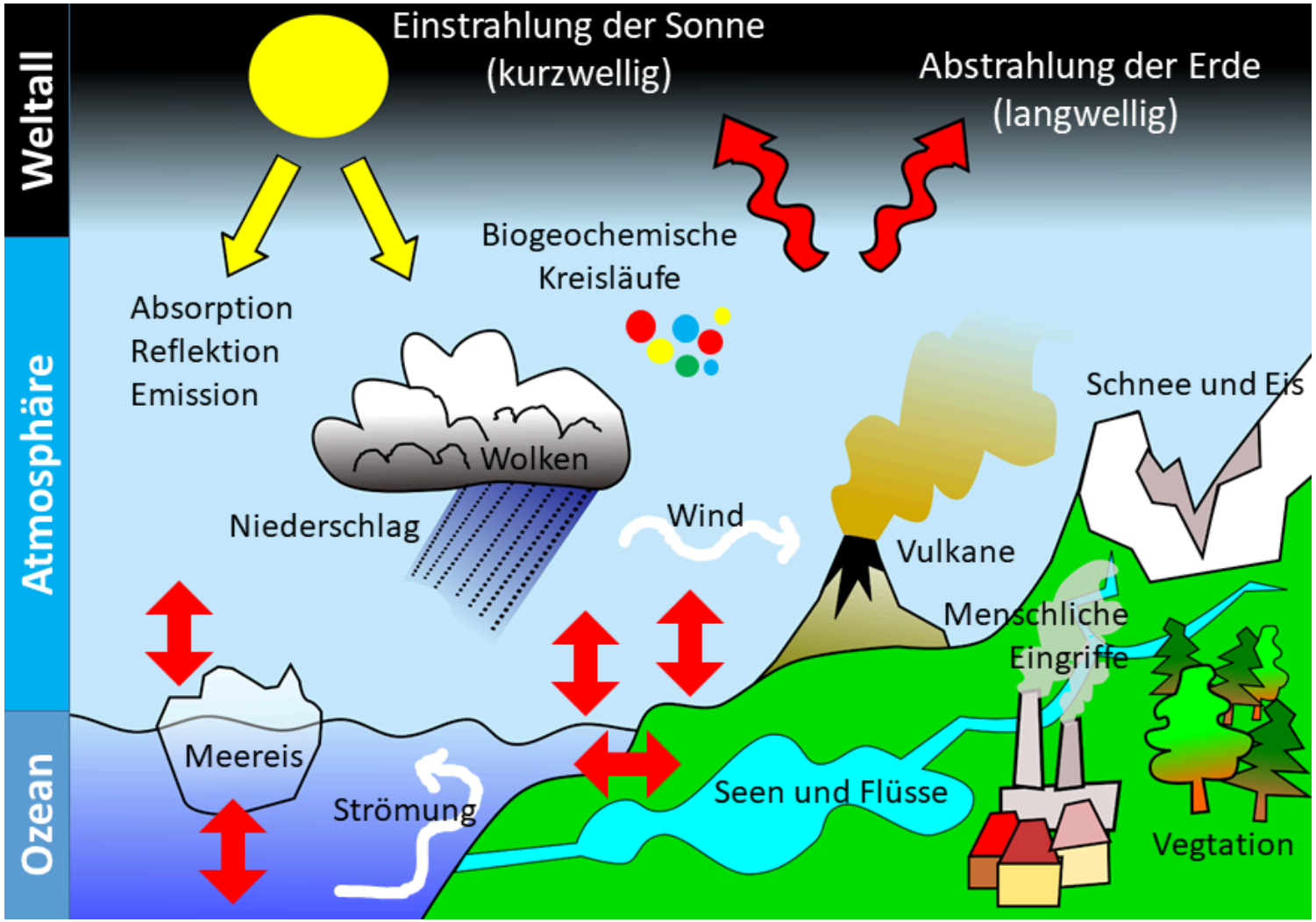
Wärmend: CO_2, Methan, andere Treibhausgase, …

Kühlend: Aerosole, bestimmte Bodenänderungen, …

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU
Projektförderung:
DLR

Alles hängt mit allem zusammen: Klimasystem Erde



„Störung des Systems“, z.B. durch **CO_2-Emissionen** aus der Verbrennung von Öl, Kohle und Erdgas

Änderungen von **Temperatur, Meeresspiegel, Vegetation, Niederschlag, Meereis, Strömungen, …**

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

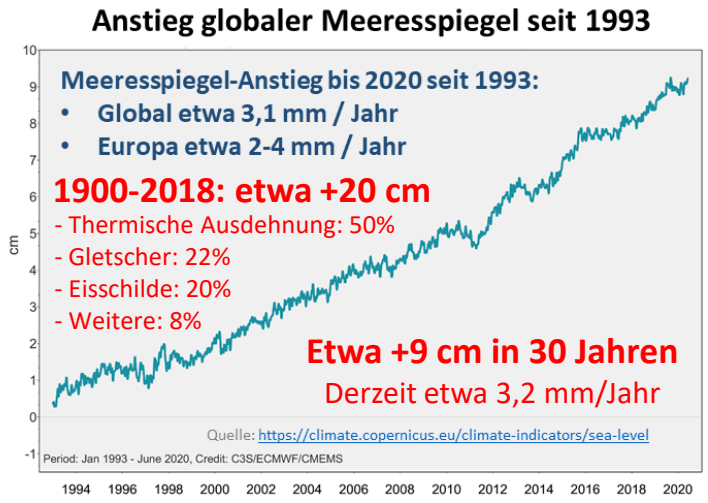
CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Kann man Folgen der globalen Erwärmung schon beobachten ?

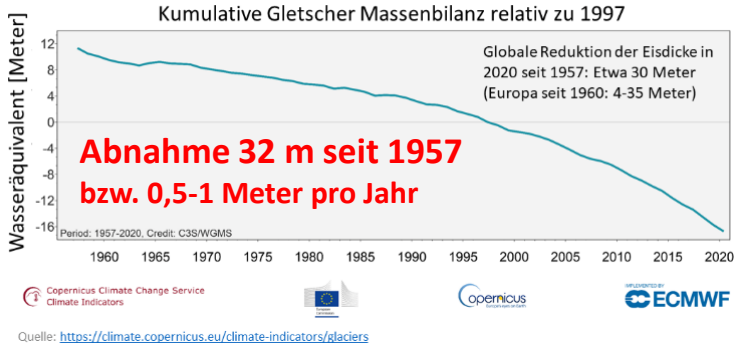
Meeresspiegelanstieg

Meeresspiegel-Anstieg:



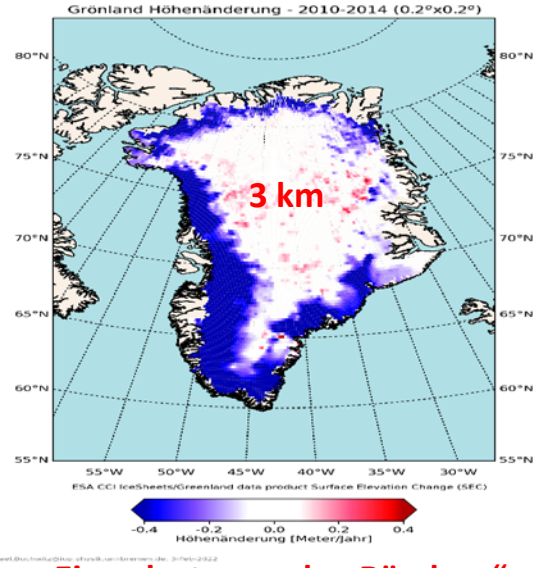
Gletscherschmelze

Massenbilanz der Gletscher (global):



Quelle: https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/glaciers

Eisschmelze Grönland



Eisverluste an „den Rändern“ von etwa 30 cm/Jahr

(Gesamtmasse entspricht 7 m Meeresspiegel)

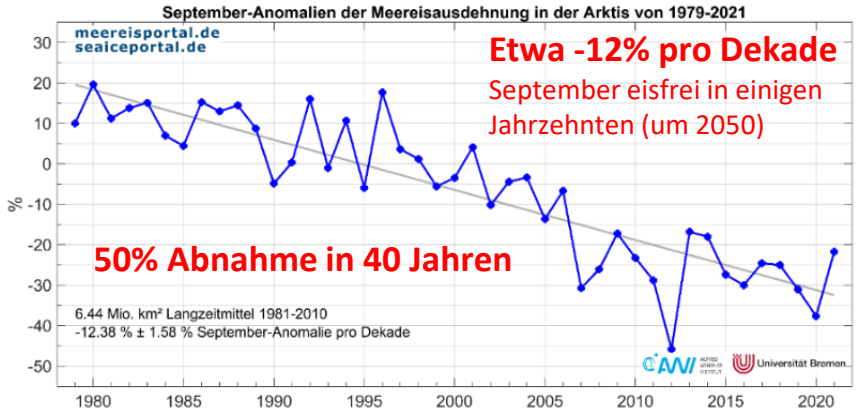
Eisschmelze Antarkis

Eisverlust 1992-2020 etwa 55% von Grönland

Also etwa 2670 Gt im Vergleich zu etwa 4890 Gt.

(Gesamtmasse entspricht 60 m Meeresspiegel)

Abnahme arktisches Meereis



- Extremwetterzunahme (Hitzewellen, Stürme, Dürren, Überschwemmungen, …)
- Verschiebung von Vegetationszonen
- Ernteausfälle
- Ausbreitung Dengue und Malaria
- …

Universität Bremen

Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB

Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:

DLR

Was wird befürchtet, wenn die Erwärmung weiter zunimmt ?

Es wird nicht alles schlechter werden. In einigen Regionen wird z.B. die Landwirtschaft ev. produktiver sein. Aber hier einige erwartete lokale negative Folgen (zusätzlich zum globalen Meeresspiegelanstieg etc.):

Mehr Hitzetage
Zu wenig Regen
Dürren
Ernteausfälle
…

Zu viel Regen
Überflutungen
…

Mehr Waldbrände
…

	1,5 °C	2 °C
Zunahme von Hitzetagen im Jahr[7]	Ca. Verdopplung (+ 7 Tage)	Ca. Vervierfachung (+ 20 Tage)
Häufigere Starkregenfälle an Land[8]	+ 17 %	+ 36 %
Menschen, die zusätzlich unter Wasserknappheit leiden[9]	+ 271 Mio.	+ 388 Mio.
Zunahme der geeigneten Gebiete für die Übertragung von Malaria*[10]	+ 10 %	+ 15 %
Vergrößerung der Waldbrand-flächen im Mittelmeerraum[11]	+ 41 %	+ 62 %
Insektenarten, deren Lebensraum sich mindestens halbiert[5]	6 %	18 %
Verlust der tropischen Korallenriffe[12]	- 70 bis 90 %	- 99 %

*im Vergleich zu 1971–81

Nelles und Serrer, 2021

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU
Projektförderung:
DLR

[1] https://www.spektrum.de/news/gibt-es-einen-neuen-jahrhundertsommer/1576400
[2] https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/koblenz/altenahr-nach-dem-hochwasser-100.html
[3] https://www.saechsische.de/katastrophen/waldbrand/waldbrand-nationalpark-saechsische-boehmische-schweiz-bilder-gehen-um-die-welt-5799409-plus.html

Klimawandel begrenzen ? Das Pariser Klimaabkommen

Ziel für den maximalen Anstieg der globale Mitteltemperatur:

< 2 °C, besser noch < 1,5 °C

Die Welt geht nicht unter bei +2 Grad aber jedes 0,1 Grad zählt, da Folgen der Klimaänderungen zunehmend unbeherrschbarer werden.

	1,5 °C	2 °C
Zunahme von Hitzetagen im Jahr[7]	Ca. Verdopplung (+ 7 Tage)	Ca. Vervierfachung (+ 20 Tage)
Häufigere Starkregenfälle an Land[8]	+ 17 %	+ 36 %
Menschen, die zusätzlich unter Wasserknappheit leiden[9]	+ 271 Mio.	+ 388 Mio.
Zunahme der geeigneten Gebiete für die Übertragung von Malaria*[10]	+ 10 %	+ 15 %
Vergrößerung der Waldbrand-flächen im Mittelmeerraum[11]	+ 41 %	+ 62 %
Insektenarten, deren Lebensraum sich mindestens halbiert[5]	6 %	18 %
Verlust der tropischen Korallenriffe[12]	- 70 bis 90 %	- 99 %

*im Vergleich zu 1971–81

Nelles und Serrer, 2021

Universität Bremen

Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB

Geographisches Institut

CLIM4EDU

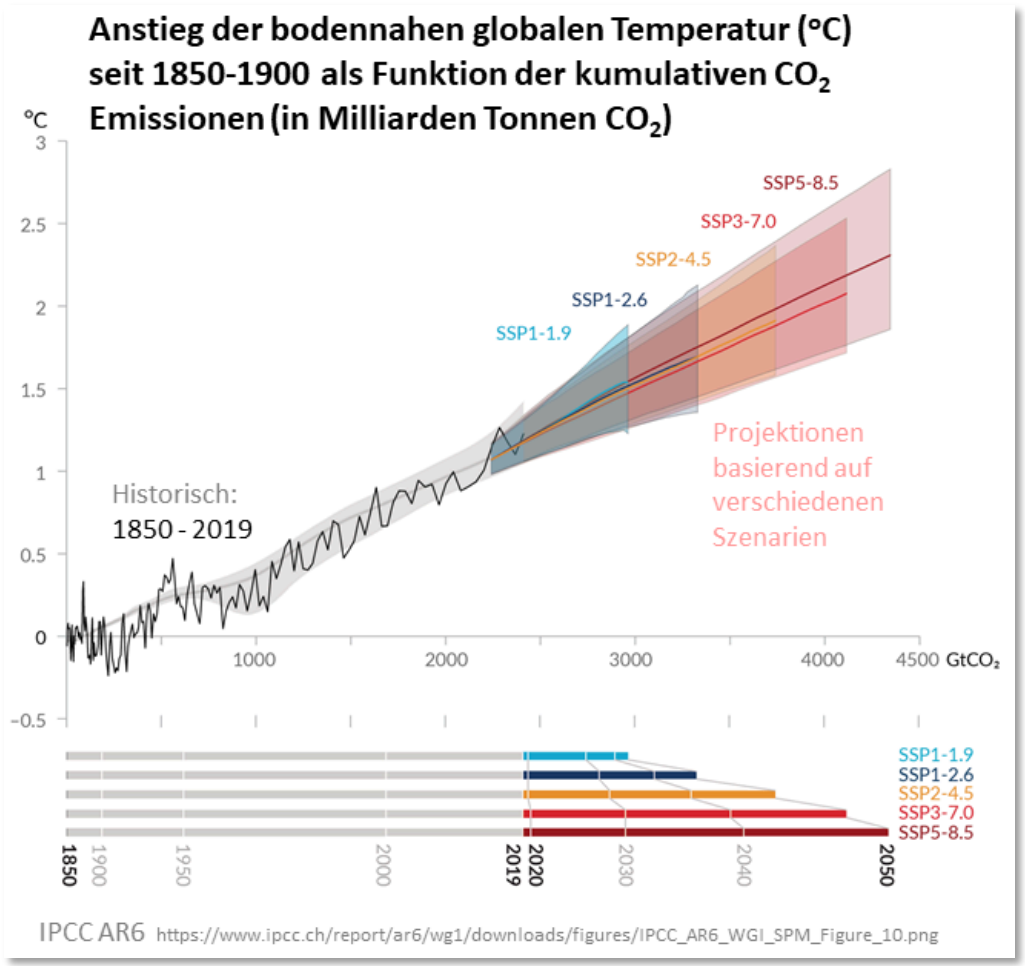
Projektförderung:

DLR

Wieviel emittiertes CO_2 ergibt welchen Temperaturanstieg ?

Die Erwärmung hängt (fast) nur davon ab, wieviel CO_2 bisher insgesamt emittiert wurde.

Wann und wo das CO_2 emittiert wurde, spielt (fast) keine Rolle.



1.2 °C ~2475

1.5 °C ~2900

2 °C ~3700

Eine bestimmte Erwärmung entspricht also einer bestimmten Gesamtmenge des emittierten CO_2.

Man kann daher recht genau vorhersagen, wieviel CO_2 noch emittiert werden darf, bis eine bestimmte Temperatur erreicht sein wird.

Universität Bremen

Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB

Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:

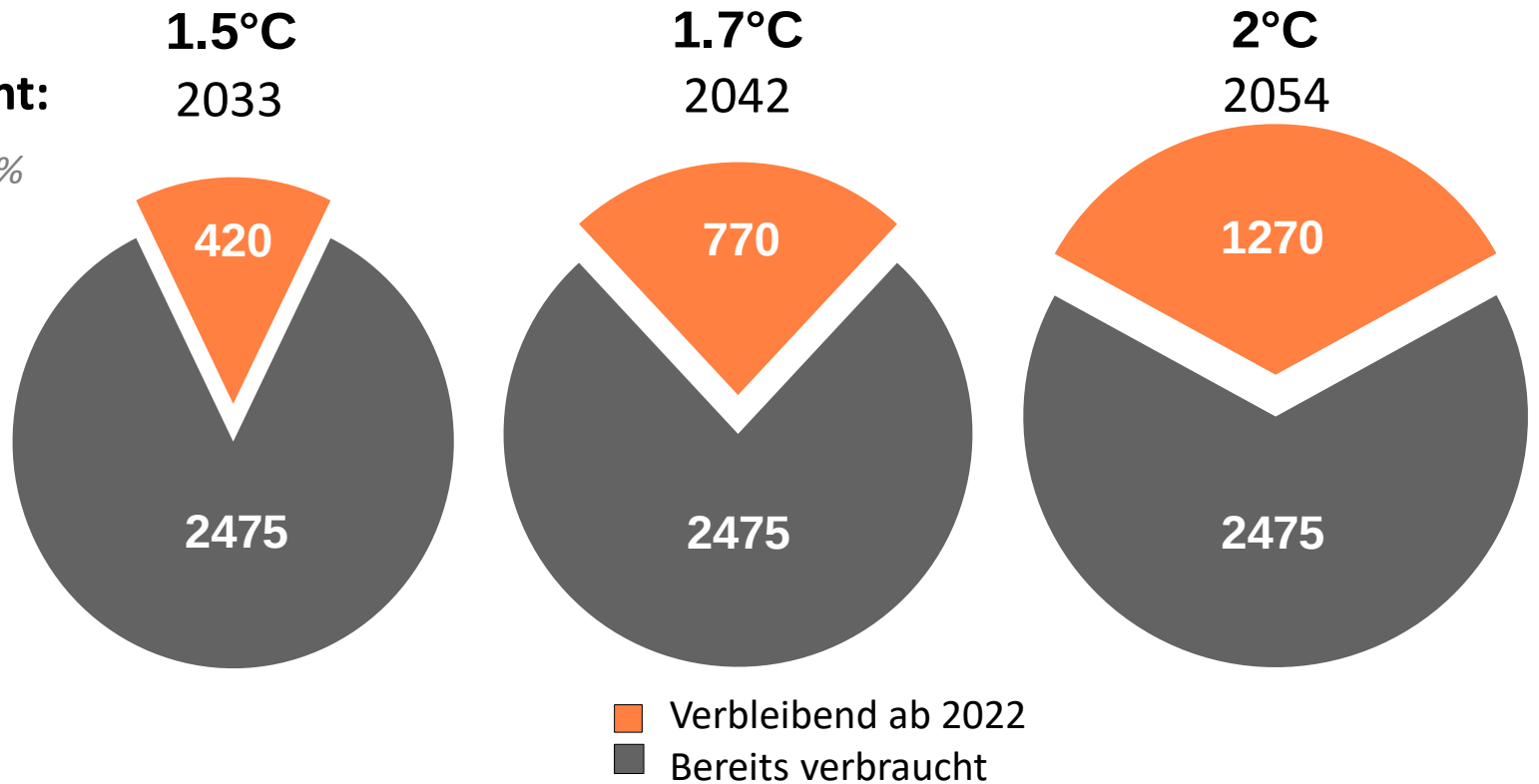
DLR

Wieviel CO_2 kann noch emittiert werden ?: Verbleibendes CO_2-Budget

Das verbleibende CO_2-Budget (*carbon budget*) um die global Erwärmung auf 1,5 ^{0}C, 1,7 ^{0}C bzw. 2 ^{0}C zu begrenzen, ist 420 $GtCO_2$, 770 $GtCO_2$ bzw. 1270 $GtCO_2$. Dies entspricht 11, 20 bzw. 32 Jahre ab 2022.

Vermutlich erreicht:

Wahrscheinlichkeit 50%



2475 $GtCO_2$ wurden bereits 1750 - 2021 emittiert.

Summe: 2895 $GtCO_2$

3245 $GtCO_2$

3745 $GtCO_2$

Universität Bremen

Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB

Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:

DLR

GLOBAL CARBON PROJECT

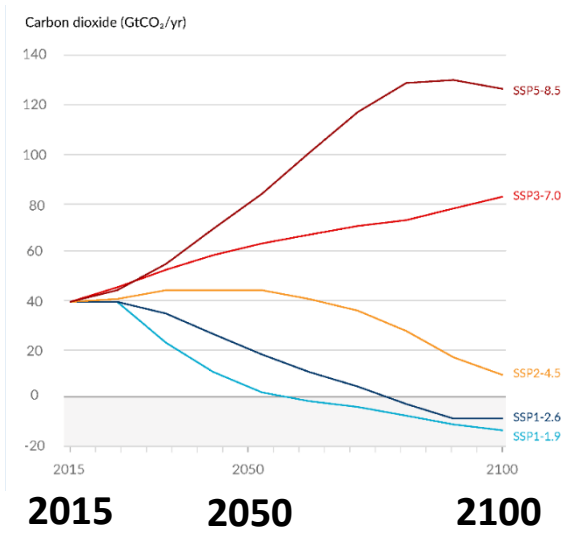
Quelle: IPCC AR6 WG1; Friedlingstein et al 2021; Global Carbon Budget 2021
https://www.globalcarbonproject.org/

Die Zukunft …

… bleibt unklar aber hängt auch von uns ab !

Verschiedene CO_2-Emissionsszenarien:

CO_2-Emissionen
in Milliarden Tonnen (Gt) CO_2 pro Jahr



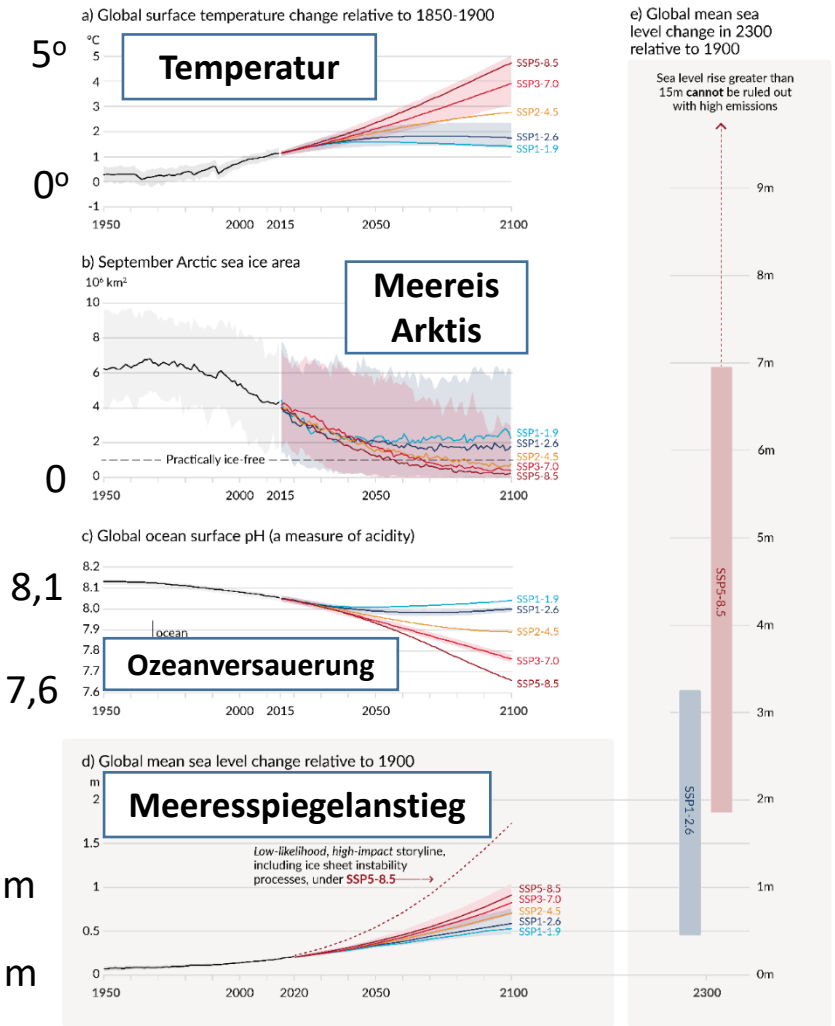
2015 **2050** **2100**

Mögliche CO_2-Emissionen und einige erwartete Konsequenzen

IPCC, AR6, 2022

… und weitere lokale Folgen
(Dürren, Überschwemmungen, …)

Human activities affect all the major climate system components, with some responding over decades and others over centuries



Es muss uns gelingen, eine Energieversorgung ohne fossile Brennstoffe zu etablieren !?

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU
Projektförderung:
DLR

Leider haben wir mehr als ein Problem …

… und wer hungert oder sich im Krieg befindet, hat gerade andere Probleme, als das Klima in einigen Jahrzehnten.

Wir brauchen Lösungen für viele Probleme!

https://www.unicef.de/informieren/ueber-uns/unicef-international/neue-entwicklungsziele/entwicklungsziele-verstaendlich-erklaert

https://www.bmz.de/de/agenda-2030

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

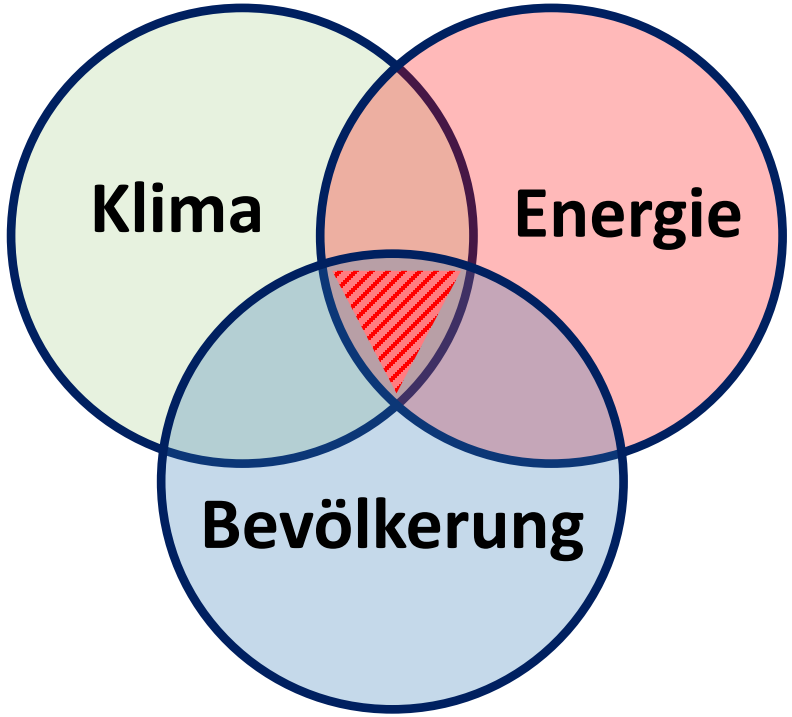
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Klima, Energie & Bevölkerung(swachstum)

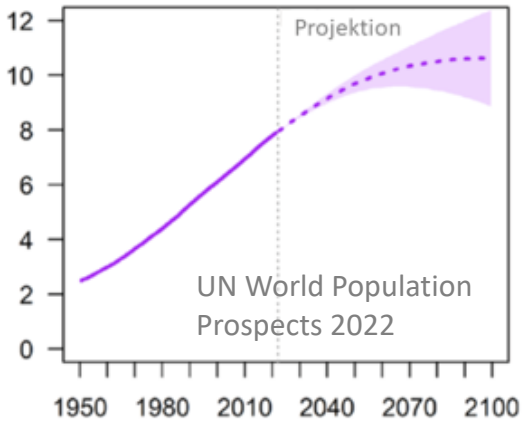
Diese - und weitere - Bereiche müssen zusammen betrachtet werden:



Nach: Ganteför
„Klima: Der Weltuntergang findet nicht statt“

- Die Weltbevölkerung wächst und der Ressourcenbedarf steigt
- Die Bevölkerung wächst besonders stark in Ländern mit sehr armer Bevölkerung
- Aber es zeigt sich in Ländern mit bitterer Armut: Höheres Einkommen -> weniger Kinder -> Bevölkerung steigt weniger schnell an
- Insbesondere arme Ländern brauchen günstige Energie & Weiteres (mehr Bildung etc.) -> Wirtschaftswachstum -> mehr Einkommen -> weniger Kinder -> Stabilisierung der Anzahl der Menschen auf der Welt
- Bittere Armut muss besiegt werden
- Das ist gut für alle und auch fürs Klima

Die Prognosen sind gut: Die Weltbevölkerung könnte sich bei etwa 10 Milliarden stabilisieren:



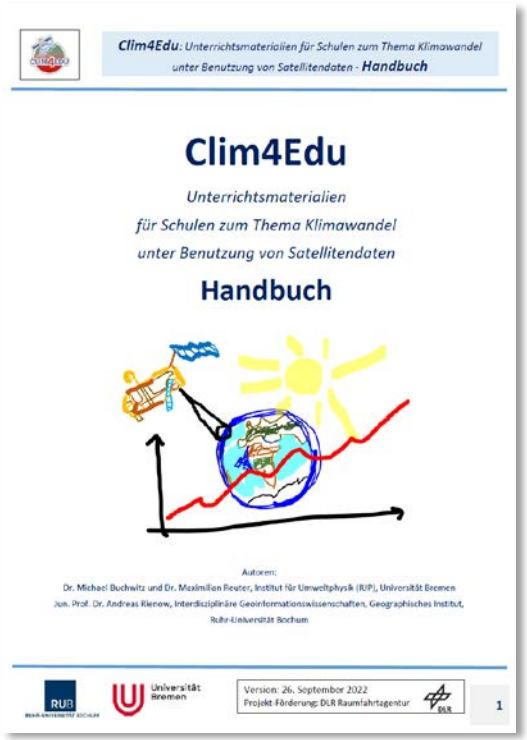
Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)
RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Mehr erfahren ?

Clim4Edu Handbuch:

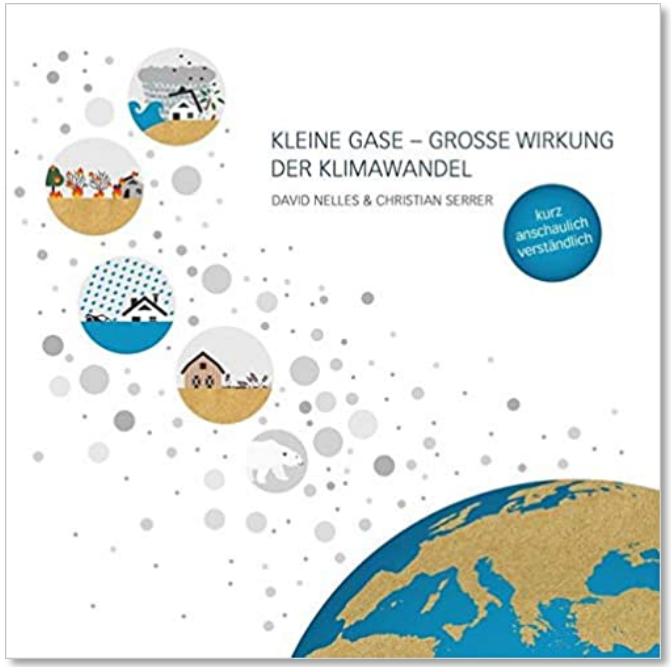


Mit Literaturhinweisen und Links zu Lehr-Materialien zum Klimawandel

Eine Möglichkeit: Die Klimabücher von Nelles & Serrer

Preisgünstig, sehr informativ, kurze klare Texte und gute Illustrationen. Wurde uns und vielen anderen Wissenschaftlern vorab als Entwurf zum Kommentieren und Verbessern vorgelegt.

Das Problem



Die Lösung

https://www.iup.uni-bremen.de/carbon_ghg/Clim4Edu/Handbuch/

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM
RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR

Übersicht

- **Teil 1:** Einführender Vortrag mit Hintergrundinformationen zum Klimawandel und zu CO_2
- 2 Themenbereiche mit praktischen Übungen:
  - **Teil 2:** Was sagt uns der Zeitverlauf der atmosphärischen CO_2-Konzentration der letzten 450 Millionen Jahre?
  - **Teil 3:** CO_2-Messungen aus dem Weltraum: Wie geht das?

Universität Bremen
Institut für Umweltphysik (IUP)

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM RUB
Geographisches Institut

CLIM4EDU

Projektförderung:
DLR