



Minerva, MPIC Neubau 1956, Adam Winter, Mainz

Aerosole, Klima und Gesundheit im Anthropozän

Ulrich Pöschl

Max-Planck-Institut für Chemie

u.poschl@mpic.de, www.mpic.de

Tag der offenen Tür, 9. Juli 2023

Max-Planck-Institut für Chemie

Gliederung

Einführung

- MPI für Chemie, Erdsystemforschung, Anthropozän

Aerosol-, Klima- und Gesundheitsforschung am MPIC

- Aerosole & Wolken über dem Amazonas
- Bioaerosole & Infektionsschutz
- Luftverschmutzung & Gesundheit

Globale Erwärmung & Klimaschutz

- natürlicher & anthropogener Klimawandel
- gesellschaftliche & individuelle Beiträge

Anmerkungen: Überblick & Zusammenhänge im Vortrag; kurze Nachfragen jederzeit, längere gerne im Nachgang; Details & weitere Information in Referenzen; Präsentationsfolien verfügbar (Open Access/Open Science, CC-BY)

Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC)



1911/12 Gründung/Eröffnung
als **erstes KWI/MPI** in Berlin
Dahlem (mit FHI)

L. Meitner erstes weibl. wiss. Mitglied (1913)



1944/49 **Umzug** von Berlin
via Tailfingen nach Mainz

O. Hahn erster Präsident der MPG (1948);
75-Jahr-Jubiläum (2023); Beiname
"Otto-Hahn-Institut" (1959)



2011/12 **100-Jahr-Jubiläum**
& Umzug in Neubau,
Hahn-Meitner-Weg 1

Größe & Budget: ca. 300 Forschende
& Mitarbeitende, ca. 25 Mio. EUR/year

Organische & Anorganische Chemie

1915 Nobelpreis R. Willstätter: Chlorophyll
(erster Nobelpreis für KWG/MPG)

Radiochemie & Kernphysik

1944 Nobelpreis O. Hahn: Kernspaltung

Physikalische Chemie

Massenspektrometrie & Isotope

Geo- & Kosmochemie

Erdmantel, Meteoriten, Mond & Mars

Atmosphären- & Biogeochemie

1995 Nobelpreis P. Crutzen: Ozon-Chemie

Erdsystem-Chemie

Integrales wissenschaftliches Verständnis
chemischer Prozesse im Erdsystem:

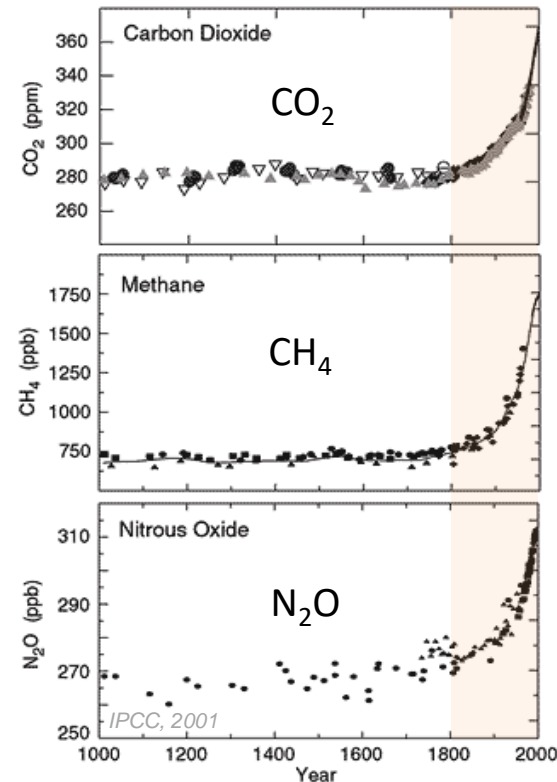
- molekulare & globale Skalen
- Klima & Gesundheit
- Erdgeschichte & Anthropozän



www.mpic.de



Anthropozän: Neue Epoche in Erd- & Menschheitsgeschichte



Global durchdringender & stark zunehmender menschlicher Einfluss auf den Planeten Erde:

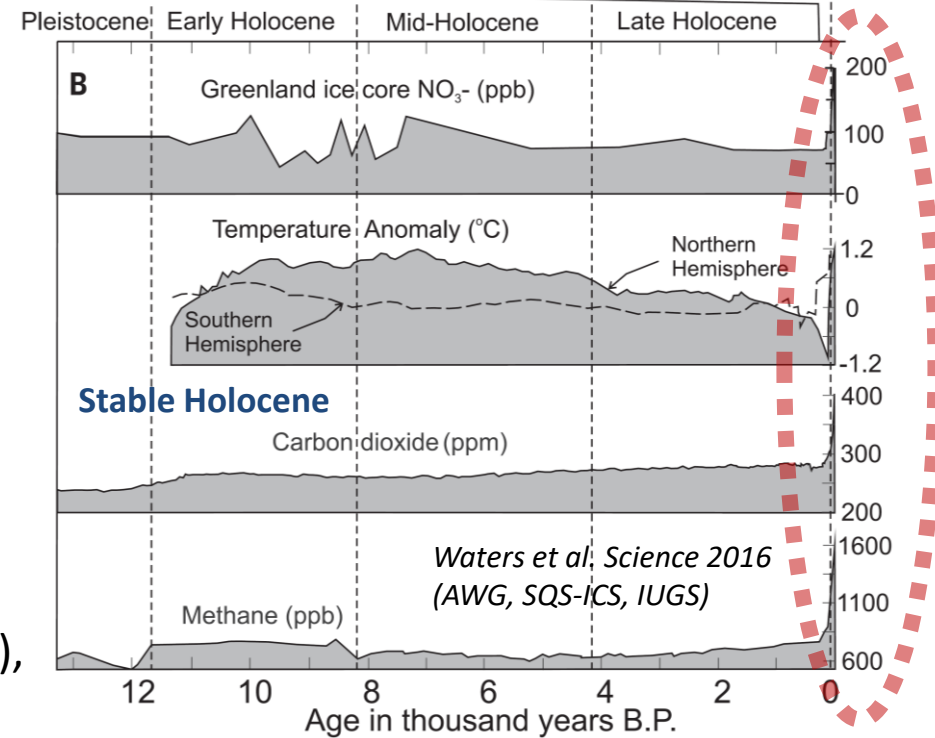
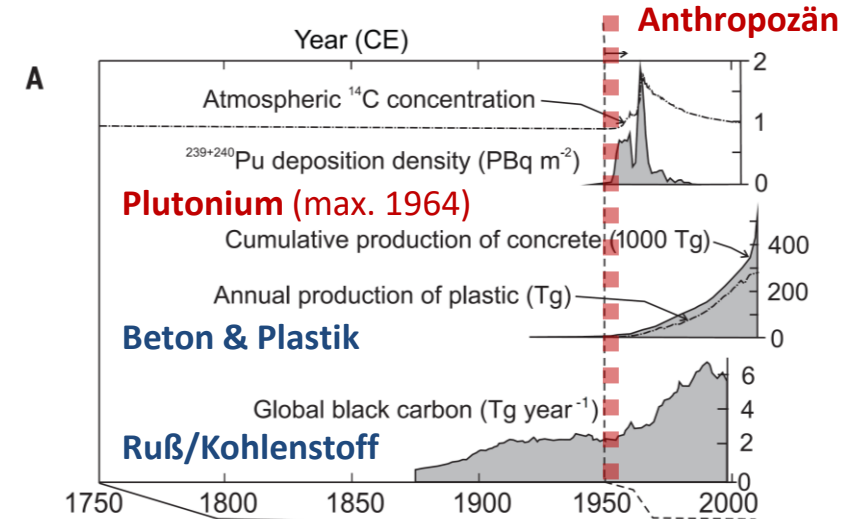
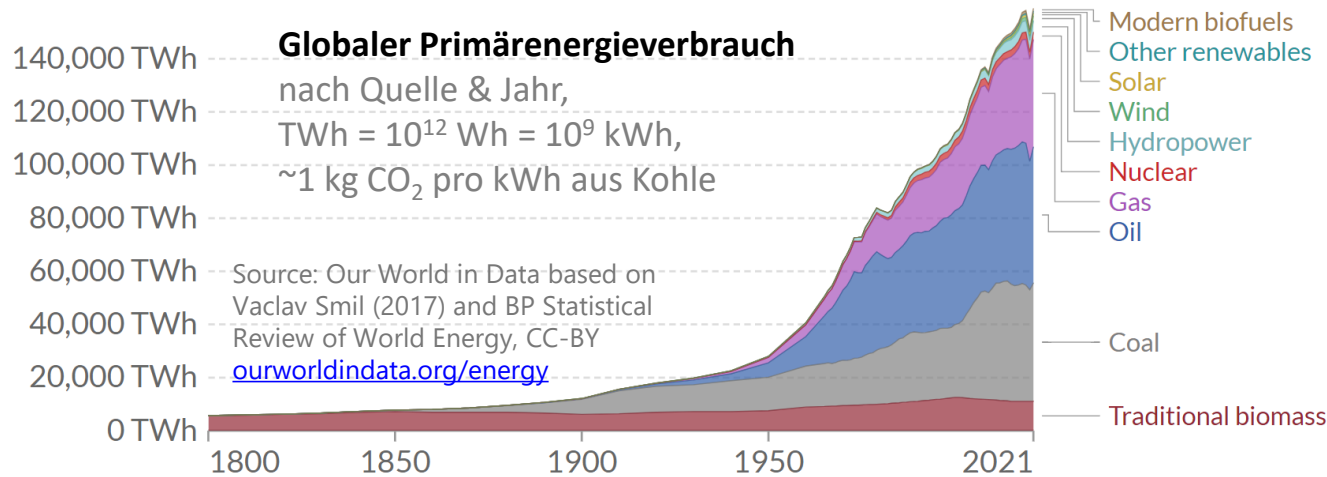
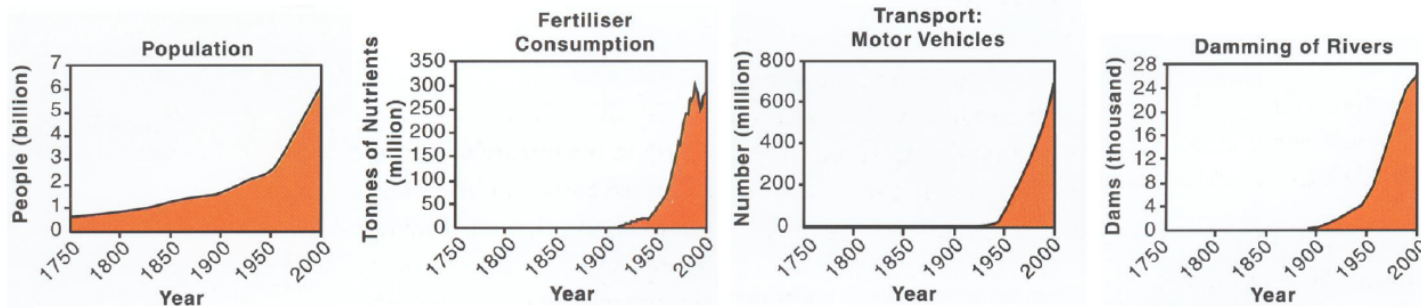
wissenschaftliche Erkenntnisse zu globalen Herausforderungen & sozialen Fragen – von Luftqualität, Ozonloch & Klimawandel zu Gesundheit & menschl. Wohlergehen; **“planetare Gesundheit”**

Wissenschaftliche & gesellschaftliche Botschaft:

Wir gestalten den Planeten und sollten versuchen, es richtig hinzubekommen bzw. nicht schiefgehen zu lassen

Anfänge & Kennzeichen des Anthropozäns

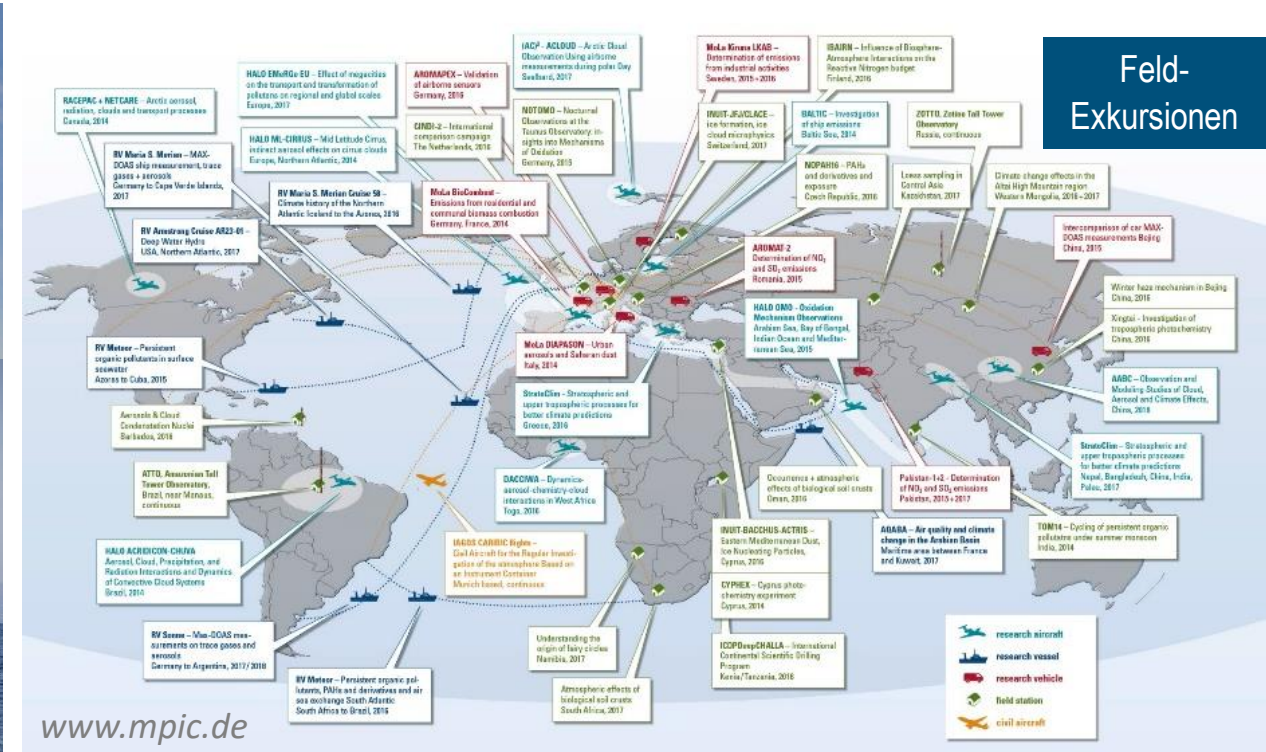
Große Beschleunigung, 1950er/1960er: orig. Abb. von Crutzen & Steffen et al. (2003)



- (1) Große Beschleunigung** menschl. Aktivität in 1950s/1960s & stratigraphy. Signale (nukl. Niederschlag, Isotope etc., Waters et al. 2016), oder
- (2) Dampfmaschine & Industrialisierung** ~1800/1850 (Crutzen et al. 2000/2003), oder
- (3) Landwirtschaft** im Holozän ~7000 BP (Ruddiman 2013) ?

(1) passt zu Wendepunkt in menschl. **Bevölkerungswachstum** (S-Kurve) & **merklicher anthropogener globaler Erwärmung**; 1850 als Klima-Referenzpunkt in spätem Holozän ("Paleoanthropozän", Foley et al. 2013)

Forschungsaktivitäten am MPIC

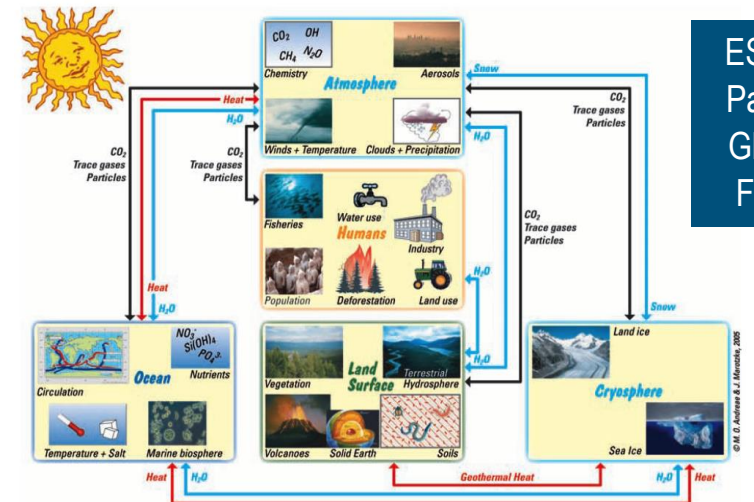


Feldbeobachtungen, Laborexperimente & Modellstudien

- **Messtürme, Schiffe, Flugzeuge & Satelliten:** ATTO, HALO, CARIBIC, RVS Seibold ...
- **Laboratorien, Werkstätten & Computer-Modelle:** Chemie/Physik/Biologie, Mechanik/Elektronik, Prozess/Atmosphäre/Erdsystem, regional/global ...
- **Kooperation:** MPIC-Abteilungen/Forschungsgruppen & externe Partner

Erd- & Sonnensystem Forschungspartnerschaft (ESRP):

MPI-C Mainz; MPI-M Hamburg, MPI-BGC & MPI-GA, Jena, MPI-SSR Göttingen & weitere Partner in MPG & weltweit



ESRP & Partner: Globale Flüsse

Danksagung



Mitarbeitende & Partner des MPIC & der Abteilung Multiphasenchemie

Gliederung

Einführung

- MPI für Chemie, Erdsystemforschung, Anthropozän

Aerosol-, Klima- und Gesundheitsforschung am MPIC

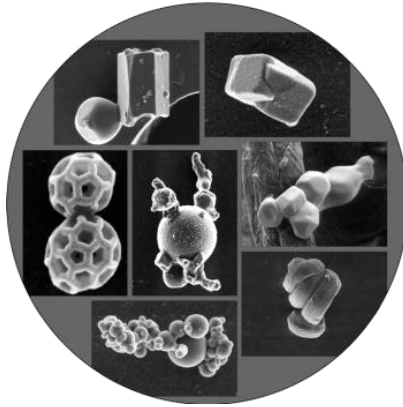
- Aerosole & Wolken über dem Amazonas
- Bioaerosole & Infektionsschutz
- Luftverschmutzung & Gesundheit

Globale Erwärmung & Klimaschutz

- natürlicher & anthropogener Klimawandel
- gesellschaftliche & individuelle Beiträge

Aerosol-, Wolken- und Biopartikel

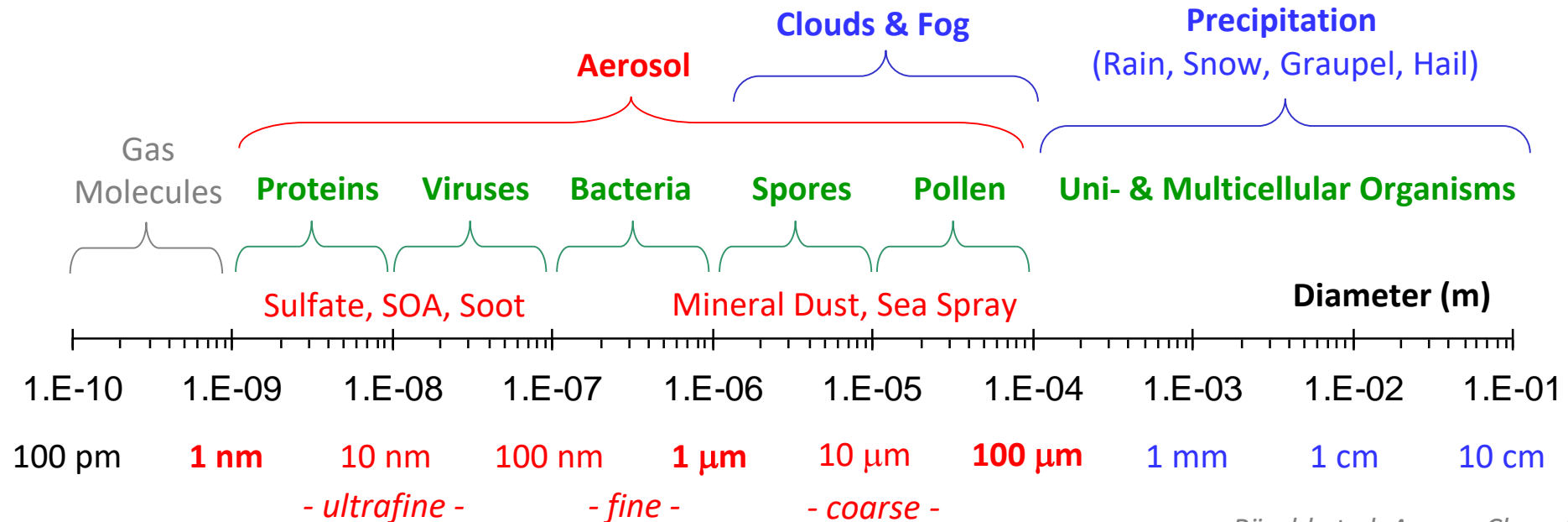
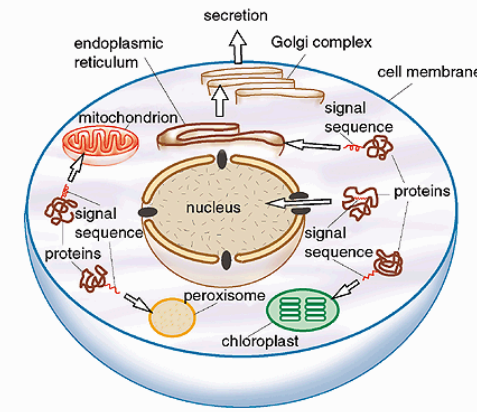
Aerosols: solid & liquid nano- & micro-particles



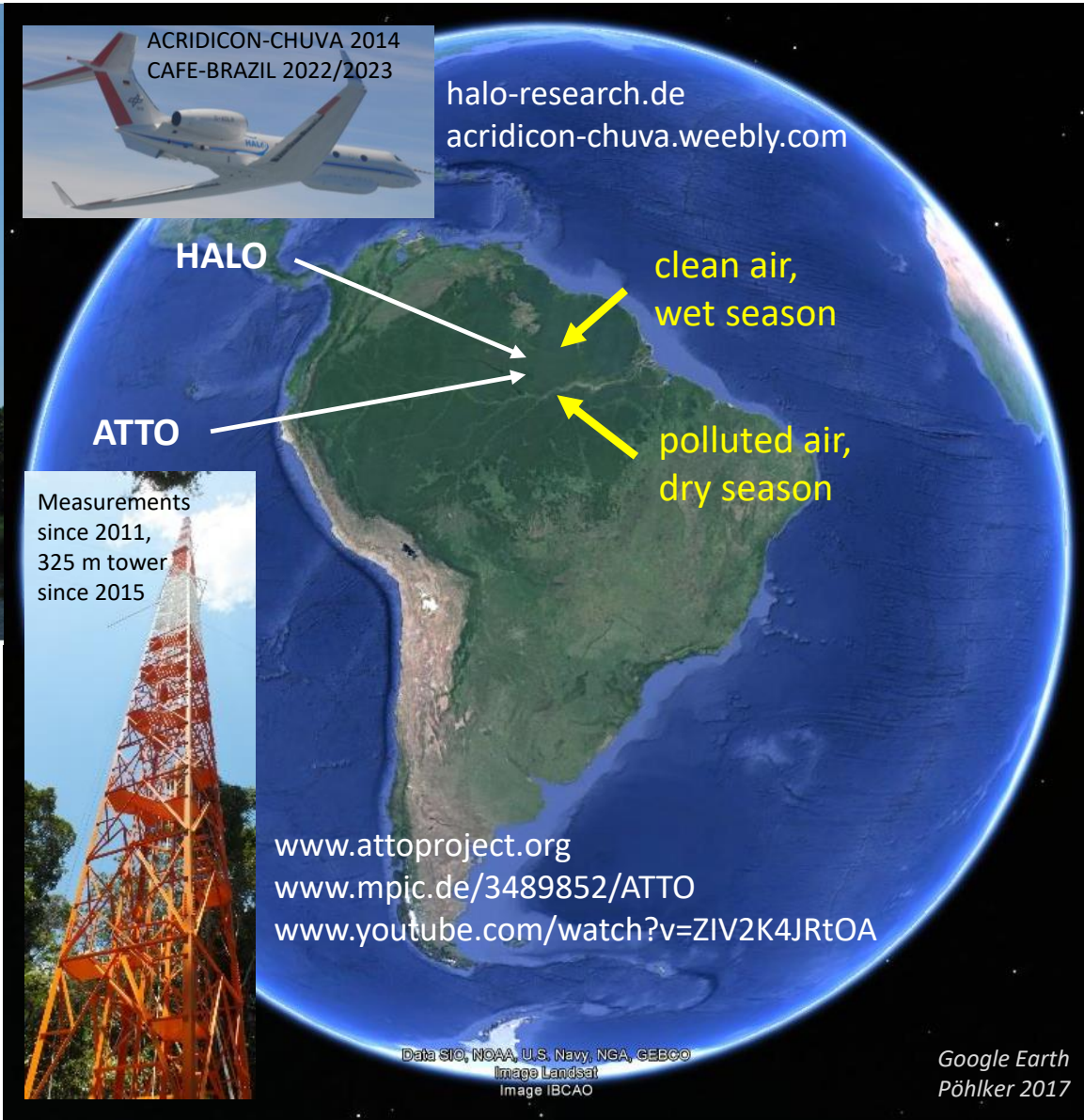
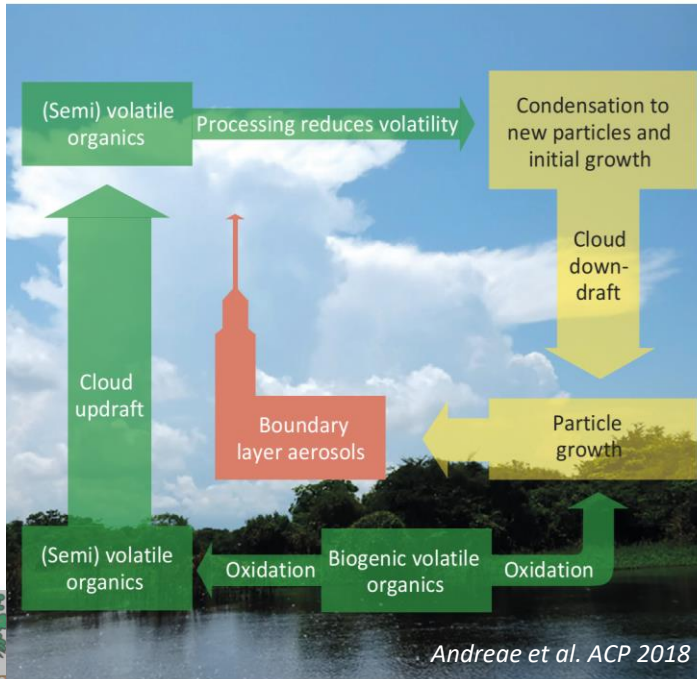
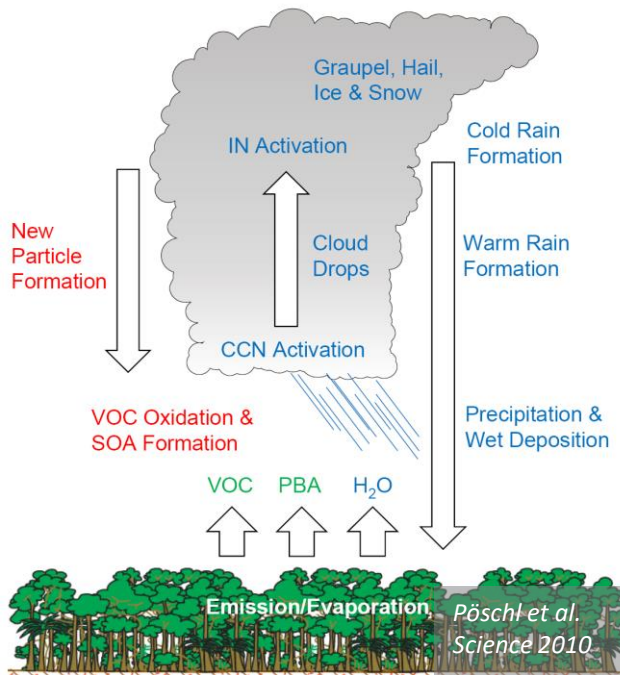
Clouds, Fog & Precipitation: dilute aqueous particles



Cells & Organelles: semi-solid & liquid nano- & micro-particles



Aerosole & Wolken über dem Amazonas



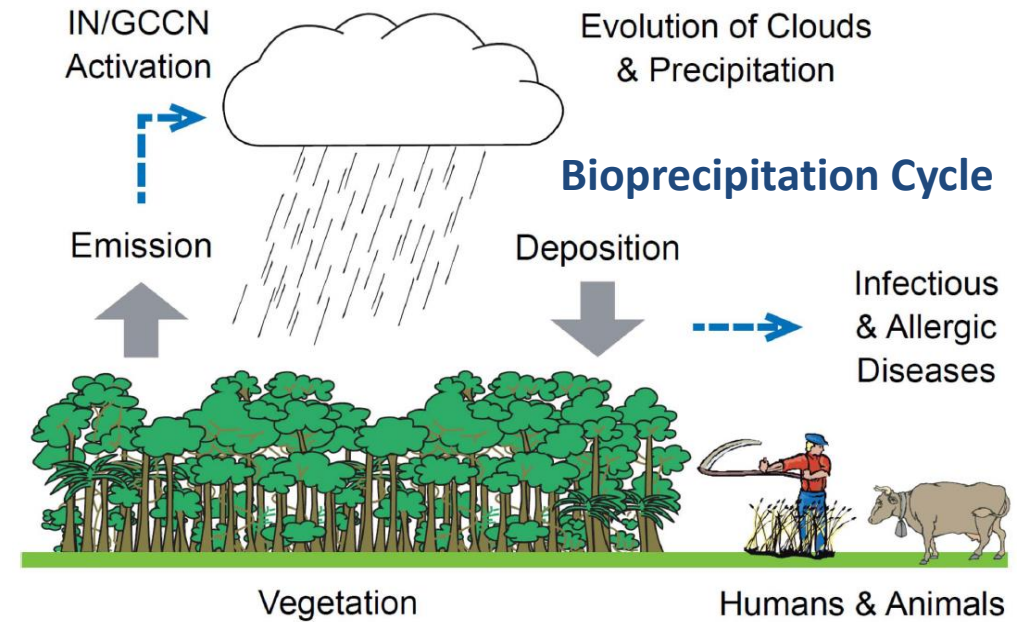
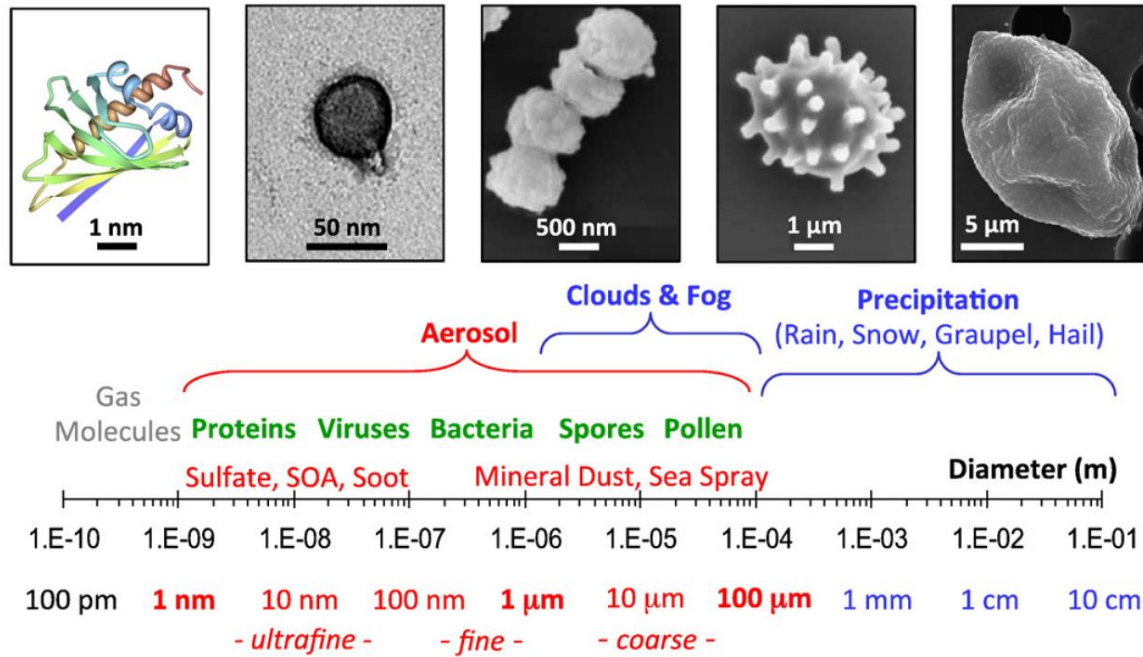
Aerosol-Wolken-Wechselwirkungen gehören zu größten Unsicherheiten in Klima- & Wettervorhersagen

- **Wetterbericht:** Zuverlässigkeit Temperatur vs. Niederschlag
- **Klimastudien:** vorindustrieller Vergleichszustand & Wolkenbildung unter natürlichen/sauberen vs. verschmutzten Bedingungen?

Amazonas als Wolkenlabor & "Zeitmaschine"

- **Regenzeit:** extrem saubere Luft ($\sim 100 \text{ cm}^{-3}$, $\sim 1 \mu\text{g m}^{-3} \text{ PM}_{2.5}$)
- **Trockenzeit:** Biomasseverbrennung, Brandrodungen

Bioaerosole



Atmospheric biodiversity: high abundance, diversity & fluxes of airborne bacteria & fungi (“life is in the air”):

$\sim 1 \mu\text{g m}^{-3}$, $\sim 10 \text{ L}^{-1}$, $\sim 10^2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $>10^3$ species (urban PM; DNA, protein & fluorescence analysis)

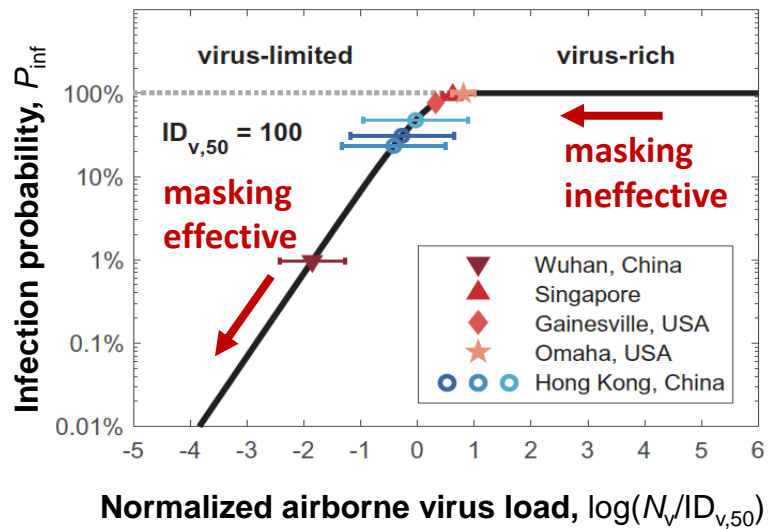
$\sim 10 \text{ ng m}^{-3} \text{ DNA} \Rightarrow$ inhalation of $\sim 1 \mu\text{g}/\text{day} \equiv \sim 10^6$ bacterial genomes/day

Cloud condensation & ice nuclei (CCN/IN): co-evolution of life & climate \Rightarrow **bioprecipitation cycle**

Pathogens: permanent challenge \Rightarrow **infectious & allergic diseases**

SARS-CoV-2/COVID-19: explain transmission by respiratory droplets/aerosols/; quantify efficacy of protective measures

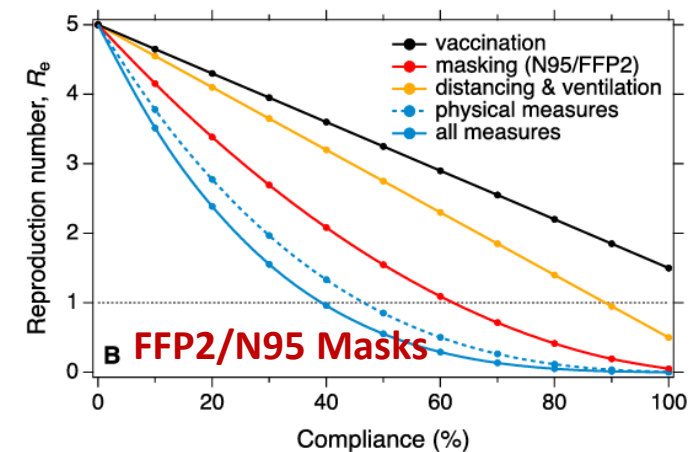
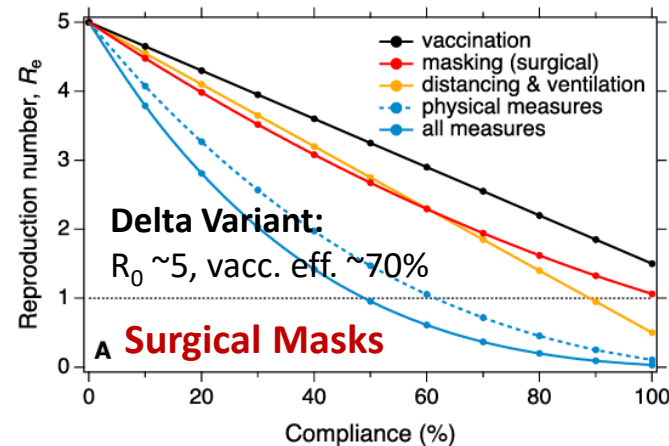
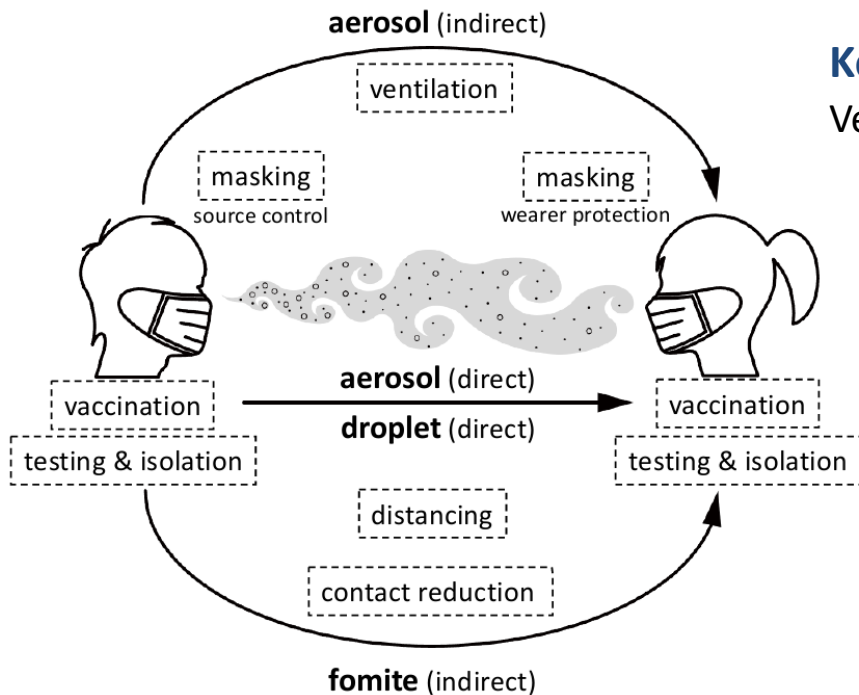
Infektionsschutz durch Masken & Lüften etc.



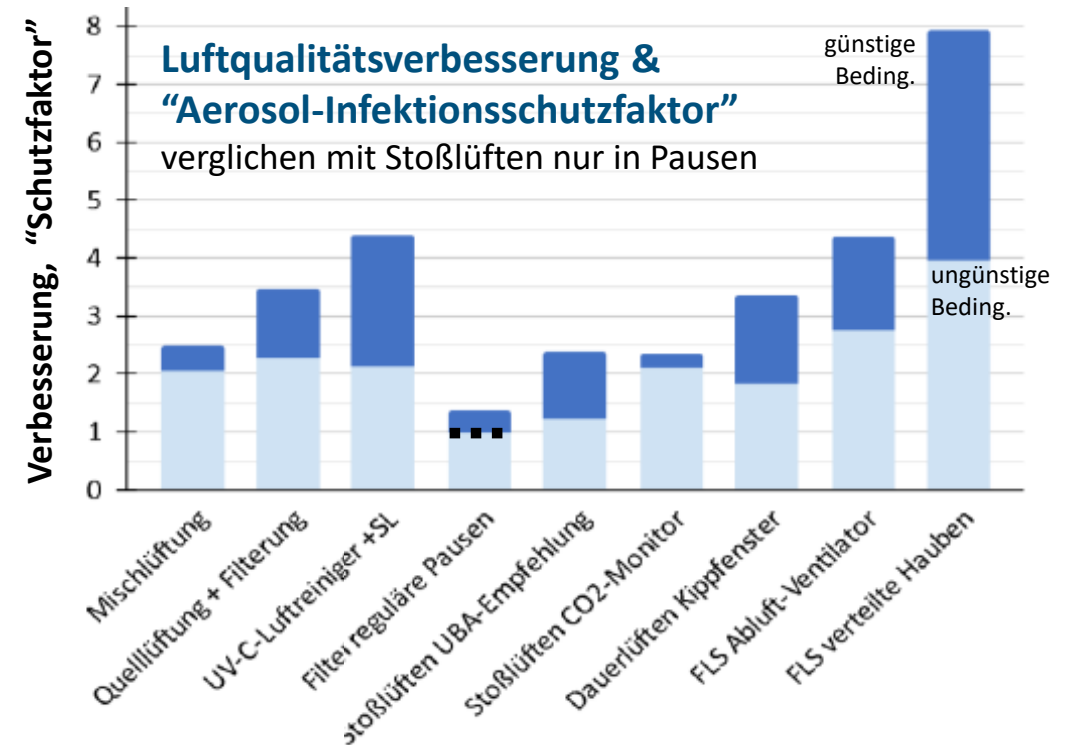
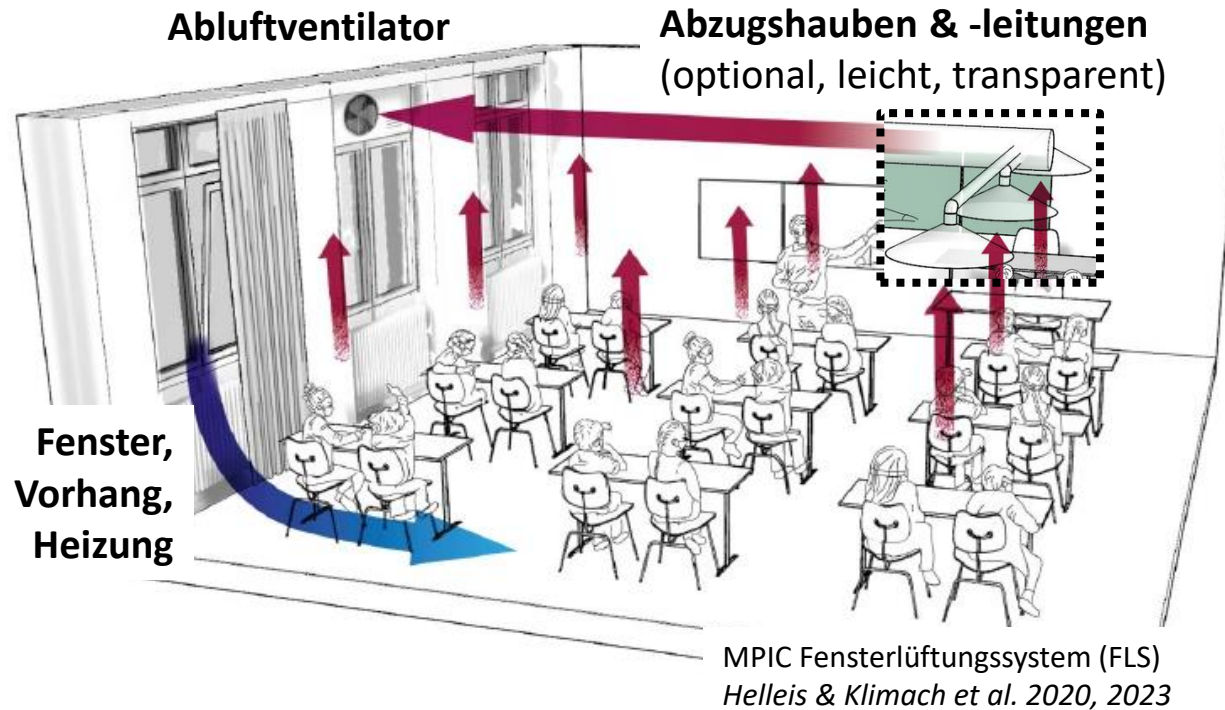
Masken seit langem etabliert & wirksam gegen Ausbreitung von Infektionskrankheiten durch Atemluft (Pöschl & Witt/Charité 2021, www.mpic.de/4972236/statement-poeschl-witt)

- verhindern **Tröpfchenübertragung** ($>0,1$ mm) praktisch **vollständig** (auch im Freien); verringern **Aerosolübertragung** ($<0,1$ mm) um Faktor **$\sim 2-4$** (MNS) bis **$\sim 10-20$** (FFP2)
- **schützen Träger & Umfeld**, multiplikativ bei Verwendung durch infektiöse & susceptible Personen (**bis Faktor ~ 100**); wirksam nur während Anwendung ($\sim 50\%$) & unter „normalen“ bzw. verdünnten Bedingungen; bei sehr hoher Viren-Belastung (z.B. schlecht gelüftetes Krankenzimmer) lässt effektive Wirkung nach (virus-reiches Regime: $P_{inf} \rightarrow 1$)
- **analog zu Sicherheitsgurten, Kopfstützen, Airbags etc.** bei untersch. Kräften: **sehr guter Schutz aber keine absolute Sicherheit**; Empfehlung/Pflicht **differenziert nach Umfeld/Situation**

Kombination & Synergie mit Lüften & anderen Maßnahmen: erhöhter Schutz & Verringerung der effektiven Reproduktionszahl als Funktion der **Einhaltung** (Compliance)



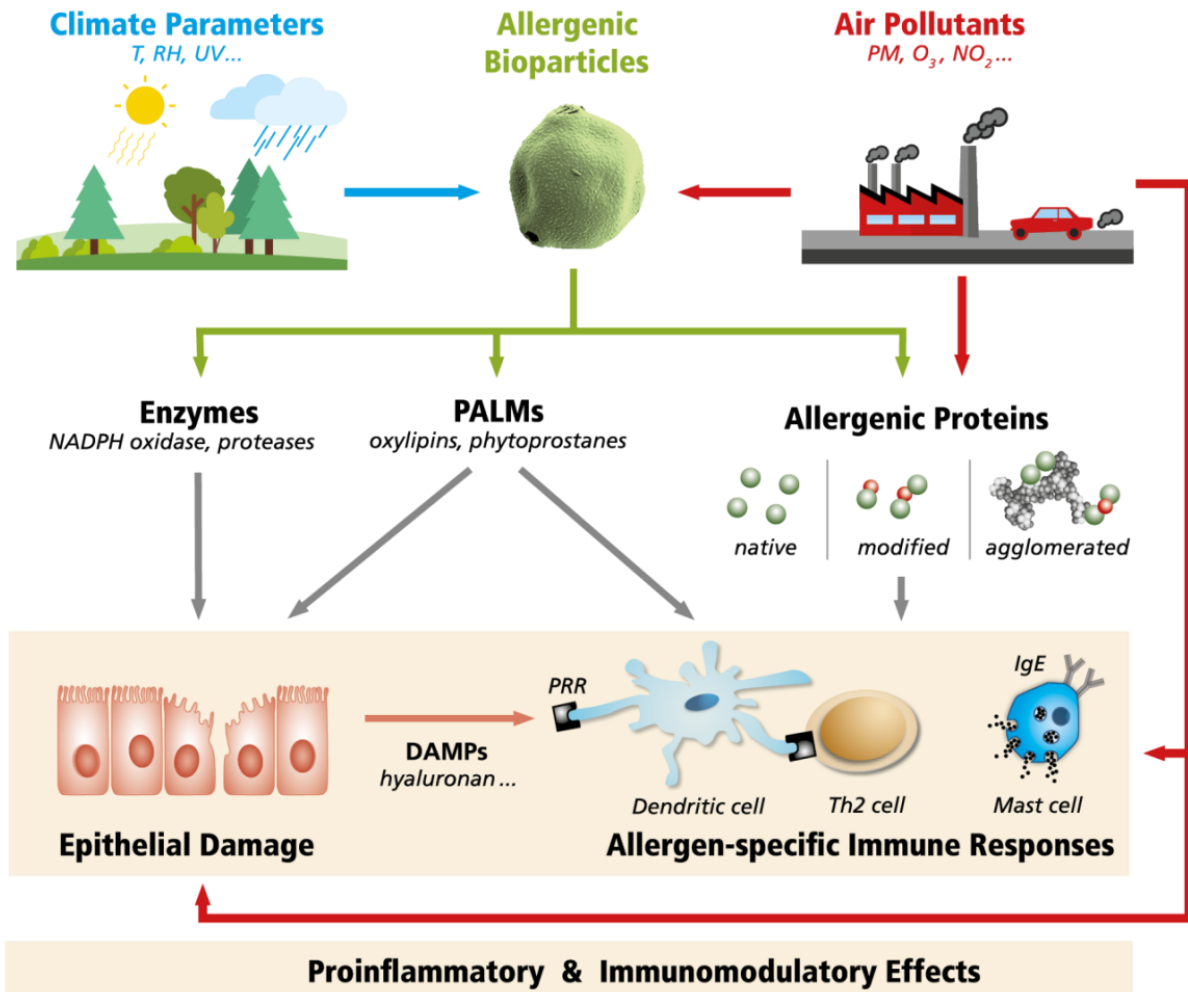
Effiziente & klimafreundliche Belüftung von (Klassen-)Räumen



Natürliche Belüftung/Fensterlüftung mit einfachen Hilfsmitteln (Abluftventilator ...): **klimafreundlich mit hoher Wirksamkeit & geringem Aufwand**; Nutzung vorhandener Infrastruktur (Fenster, Heizung) & natürlicher Konvektion im Raum (Personenwärme); Fensterlüften geht auch ohne Ventilator – **am besten kontinuierlich**, aber natürlich nur nach Bedarf (Prüfung/Einstellung mit CO₂-Sensor)

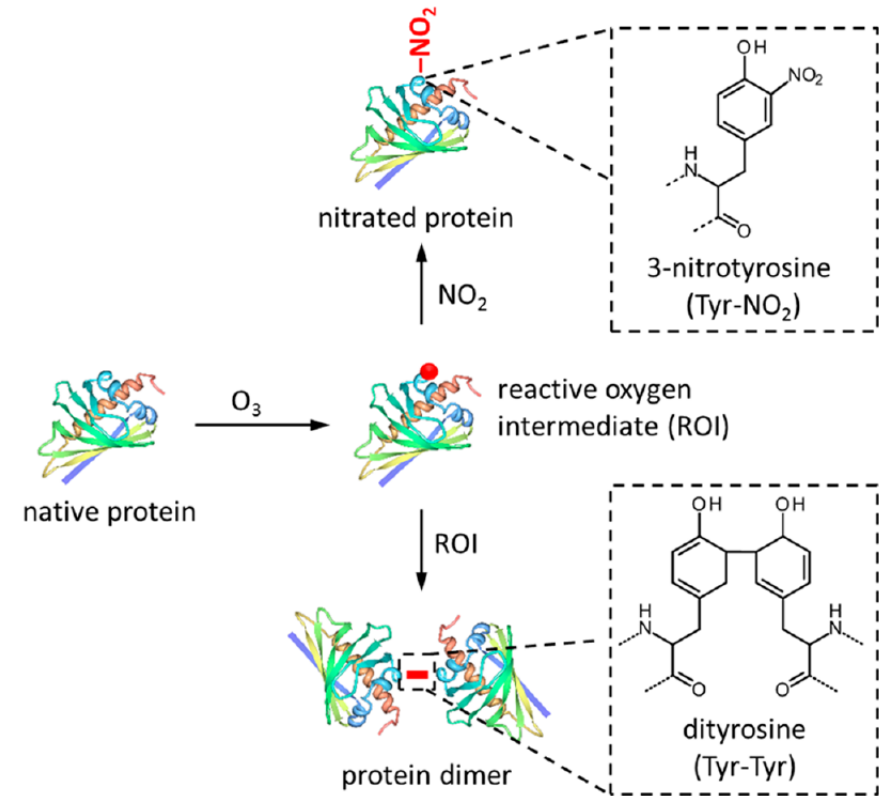
Urbane Mythen & Lobbyismus zu Wärmeverlusten bei **Stoßlüften** vs. **Dauerlüften** (äquivalent); Diskussion & Aufklärung im Gange: **Raumlufttechnik (RLT/WRG) verbraucht mehr Energie** als durch Wärmerückgewinnung (WRG) unter durchschnittlichen mitteleurop. Bedingungen eingespart werden kann: nicht energiesparend/ressourcenschonend/klimafreundlich; technisch & hygienisch fragwürdig; **nur in Spezialfällen sinnvoll** (Lärm, Luftverschmutzung, Kälte: z.B. in Hauptverkehrsstraßen, Bergregionen ...)

Luftschadstoffe & Allergien



Pathways for climate parameters & air pollutants to influence the release, potency, and effects of allergens and adjuvants

How may climate & air pollution trigger/enhance allergies, i.e., false alarms of the immune system ?



Molecular rationale: chemical modification of proteins by atmos. & physiol. reactive species (O₃, NO₂, ONO₂⁻ ...) may trigger immune reactions & chronic inflammation

Gliederung

Einführung

- MPI für Chemie, Erdsystemforschung, Anthropozän

Aerosol-, Klima- und Gesundheitsforschung am MPIC

- Aerosole & Wolken über dem Amazonas
- Bioaerosole & Infektionsschutz
- Luftverschmutzung & Gesundheit

Globale Erwärmung & Klimaschutz

- natürlicher & anthropogener Klimawandel
- gesellschaftliche & individuelle Beiträge

Klimaforschung: Entwicklung & Diskurs

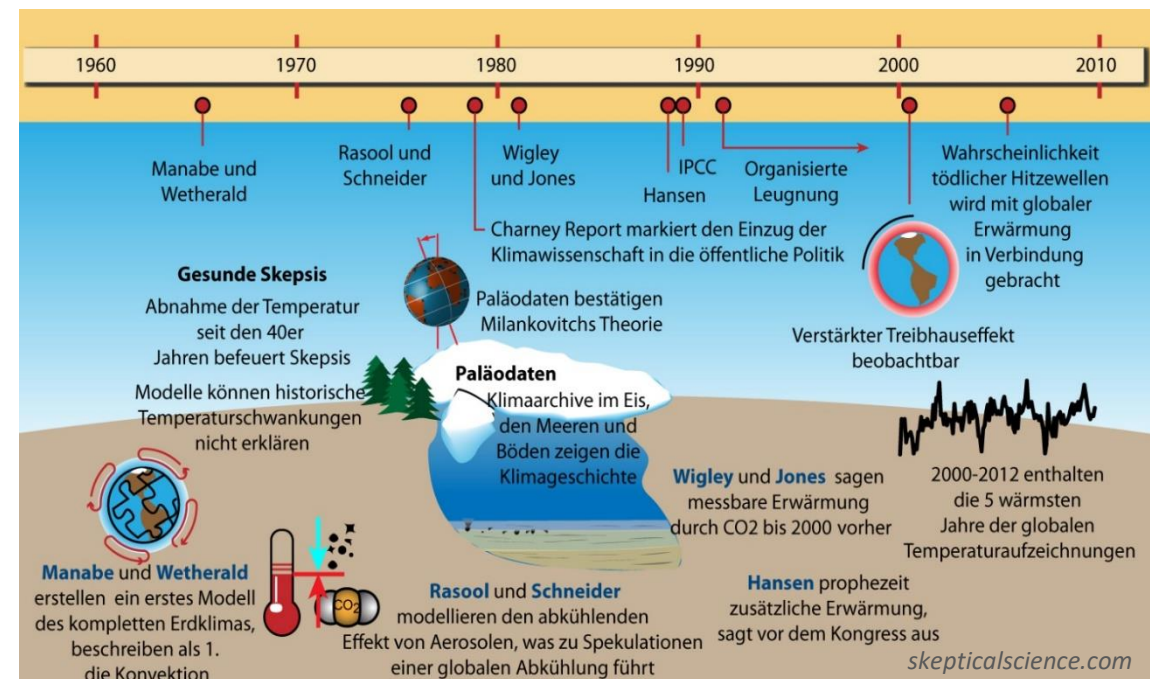
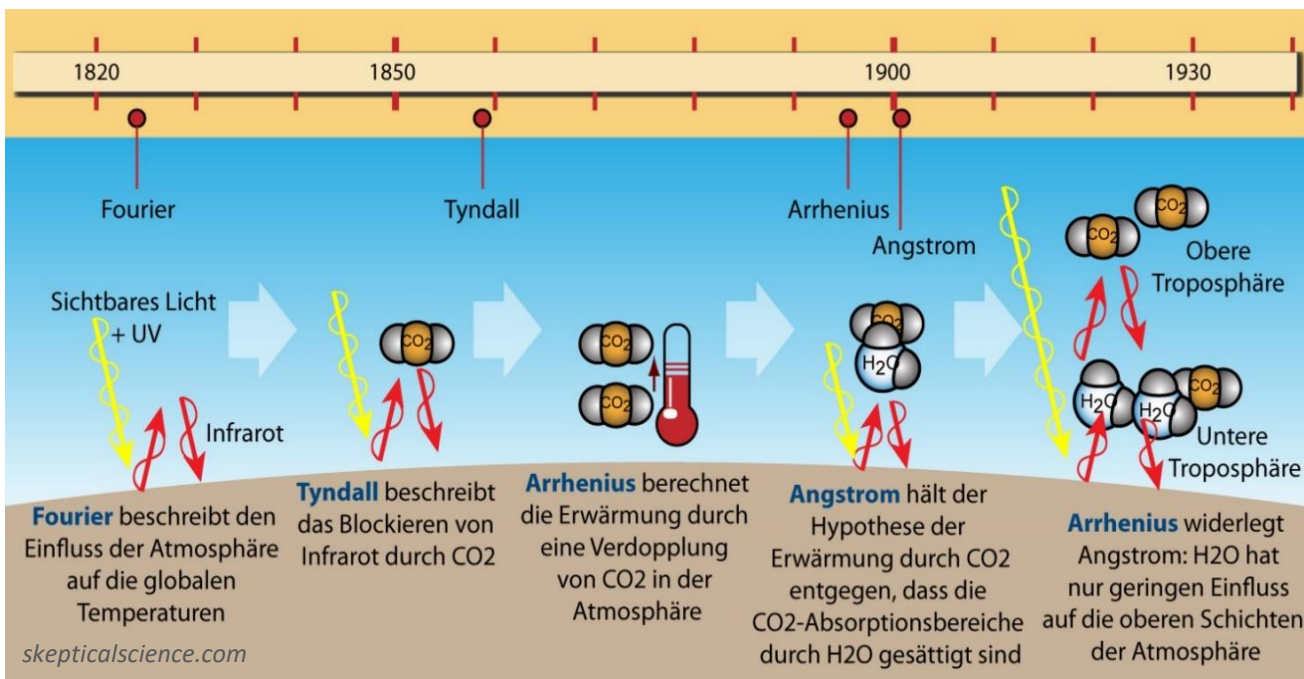
frühes 19.-20. Jahrhundert: Treibhauseffekt (*Fourier 1824*) & **Temperaturzunahme mit CO₂** (*Arrhenius* 1896: +5 °C/2xCO₂*), Eiszeitzyklen & Eis-Albedo-Rückkopplung (*Croll 1864*), Solarstrahlung & Erdbahnparameter (*Milankovic 1920*); Strahlung (*Kirchhoff 1859, Stefan-Boltzmann 1885/1879, Wien* 1893, Planck* 1900 → Quanten*), Ozon (*Chapman 1930*)

seit 1950er: globaler Kohlenstoffkreislauf & CO₂-Anreicherung (*Revelle, Suess, Bolin, Keeling et al.*)

** Nobelpreisträger*

seit 1960er: Klimamodellentwicklung (*Manabe*, Wetherald, Hasselmann* et al.*)

seit 1980er: wissenschaftliche Vorhersagen & Bestätigung: globale Erwärmung/(Paläo)Klimadaten, Ozonloch/FCKW etc. (*Charney, Hansen, Houghton, Crutzen*, Molina*, Rowland* et al.*); **politische Diskussion um Begrenzung & Anpassung:** staatl. Institutionen (*IPCC*); wirtschaftl. Interessengruppen (*Energie, Chemie*); **Lobbying & Desinformation** (*Merchants of Doubt*)

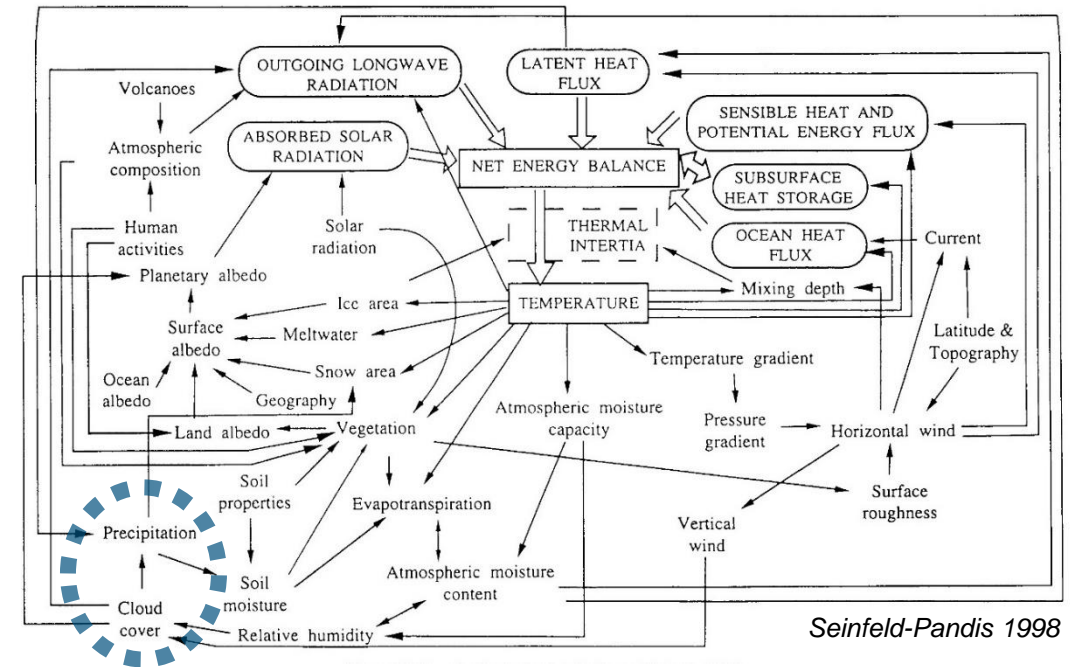
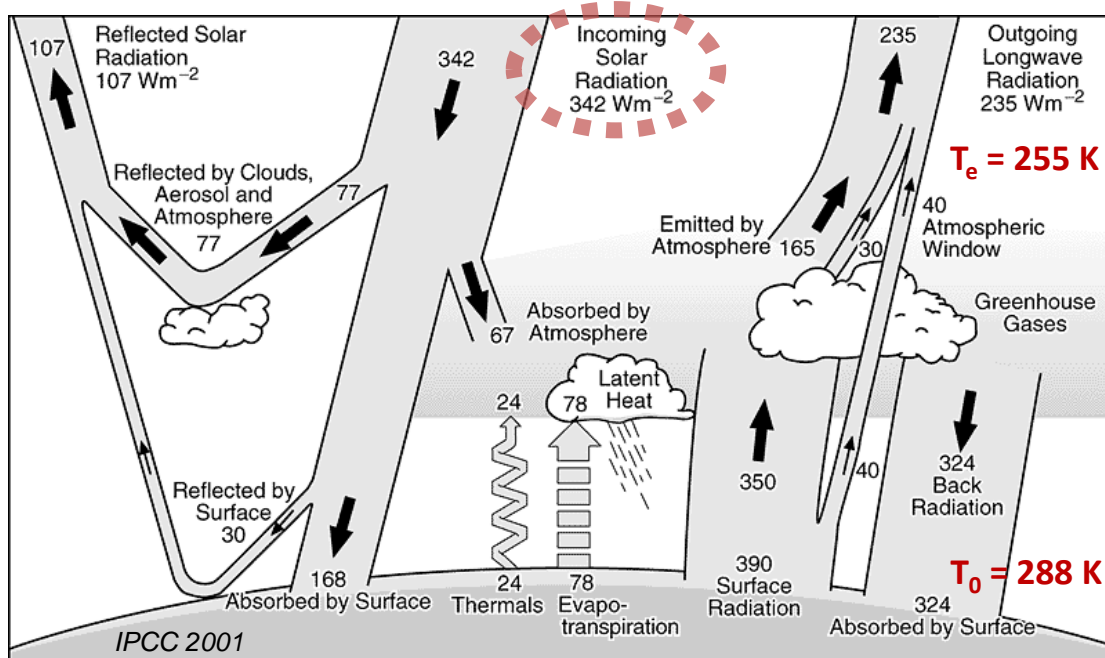


Klimaforschung: Herausforderungen

Material: $\sim 6 \times 10^{23} \approx 1.000.000.000.000.000.000.000.000$ Atome/Moleküle in 1 Mol bzw. wenigen Gramm (z.B. 18 g H₂O); Labor- & Feldexperimente nur finanziell limitiert

Gesundheit: hohe Komplexität (Mensch-Umwelt); ~ 8 Milliarden $\approx 10^{10} = 10.000.000.000$ Menschen (plus Mikroben, Pflanzen, Tiere ...); Laborexperimente, klinische & epidemiologische Studien nur ethisch & finanziell limitiert

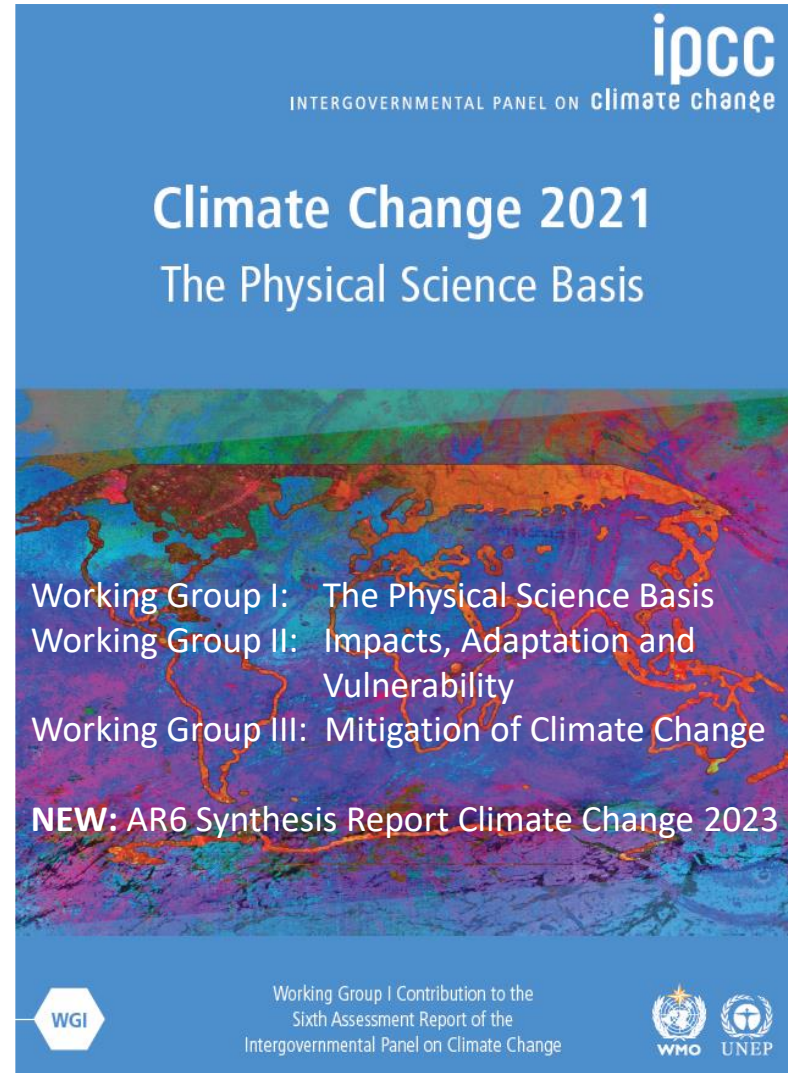
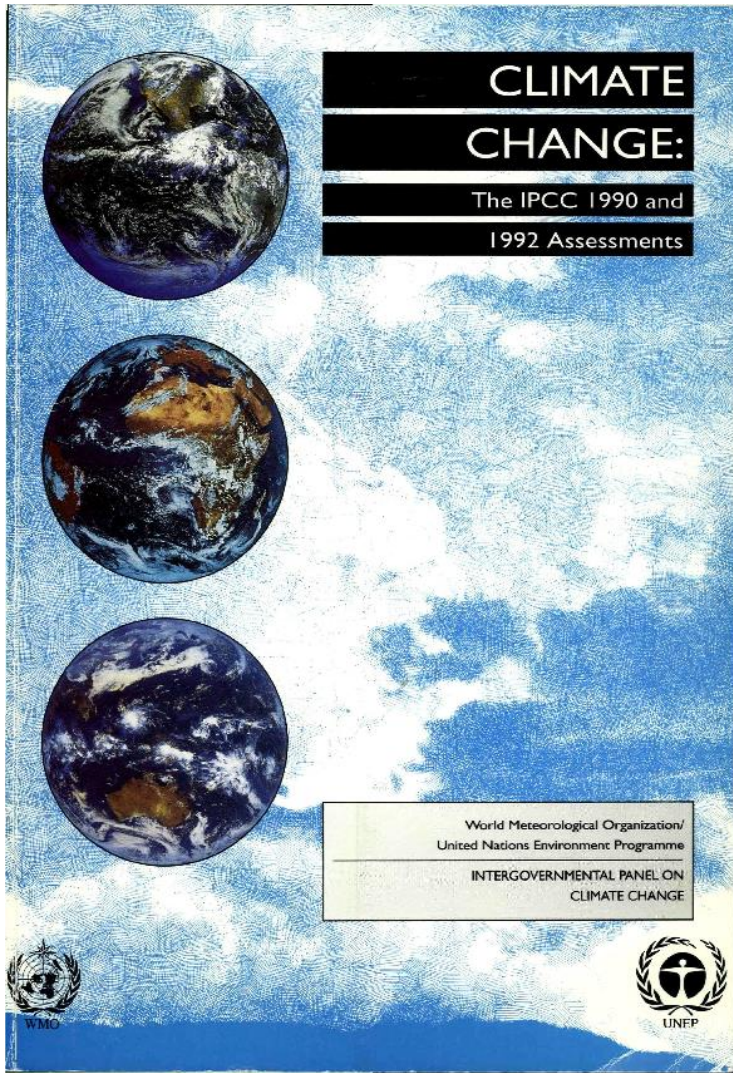
Klima-/Erdsystem: hohe Komplexität (Anthropo-/Technosphäre-Atmosphäre-Bios.-Hydros.-Lithos.-Sonne ...); **1 Planet** Erde (plus Mars, Venus ...); **kein Planet B**, Labor- & Feldexperimente nur mit Teilelementen des Systems, dafür umfassende erdhistorische & globale Messdaten & Modellrechnungen (Treibhausgase, Aerosole, C/N-Kreislauf, Zirkulation, Strahlung ...)



Treibhauseffekt/Strahlungsantrieb: voll erfasst & quantifiziert

Rückkopplungen: manche Details weniger genau erfasst (Wolken)

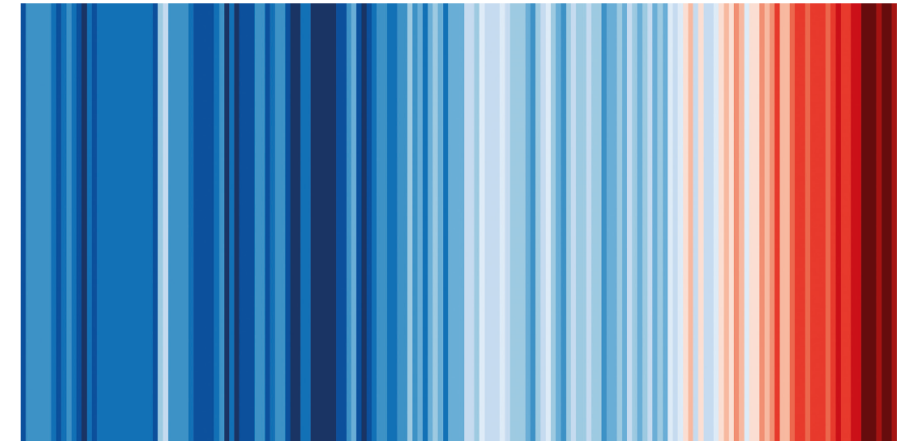
Klimawandel: Stand des Wissens



Was wir heute übers Klima wissen

Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind

Stand: September 2022



herausgegeben von:
Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Deutscher Wetterdienst,
Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, klimafakten.de

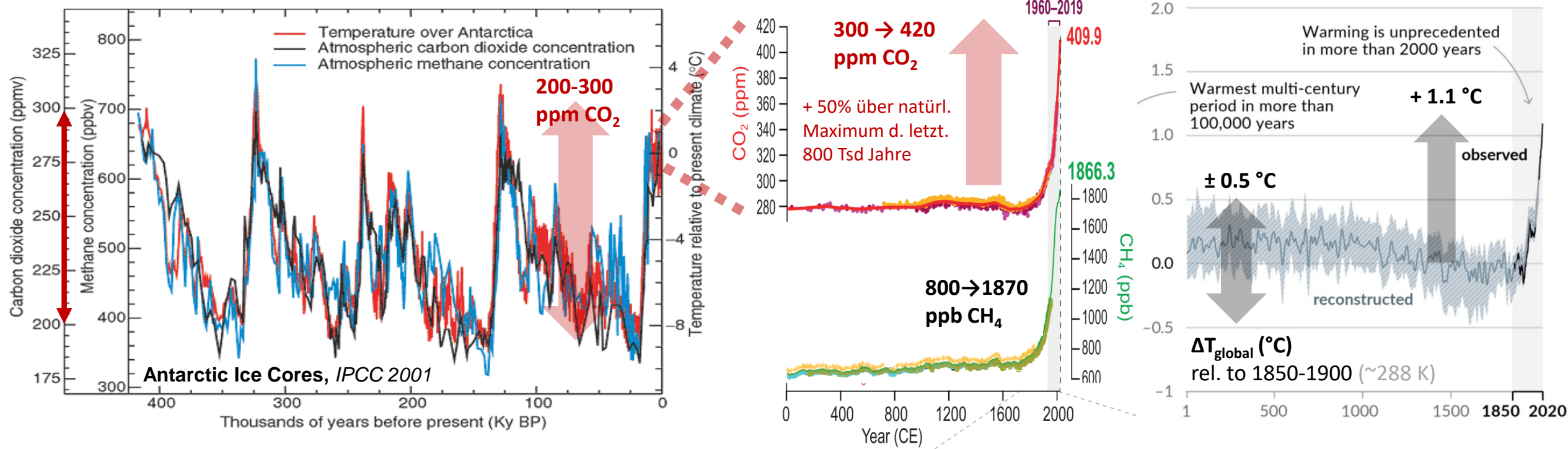


Weltklimarat/Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), WMO/UNEP,
Assessment Reports 1-6, 1990-2023, www.ipcc.ch; unfccc.int

Deutsches Klima-Konsortium (DKK), www.deutsches-klima-konsortium.de

www.klimafakten.de; climate.nasa.gov ...

Klimawandel & Erdgeschichte



Eiszeit-Zyklen, ~800 Tsd Jahre: enge Kopplung ΔT & CO₂/CH₄, natürliche Schwankung 200-300 ppm CO₂; 300-800 ppb CH₄; ausgelöst durch nat. Faktoren: Erdbahnparameter (*Milankovic* Zyklen), Sonnenaktivität, Vulkanismus

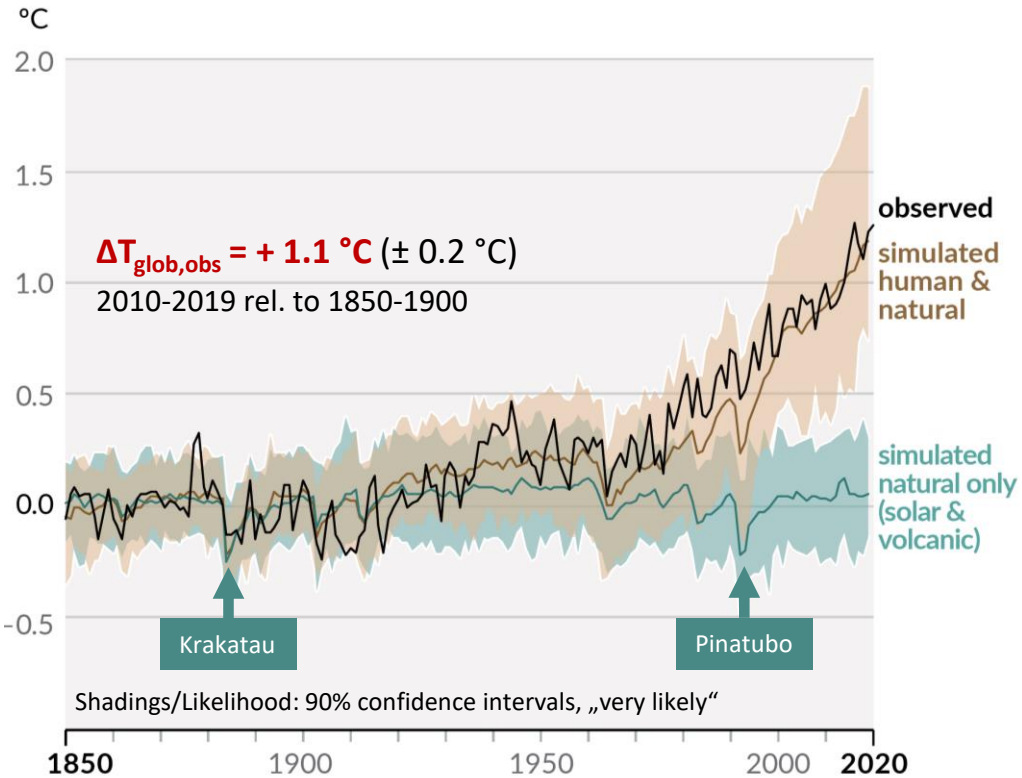
Holozän, ~10 Tsd Jahre: Entwicklung menschl. Zivilisation, stabiles Klima: $\Delta T_{\text{glob}} < 0.5$ °C; ~300 ppm CO₂; ~800 ppb CH₄

Anthropozän, ~200 Jahre: starke Emissionen von Treibhausgasen (THG) aus fossilen Brennstoffen & Landwirtschaft, rapide Klimaänderung mit THG-Konzentrationen weit außerhalb der natürlichen Schwankungsbreite:

$\Delta T_{\text{glob}} > 1$ °C; > 400 ppm CO₂ (natürlicher Maximalwert + 50%), > 1800 ppb CH₄ (natürlicher Maximalwert + 130%)

Anthropogener Klimawandel seit 1850

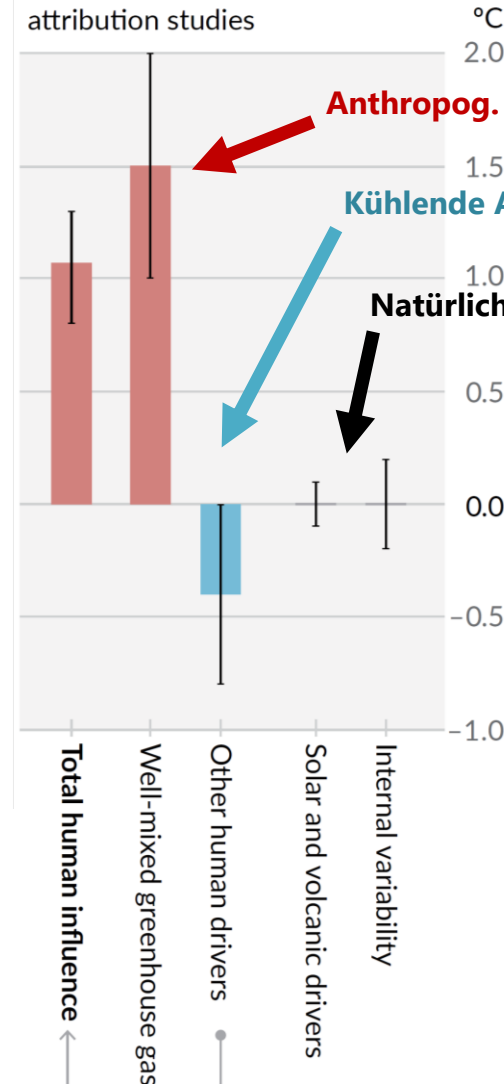
(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



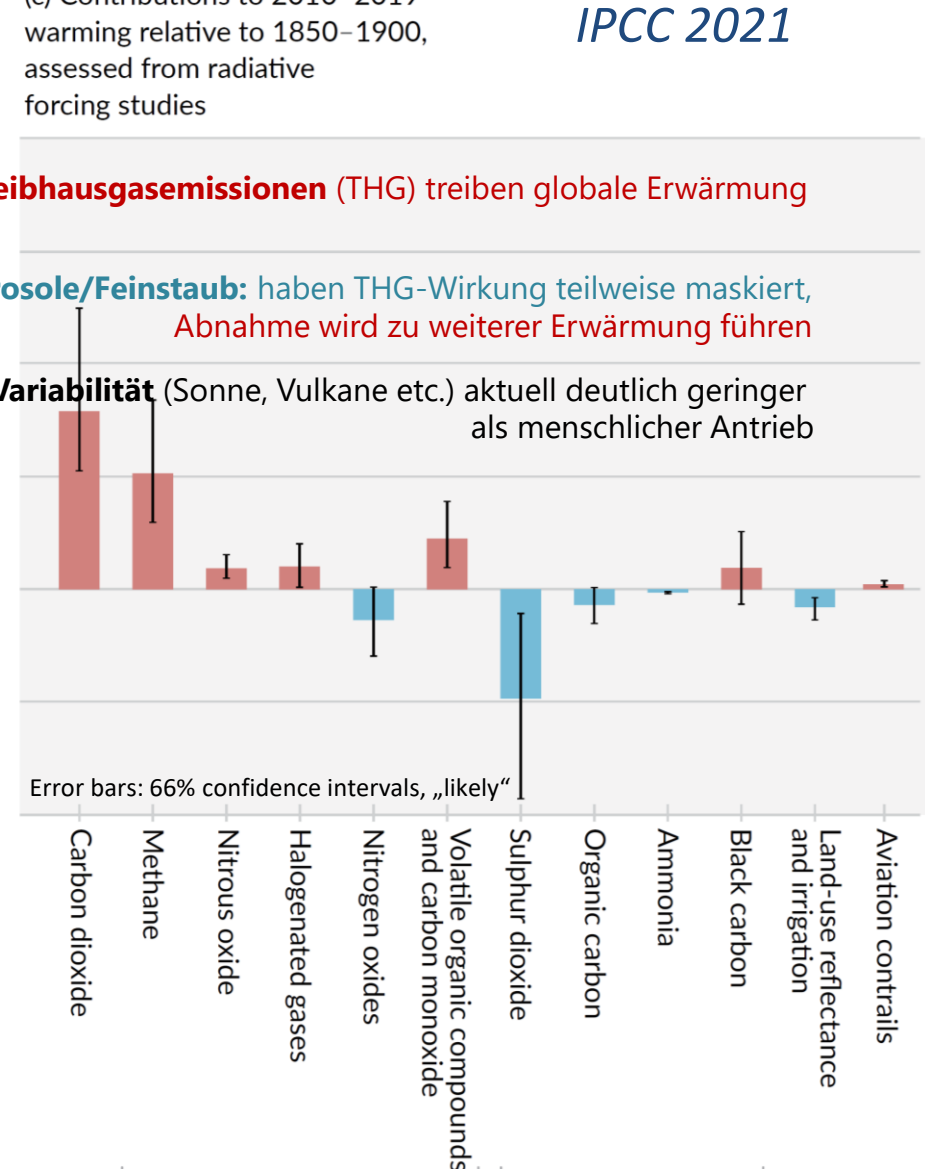
Beobachteter Temperaturanstieg durch menschlichen Einfluss erklärbar (THG).

Natürliche Variabilität (Sonne, Vulkane) deutlich geringer: *Pinatubo* 1991, *Krakatau* 1883, *Tambora* 1815 („Jahr ohne Sommer“ 1816): $\sim 0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

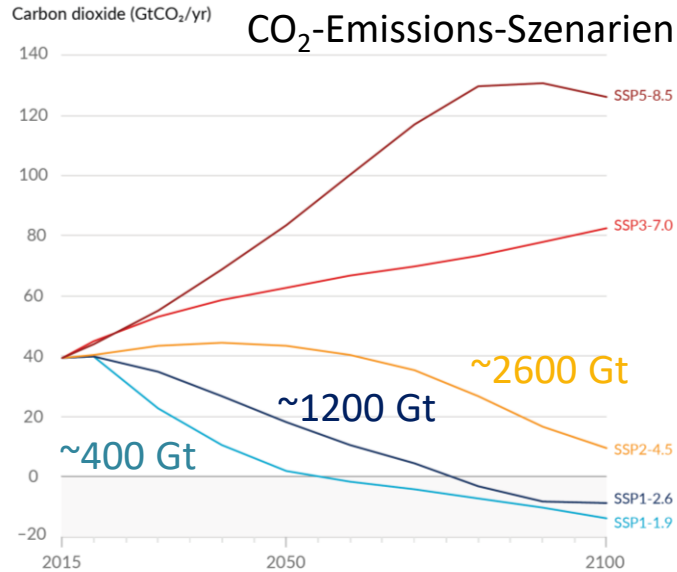
(b) Aggregated contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from attribution studies



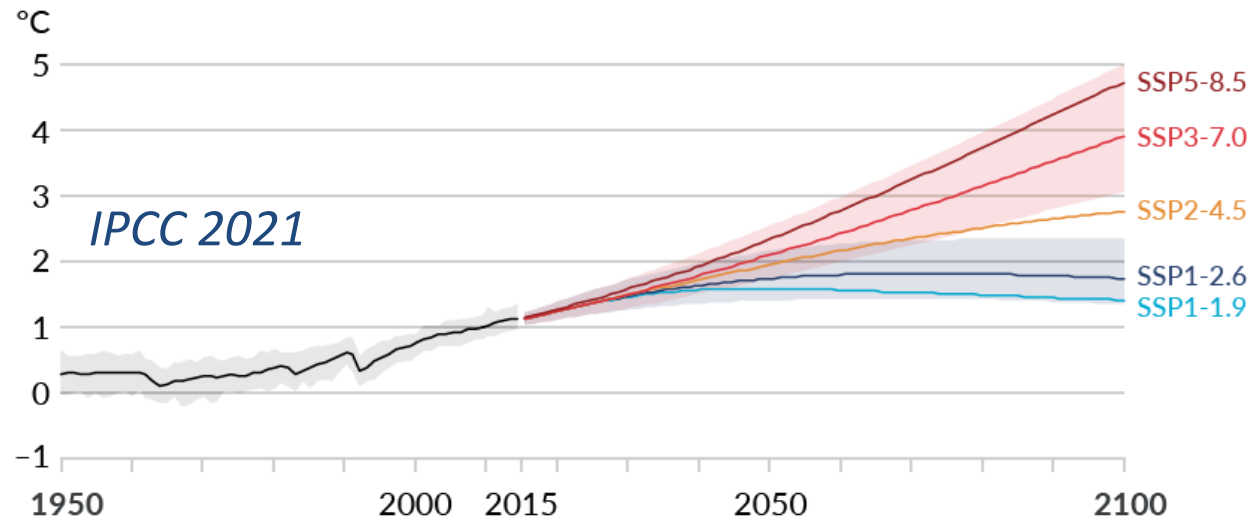
(c) Contributions to 2010–2019 warming relative to 1850–1900, assessed from radiative forcing studies



Anthropogener Klimawandel bis 2100



(a) Global surface temperature change relative to 1850–1900



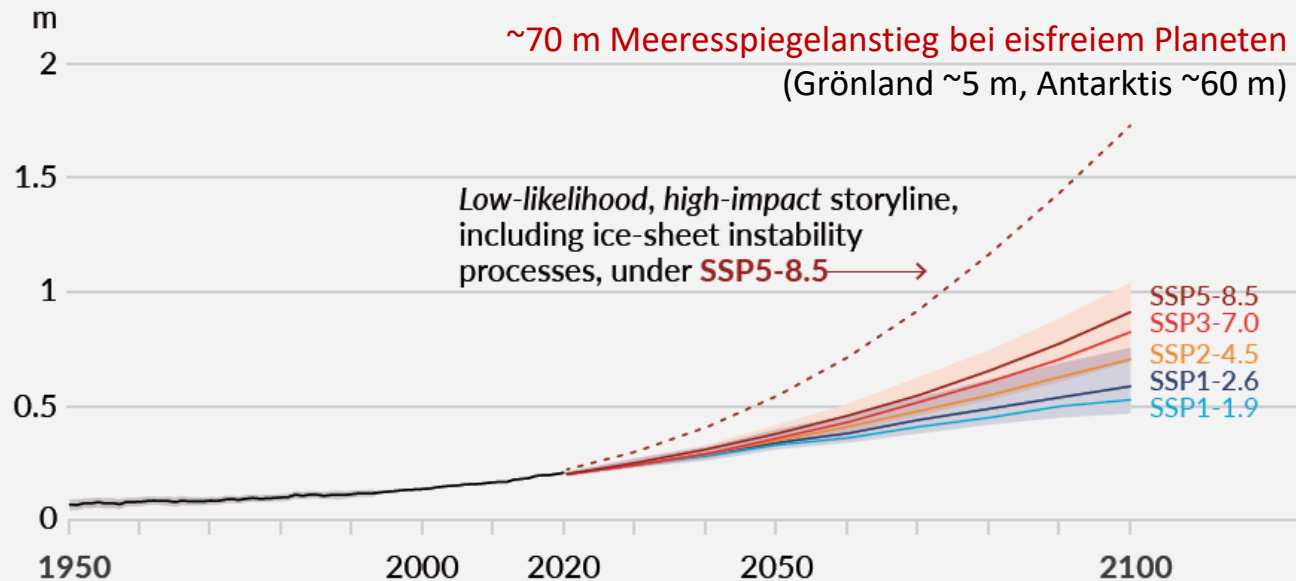
Temperaturzunahme: 2-5 °C

Meeresspiegelanstieg: 0.5-1 m (2 m)
(2300: bis ~5 m, evtl. > 15 m)

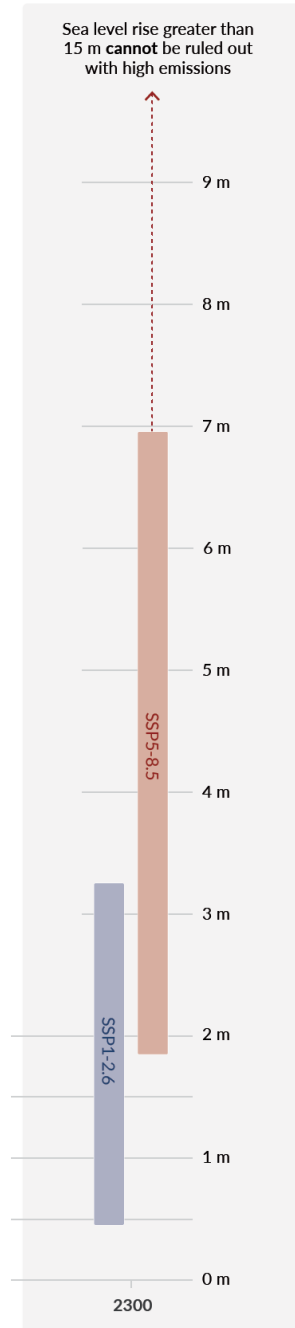
Nur bei sofortiger Bremsung der CO₂-Emissionen sind Erwärmung & Meeresspiegelanstieg global unter **~2 °C** bzw. **~0.5 m haltbar**

Höhere Zunahme brächte viel höhere Risiken (Kippelemente ...)

(d) Global mean sea level change relative to 1900



(e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900



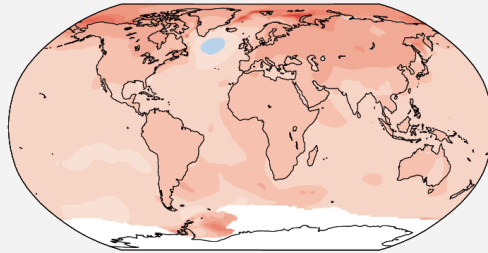
Klimawandel: Temperaturverteilung

(a) Annual mean temperature change (°C) at 1°C global warming

Warming at 1°C affects all continents and is generally larger over land than over the oceans in both observations and models. Across most regions, observed and simulated patterns are consistent.

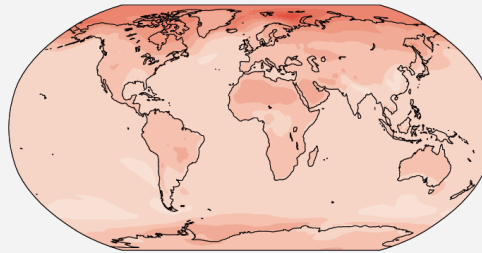
Beobachtung

Observed change per 1°C global warming



Simulation

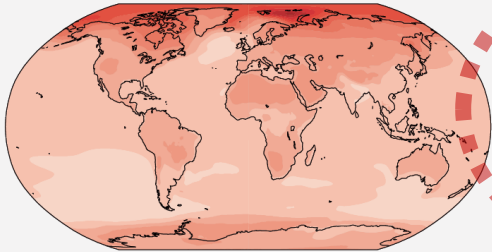
Simulated change at 1°C global warming



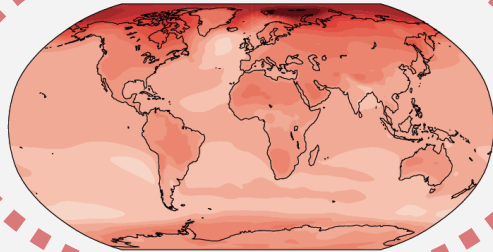
(b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850–1900

Across warming levels, land areas warm more than ocean areas, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

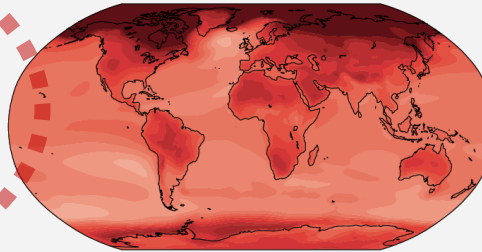
Simulated change at 1.5°C global warming



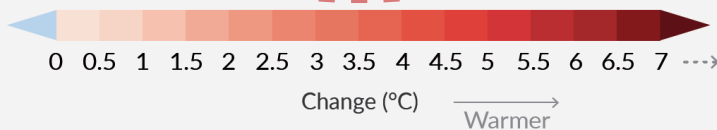
Simulated change at 2°C global warming



Simulated change at 4°C global warming



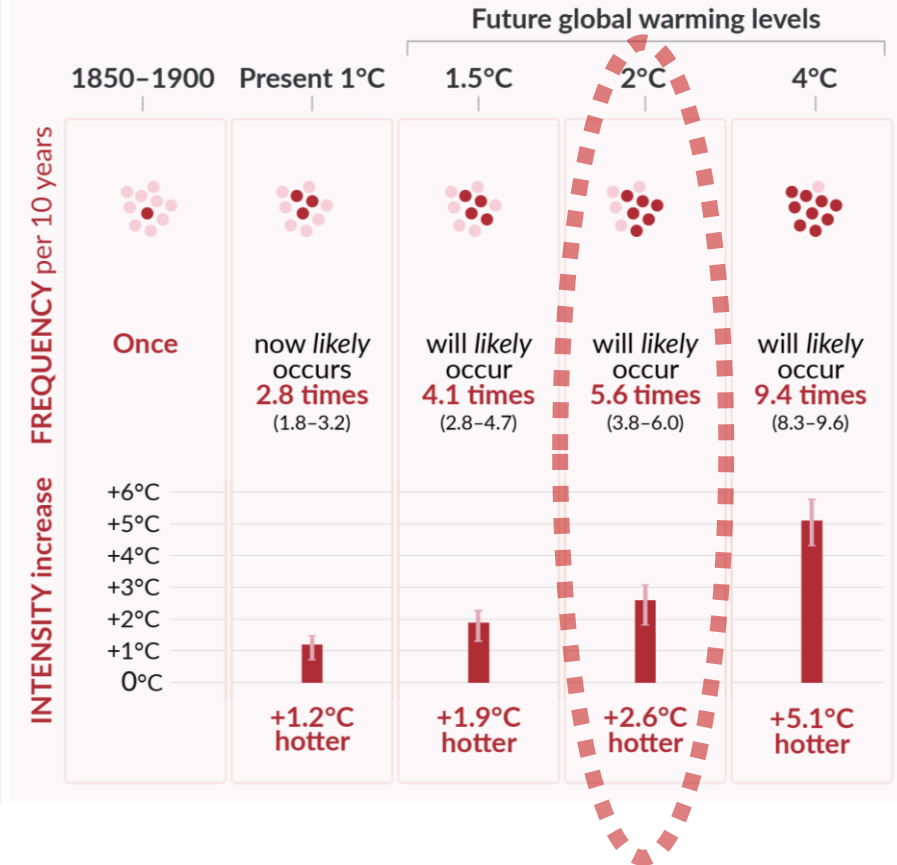
IPCC 2021



→ visualization with movies etc.: climate.nasa.gov ...

10-year event

Frequency and increase in intensity of extreme temperature event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence



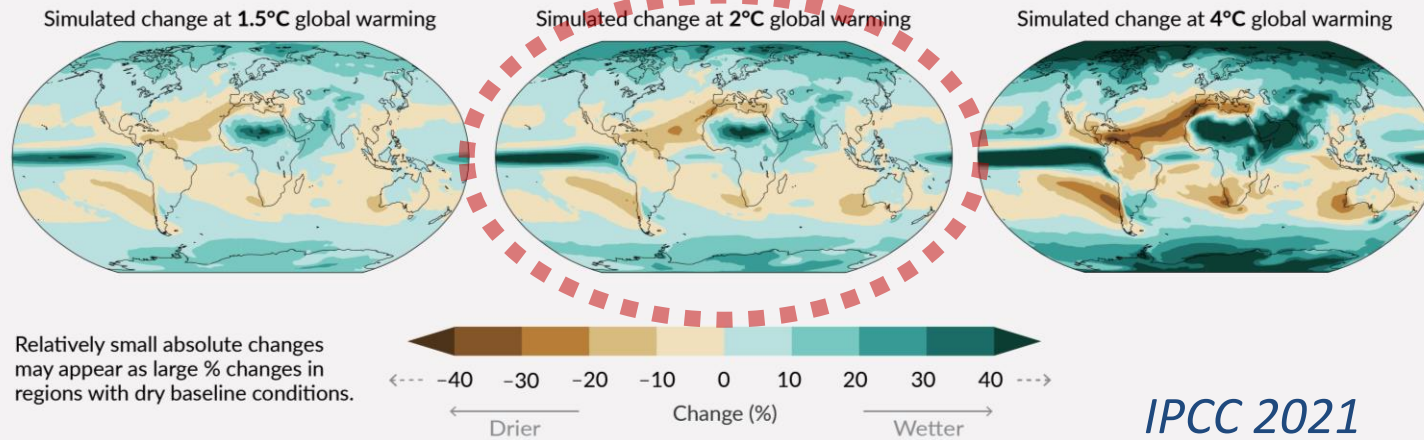
Regionale Unterschiede

- Simulationen entsprechen Beobachtungen, stärkere Erwärmung über **Land & Polarregionen** → *Biodiversität, Permafrost ...*
- weitere lokale/regionale Erhöhungen durch **Hitzewellen & urbane Hitzeinseln (bis +10°C)** → *Gesundheit, Siedlungsräume, Migration ...*

Klimawandel: Niederschlag & Bodenfeuchte

(c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850–1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

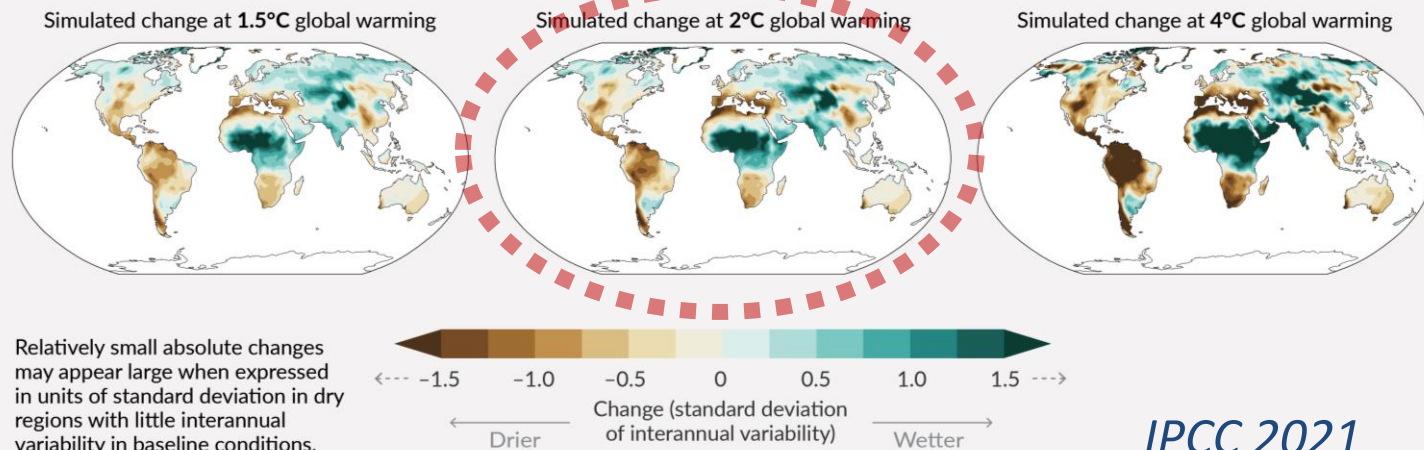


Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions.

IPCC 2021

(d) Annual mean total column soil moisture change (standard deviation)

Across warming levels, changes in soil moisture largely follow changes in precipitation but also show some differences due to the influence of evapotranspiration.

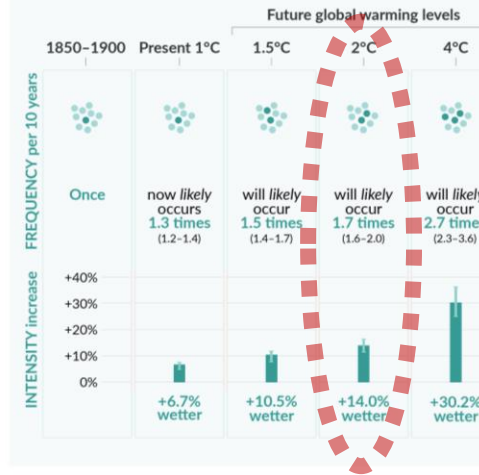


Relatively small absolute changes may appear large when expressed in units of standard deviation in dry regions with little interannual variability in baseline conditions.

IPCC 2021

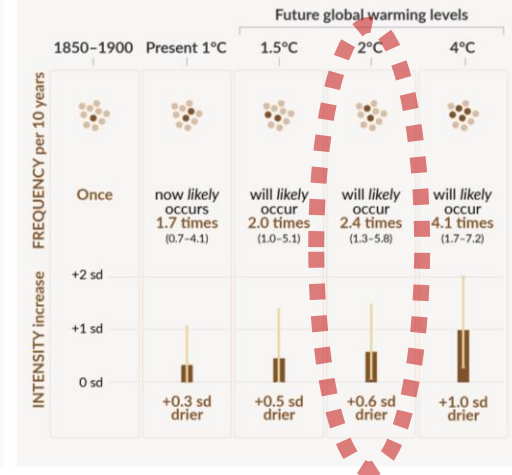
Heavy precipitation over land 10-year event

Frequency and increase in intensity of heavy 1-day precipitation event that occurred once in 10 years on average in a climate without human influence



Agricultural & ecological droughts in drying regions 10-year event

Frequency and increase in intensity of an agricultural and ecological drought event that occurred once in 10 years on average across drying regions in a climate without human influence



Starke regionale Veränderungen & Zunahme von Extremwetter-Ereignissen

Fokus: Mittelmeer, Amazonas, Sahara ...

Simulationen entsprechen Beobachtungen,

Zunahme von **Überflutungen & Dürren**:

Einfache Begründung (*Clausius-Clapeyron*):

wärmere Luft kann mehr Wasser aufnehmen & abgeben (~7% pro Grad Celsius)

→ existentielle Bedrohungen für Landwirtschaft, Siedlungsräume (Ahrtal, Treffen) ...

Klimawandel: Kernbotschaften

Die fünf Kerninfos zum [aktuellen] Klimawandel in nur 20 Worten¹:

1. Er ist real.
2. Wir sind [die] Ursache.
3. Er ist gefährlich.
4. [Die] Fachleute sind sich einig.
5. Wir können noch etwas tun.

klimafakten.de [Anmerkungen UP]

¹**Originalfassung** (A. Leiserowitz, Yale University):
It's real. It's us. Experts agree. It's bad. There's hope.
[besser weil kürzer & korrekter ohne bestimmte Artikel]

Kurzfassung Gesellschaft & Politik (IPCC, DKK, klimafakten.de)
wissenschaftliche Erläuterung/Kommentierung [UP]:

- 1: aktuell & historisch, **durch Messdaten nachgewiesen:**
 $\Delta T_{\text{glob}} > 1^{\circ}\text{C}$; $\text{CO}_2 > 400 \text{ ppm}$ vs. 200-300 ppm über 800 Tsd. Jahre
- 2: aktuell, durch Messdaten & Modelle nachgewiesen,
keine plausible alternative Erklärung für Beobachtungen
- 3: **Extremwetter** (Hitzewellen, Dürren, Sturmfluten) durch erhöhte Energie- & Wasser-Aufnahme/Abgabe der Atmosphäre,
Meeresspiegelanstieg (2100: **0,5-2 m**) → **Migration**
- 4: **Konsens analog sonstige wiss.-techn. Fragen**; Ausreißer statist. normal, wiss. sinnvoll, prakt. irrelevant (Meinungsvielfalt siehe perpet. mobile etc.; www.klimafakten.de/konsens; www.ipcc.ch)
- 5: **Begrenzung & Anpassung: Mitigation**: THG-Emissionskürzung;
Adaptation: Infrastruktur etc.; **Climate Geoengineering**: aufwend. Notlösungen mit teils unabsehbaren Nebenwirkungen (CDR/CCS, SRM etc.: CO_2 -Entfernung, Aerosol- & Wolkenmodifikation ...)

Summary for Policymakers, IPCC Climate Change 2021, The Physical Science Basis; IPCC AR 1-6, 1990-2023, ipcc.ch; DKK & www.klimafakten.de, climate.nasa.gov ...

Klimaschutz: Praktische Lösungen

Umfassende gemeinsame Anstrengungen erforderlich: **individuell & gesellschaftlich** („Privat & Staat“)

- **Kritischer Rationalismus & Popper et al.:** Piecemeal Engineering/Stückwerkstechnik bzw. Politik vieler Schritte (so groß wie möglich, besser klein als gar nicht) wie bei Lösung anderer wichtiger Fragen/Probleme der letzten Jahrzehnte/Jahrhunderte (möglichst schneller)
- **Anthropozän & Crutzen et al.:** Ozonloch/FCKW als Vorbild/Referenz für rasche gemeinschaftliche Lösung globaler Umweltprobleme: stratosph. Ozon-Forschung seit 1930/1970; Ozonloch-Entdeckung 1985; Montreal Protocol 1987/1989; **Fatalismus unangebracht!**
- **individuelle Verantwortung/Maßnahmen & gesellschaftliche Leitlinien/Mindeststandards** (lokal, regional, global): jede Person, jedes Unternehmen, jede Gemeinde, jedes Land zählt; **jede/jeder nach ihren/seinen Möglichkeiten** (Schritt für Schritt)

Einsparungen von Energieverbrauch & CO₂/THG-Emissionen: **so weit & so schnell wie sinnvoll möglich**

- **jede kWh & jedes kg CO₂ zählt;** besser heute als morgen; ohne Panik, aber auch ohne unnötige weitere Verzögerungen
- **sinnvoll** = sozial ausgewogen, persönlich & gesellschaftlich tragbar, technisch & wirtschaftlich machbar (Vorsorge-Prinzip)
- **Warten auf die anderen unangebracht:** jeder Beitrag zählt; historische Beiträge & Pro-Kopf-Emissionen in entwickelten/westlichen Ländern höher; Vorbildfunktion angemessen; technolog. Rückstand vermeiden: China trotz wirtschaftl. Nachholbedarf (per capita BIP) zunehmend aktiv in Klimaschutz (analog Umweltschutz: NCP/PRD/YRD vs. London/LA/Ruhrgebiet ...)

Sparmaßnahmen & Technologiewechsel: **sowohl/als auch, nicht entweder/oder**

- **CO₂-Bepreisung/Besteuerung** (Verursacher-Prinzip, Innovations- & Marktmechanismen) & soziale Kompensation durch **Klimabonus, Förderungen** für klimafreundliche/CO₂-neutrale Technologien ... (PIK/Edenhofer et al.)
- **Erneuerbare Energien:** Photovoltaik, Wind, Wasser, Biomasse/Biogas; **Gebäudetechnik:** Wärmedämmung, Wärmepumpen, Sonnenschutz & natürliche Belüftung statt Klimaanlage ...; **Mobilität:** Ausbau ÖPNV; Einsatz, Entwicklung & Evaluierung (learning by doing) aller erfolgversprechenden Antriebstechniken (Batterien, Brennstoffzellen, E/Syn-Fuels, Wasserstoff etc.); **(Wieder-)Aufforstung** (FMNR, ETHZ Crowther Lab etc.); **Nachhaltiger Konsum & reduzierter CO₂-Fußabdruck:** Verkehr, Ernährung, Kleidung etc. (Reduktion, Kompensation); **Beginn nach Machbarkeit/Verfügbarkeit, Priorisierung/Selektion mit zunehmendem Erkenntnisgewinn/Konsens.**

Klimaschutz: Individuelle Beiträge

Persönliche CO₂-Emissionsbeiträge (ökologischer Fußabdruck): durchschnittlich **~10 t pro Jahr & Person in D/Ö** (7-17 t, u./o. 10%); USA: ~17 t, Indien ~2 t; klimaneutral global: < 2 t; kurzfrist. individ. **Reduktionspotential ~50%** (D/Ö) und **Kompensationspotential ~100%**: Spenden (**~25 EUR/t**) für Projekte zur CO₂-Vermeidung durch erneuerbare Energien, sparsame Technologien, Aufforstung ... wo Sparpotential am höchsten, meist in Entwicklungsländern, sozial/karitativ orientiert; z.B. klima-kollekte.at, www.atmosfair.de; Bestätigung Finanztest/WWF; **Limit:** globale & soziale Skalierung → **langfristig globaler Technologiewechsel erforderlich** (staatl. Umstellung auf erneuerbare Energien)

Individuelle Reduktionspotentiale (~50%): „Chance der kleinen Entscheidungen“ (von Elverfeldt; vgl. „Tyranny of small decisions“, Kahn 1966)

Kategorie	Anteil an CO ₂ -Emission (in %)	Durchschnittlicher Verbrauch (in t)	Reduktionspotential (in t)	Einsparungsmaßnahmen
Konsum	27,90	2,79	1,50	Weniger Konsum; langlebige, regionale Produkte
Heizung privat	18,20	1,82	0,40	Weniger Heizen; Öl/Gas wenn möglich ersetzen
PKW	14,20	1,42	1,00	Weitgehende Nutzung von ÖPNV statt PKW
Ernährung	14,10	1,41	1,00	Mehr vegetarische Kost; regionale, frische Produkte
Staatsanteil	10,10	1,01	0,00	Kurzfristig kein Einfluss
Flugreisen	7,70	0,77	0,77	Vollständiger Verzicht auf Flugreisen
Stromverbrauch privat	6,80	0,68	0,68	Wechsel zu Anbietern erneuerbarer Energien
ÖPNV und Bahn	1,00	0,10	0,00	Kurzfristig kein Einfluss
Summe	100,00	10,00	5,35	www.klima-kollekte.de , Caritas, Diakonie ...

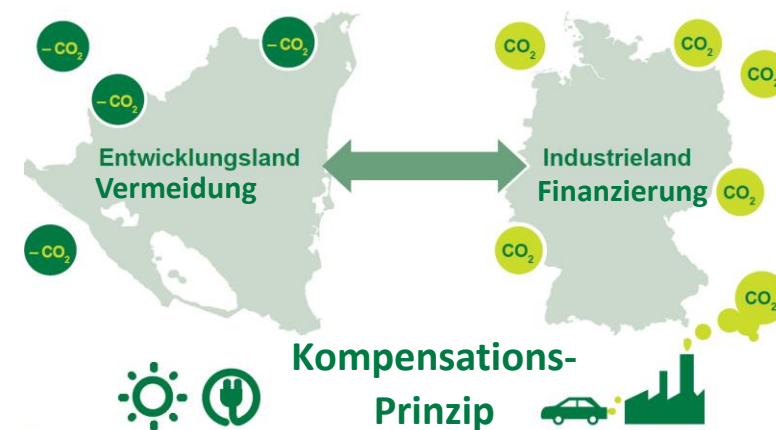
Größtes Sparpotential: Reisen

Langstreckenflug: ~4-20 t CO₂/Pers.

Kurzstreckenflug: ~1-2 t CO₂/Pers.

Kreuzfahrt (7 Tage): ~2 t CO₂/Pers.

Wer kann, sollte Dienst- & Urlaubs-Reisen reduzieren oder kompensieren (~25 EUR/t)



Weitere Orientierung/Information: www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person;uba.co2-rechner.de; www.fussabdruck.de; www.atmosfair.de; klima-kollekte.at; klima-kollekte.de (mehr Info-Materialien in Fußleiste)

Lösungsansätze für globale Probleme im Anthropozän

1) Kritischer Rationalismus (KR) & Toleranzprinzip für Abbau/Auflösung gesellschaftlicher Polarisierungen/Blockaden:

- **auf kritische Argumente eingehen** u. diese sachlich widerlegen od. Limitierungen eigener Argumente erkennen: *“Ich kann mich irren, Du magst recht haben, und durch [gemeinsame] Anstrengung können wir der Wahrheit näher kommen”*; **“we can work it out”**

2) Vermittlung der Leistungen & Limitierungen von Wissenschaft, Politik & Gesellschaft (Schule, Studien, Medien ...):

- Absolutheitsanspruch → **möglichst gut gesichertes Wissen & Handeln** (KR: Piecemeal Engineering/Stückwerkstechnik); absolute Sicherheit → **Wahrscheinlichkeit**; Verifizierung → **Validierung**/Falsifizierung;
- **Versuch & Irrtum** (trial & error) – iterativ, aber nicht leichtfertig, sondern jeweils **ausgehend vom bestgesicherten Stand des Wissens** (Wissenschaft, Erkenntnistheorie, KR); Berücksichtigung neuer **Gegebenheiten/Erkenntnisse** und möglicher **Endpunkte** (respeice finem)
- **Asymmetrie Validierung/Falsifizierung**: Wissenschaft kann nicht absolut sicher nachweisen, was wahr/richtig/zutreffend ist, aber offenlegen, was unwahr/falsch/unzutreffend ist; **Prüfung, Falsifizierung & Eliminierung** „alternativer Fakten“ & invalider Argumente

3) Differenzierte Vorgehensweise & Kommunikation bei komplexen Fragen & Themen:

- **alle Perspektiven**, Optionen & Wahrscheinlichkeiten gründlich analysieren, klären & erläutern; Unsicherheiten anerkennen & offenlegen; Leugnung valider Fakten & Erkenntnisse entschieden zurückweisen (Merchants of Doubt)
- Schlussfolgerungen, Entscheidungen & Maßnahmen **ergebnisoffen diskutieren & nachvollziehbar dokumentieren** (siehe IPCC)
- **bei Unklarheit/Mehrdeutigkeit** (Ambiguität/Ambivalenz): verschiedene valide Optionen/Lösungen **testen/erproben** (siehe Klimaschutz) – **sowohl/als auch, nicht entweder/oder** (Inklusivität & Ambiguitätstoleranz)

4) Lernen aus Erfolgen & Fehlern (Ozonloch, saurer Regen/Waldsterben, Klimawandel, Pandemie ...):

- **mehr Erläuterung** wiss. & gesell. Errungenschaften & Herausforderungen (Vorsorge-Prinzip/Versicherung, Präventions-Paradox ...); **Erklärungen** so einfach wie möglich, aber nicht einfacher; **mehr Klarheit, Offenheit & Präzision** (Wissen/Vermutung; Science/Advocacy ...)
- **Epistemic Web, Open Science & Open Society**: Transparenz & Selbstregelung in Wissenschaft & Gesellschaft

Anhang & Referenzen

Max Planck Gesellschaft (MPG)

- Führende Grundlagenforschungs-Organisation in Deutschland
- 85 Institute an 38 verschiedenen (Universitäts-)Standorten
- ~24 000 Mitarbeitende (Forschung, Technik, Administration ...)
- ~2 Milliarden € Jahresbudget, ~80% öffentliche Mittel (Bund/Länder)
- ~15 000 Publikationen/Jahr in wiss. Fachzeitschriften
- **Leitmotiv: Erkenntnisgewinn zum Wohl der Menschheit,**
“Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen” (Max Planck);
wissenschaftliche Freiheit & Unabhängigkeit der Mitglieder (*Harnack-Prinzip*)
- **30 NobelpreisträgerInnen** inkl. Atmosphären- & Klimaforscher
Paul Crutzen (Chemie 1995) & **Klaus Hasselmann** (Physik 2021)



Kritischer Rationalismus: Lehrbuchwissen

Zitate aus Standard-Lehrbuch der Physik [Anmerkungen UP]:

“Physik [bzw. Natur/Wissenschaft] **beobachtet** und **beschreibt** die ... **Eigenschaften der Welt**, in der wir leben. ... [mündet in] **Theorie**, die präzise **Vorhersagen ermöglicht**”

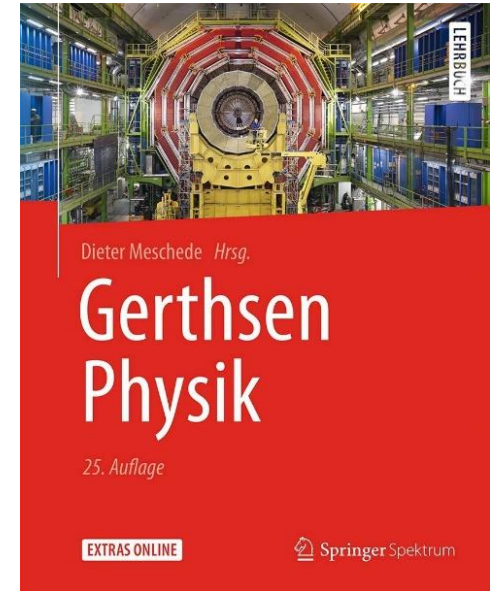
“Physikalische [bzw. natur/wissenschaftliche] **Experimente** haben die Aufgabe, **neue Phänomene** beobachtend zu erschließen, oder **theoretische Vorhersagen** zu überprüfen:
Ein physikalisches [bzw. natur/wissenschaftliches] Experiment ist **gültig**, wenn die [Mess]**Ergebnisse** **reproduzierbar** und von Ort, Zeit und handelnden Personen unabhängig sind.

Mit der **“Gültigkeit” der Theorie** ist es nicht ganz nicht so einfach. Die meisten Physiker [bzw. Natur/Wissenschaftler] **akzeptieren heute die Sicht des Philosophen Karl Popper (1902-1994):**

Eine physikalische [bzw. natur/wissenschaftliche] Theorie kann falsifiziert, aber nicht verifiziert werden.

Ein **gültiges Experiment kann ... eine Theorie widerlegen**. Andererseits kann die Menge aller ausgeführten Experimente **nie mehr als eine Stichprobe** aller möglichen Experimente sein.

Am Ende **setzen sich die Theorien durch, die allen Widerlegungsangriffen standhalten** [und durch möglichst umfassende und vielfach **bestätigte Vorhersagen** validiert werden bzw. **erfolgreiche Anwendungen** erlauben – Technik, Medizin ...].
Sie kommen der Wahrheit [bzw. einer objektiven Realität] immer näher, ohne jedoch den Anspruch auf [absolut] sicheres Wissen erheben zu können.”



Kritischer Rationalismus: Geschichte & Technik

Beispiele für Gültigkeit/Anwendbarkeit, Limitierung & Entwicklung wissenschaftlicher Theorien:

Klassische Mechanik (seit 16./17. Jh.; *Galilei, Kepler, Newton et al.*): Beschreibung & Vorhersage von Bewegungen & Kräften in Natur & Technik mit **gewöhnlichen Dimensionen** (Längen, Geschwindigkeiten, Energien), die mit einfachen menschlichen Sinnen in der Umgebung wahrnehmbar sind (Millimeter-Kilometer ...); **weiterhin gültig für technische Anwendungen in diesem Bereich** (Bautechnik, Maschinenbau ...)

Quantentheorie/Quantenmechanik (seit 1900; *Planck, Schrödinger, Heisenberg, Dirac et al.*): Erklärung von Phänomenen & Wechselwirkungen auf **sehr kleinen Skalen** (Größe/Energie von Atomen, Elektronen, Photonen ...); **Grundlage für moderne Elektronik & Informationstechnologie** (Computer, Mobiltelefon ...)

Relativitätstheorie/relativistische Mechanik (seit 1905; *Einstein et al.*): Erklärung von Phänomenen & Wechselwirkungen mit **sehr großen Geschwindigkeiten/Energien** (Lichtgeschwindigkeit, Galaxien, schwarze Löcher ...); wiss. Erklärung für **spezielle Effekte** in Astronomie/Astrophysik/Kosmologie & Nuklear- bzw. Hochenergie-Physik; Weiterentwicklungen: relativistische Quantenmechanik, Quantenfeldtheorie ...

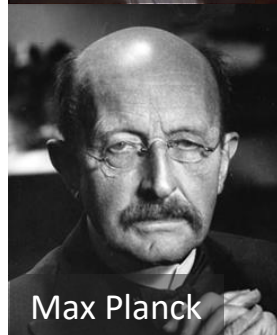
Validierung = Überprüfung & Bestätigung von realen Daten/Fakten & wiss. Erkenntnissen/Theorien; **„Verifikation“ mit absolutem Wahrheitsanspruch** natur/wissenschaftlich **nicht erreichbar/nachweisbar** (nur formalwissenschaftlich im Rahmen selbst-definierter Regeln, z.B. in Mathematik/Logik)

Erinnerung an Erkenntnistheorie & Wissenschaftlichkeit für Studierende & Mitarbeitende [UP, MPIC]:

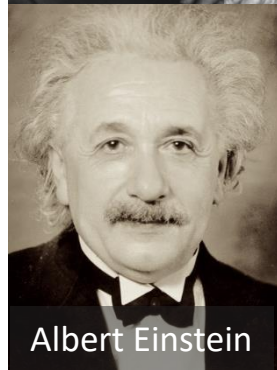
For consistency with the basics of science and epistemology, please avoid the word “verify” in standard scientific papers (unless you want to address philosophical/epistemological issues). We can validate hypotheses/models/theories (i.e., increase their likelihood/reliability), but we cannot “verify” them (i.e., prove that they are true), because there can always be other more complete explanations for what we observe. An example is the approach of solipsism, i.e., that we are just dreaming what we believe to experience. To me, the latter seems unlikely, but it is essentially impossible to rebut. For more information see Karl Popper et al. ...



Isaac Newton

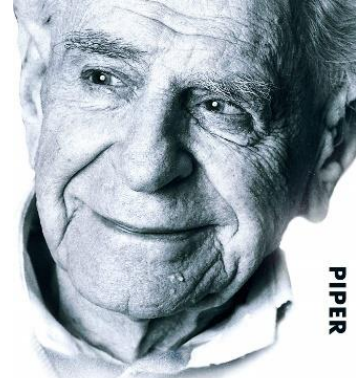


Max Planck



Albert Einstein

Kritischer Rationalismus: Wissenschaft & Gesellschaft



Karl R. Popper
Alle Menschen
sind Philosophen

Zielsetzung & Erfolge der (Natur-)Wissenschaften

- **Erklärung** der Wirklichkeit, näherungsweise **Beschreibung** einer objektiven Realität/Wahrheit
- **Voraussage** von Ereignissen/Ergebnissen, die **unter bestimmten Umständen** eintreten
- **Wert & Validität wissenschaftlicher Erkenntnisse als Grundlage für Problemlösungen & Verbesserungen** im Alltag leicht nachvollziehbar (Technik, Medizin, Politik/Gesellschaft): *Verkehrs- & Informationstechnik (Computer, Internet, Mobiltelefon ...), Medizin & Lebenserwartung, Wetter- & Klimavorhersagen ...*

Erkenntnistheoretische Grundlagen der (Natur-)Wissenschaften:

- **Abgrenzungskriterium** (kritischer Rationalismus (KR) & moderne Epistemologie; *Popper et al.*): wissenschaftliche **Argumente/Theorien** müssen **überprüfbar/widerlegbar** sein (**Falsifizierbarkeit**)
- Wissenschaft kann **keine absolute Wahrheit** bieten (vgl. Solipsismus), aber Fakten, Argumente & Theorien **prüfen** und **validieren** oder **widerlegen** sowie valide Erklärungen & **zielführende Entscheidungsgrundlagen** bereitstellen

Wissenschaftliche & gesellschaftspolitische Schlussfolgerungen:

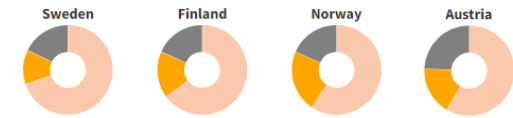
- **Ergebnisoffene Forschung, sachliche Diskussion & offene Kommunikation:** Asymmetrie Falsifizierung/Verifizierung, Validierung & Wahrscheinlichkeit vs. Verifizierung & absolute Sicherheit etc.
- **Toleranzprinzip** (KR-Kernsatz): **kritische Argumente hören, eigene Meinungen hinterfragen & aus Erfahrung lernen.** *“Ich kann mich irren, Du magst recht haben, und durch [gemeinsame] Anstrengung können wir der Wahrheit näher kommen”*

Open Science & Open Communication

Berlin Declaration 2003, OA2020, Plan & Coalition S, ESAC ...

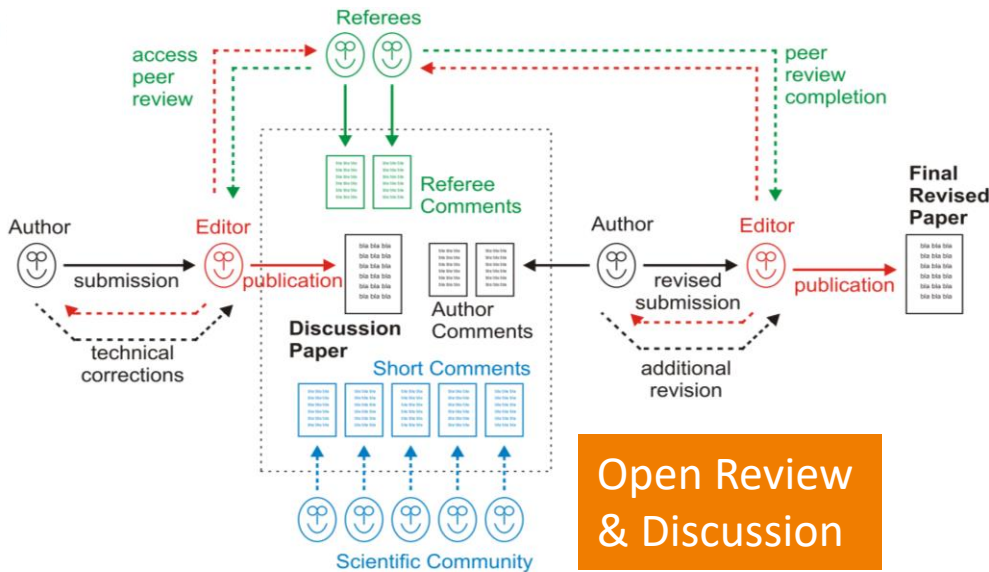


Legend: Transformativ agreement (orange), Fully OA journal (yellow), Hybrid/Closed (grey)



cOAlition S
Making full and immediate Open Access a reality

A DECLARATION OF COMMITMENT BY PUBLIC RESEARCH FUNDERS



Open Review & Discussion

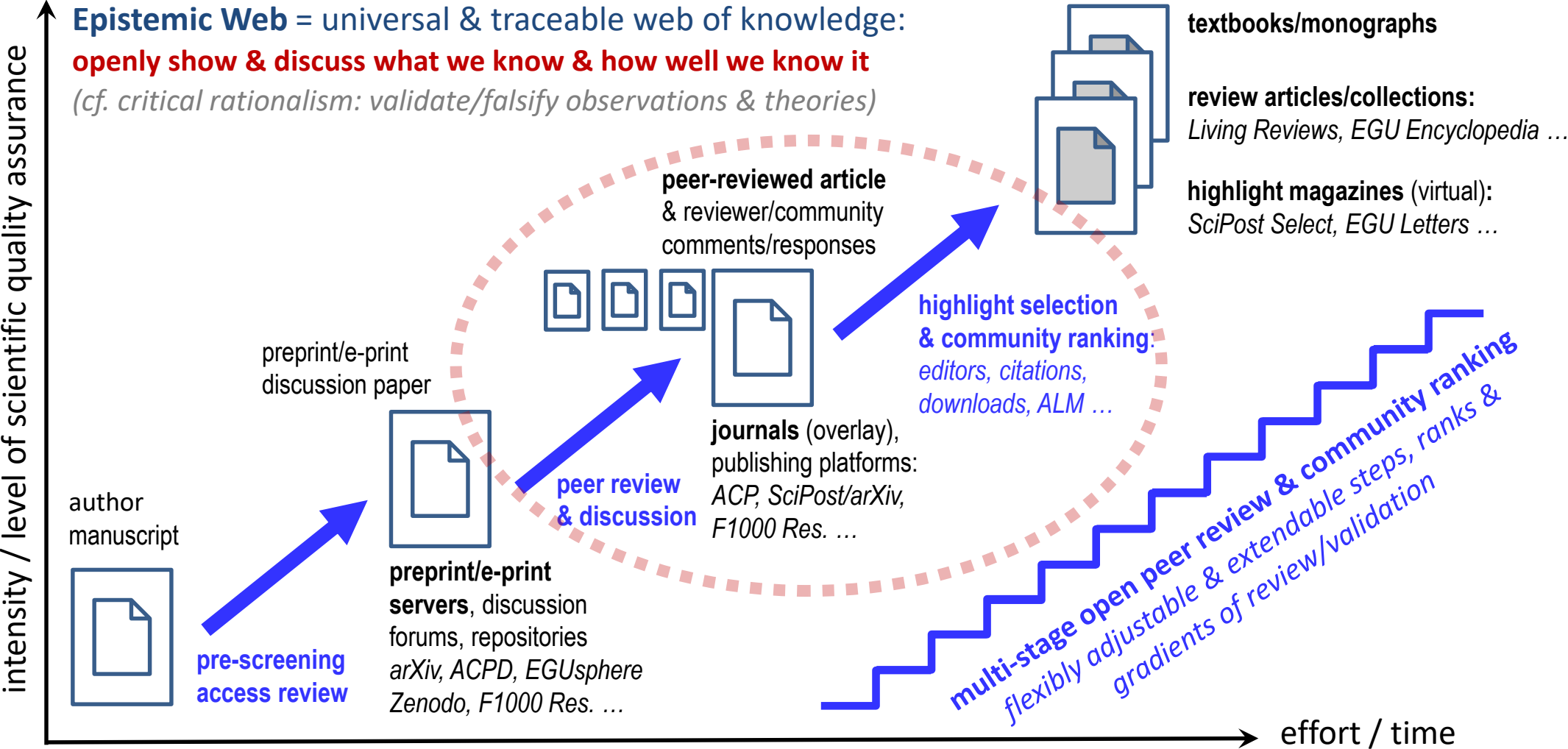
Open Access: free online availability & use of scholarly research articles

- **more & better information** for scholars & society (teaching, innovation ...)
- **equal opportunities** (social/global) & copyright (Creative Commons)
- **re-integrate scholarly & common knowledge** (e.g., Wikipedia figures, validated vs. alternative facts, climate change, pandemic measures ...)
- **liberate** distorted market for scholarly information (subscription oligopoly)
- **enhance** interdisciplinary exchange, discussion & collaboration
- **advance scholarly evaluation & quality assurance:** open review & discussion, new metrics beyond citation counting oligopoly (ALM) ...

Interactive OA Publishing & Open Peer Review:

- **combine & integrate** strengths of traditional peer review with virtues of **transparency & self regulation** in scientific quality assurance
- **free speech;** foster & document **scientific discourse;** save reviewer capacities; maximize quality assurance & **information density**
- **ACP/EGU** (since 2001): top quality & visibility at low rejection rates; large volume at low cost; financial sustainability & substantial income: 19 journals; >50,000 papers; >180,000 public comments, ~5 Mio EUR/yr
- **F1000 Research, SciPost Physics/arXiv** ... since 2012

Epistemic Web & Open Science



Practice & demonstrate transparent & rational approach of solving complex questions & problems through open science in global commons of scholarly knowledge (*open access, open data, open review, open source ...*)

⇒ **role model for societal decision processes**



Submit a manuscript Manuscript tracking

- About
- Editorial & advisory board
- Articles
- Special issues
- Highlight articles
- Subscribe to alerts
- Peer review
- For authors
- For reviewers

Atmos. Chem. Phys., 16, 3761-3812, 2016
<http://www.atmos-chem-phys.net/16/3761/2016/>
doi:10.5194/acp-16-3761-2016
© Author(s) 2016. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

Article Peer review Metrics Related articles

Research article

22 Mar 2016

Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous

James Hansen et al.

Hansen et al. 2016 (UN-FCCC CoP 21, Paris 2015):
110 comments, > 290 000 views

acp.copernicus.org/articles/16/3761/2016/acp-16-3761-2016-discussion.html

Download

- Final revised paper (published on 22 Mar 2016)
- Supplement to the final revised paper
- Discussion paper (published on 23 Jul 2015)
- Supplement to the discussion paper

Download



- Supplement (2930 KB)

Short summary

We use climate simulations, paleoclimate data and modern observations to infer that continued high fossil fuel...

► Read more

Interactive discussion

Status: closed

AC: Author comment | RC: Referee comment | SC: Short comment | EC: Editor comment

- Printer-friendly version - Supplement

SC C5202: 'SC Two papers that conflict with section 2.2. argument for Eemian "superstorm" activity', Andrew Revkin, 26 Jul 2015
SC C5522: 'Is a 10% increase in wind speed enough to increase wave heights enough to move the Bahamian boulders in the Eemian?', Michael Wehner, 31 Jul 2015

AC C8101: 'Response to SC C5522', James Hansen, 15 Oct 2015

AC C5615: 'Boulders in the Bahamas: Response to Comment by A. Revkin on paper Ice Melt, Sea Level Rise and Superstorms', James Hansen, 04 Aug 2015

SC C5885: 'Boulders show mega-tsunamis and multi-metre sea level rise could result from rapid Arctic warming; both precautionary and preventative actions are required urgently', John Nissen, 13 Aug 2015

AC C7872: 'Response to SC C5885', James Hansen, 12 Oct 2015

SC C6270: 'Speculations on superstorms' Max Engel, 26 Aug 2015

Citation

- BibTeX
- EndNote

Share



User ID

Password

► New user? | ► Lost login?

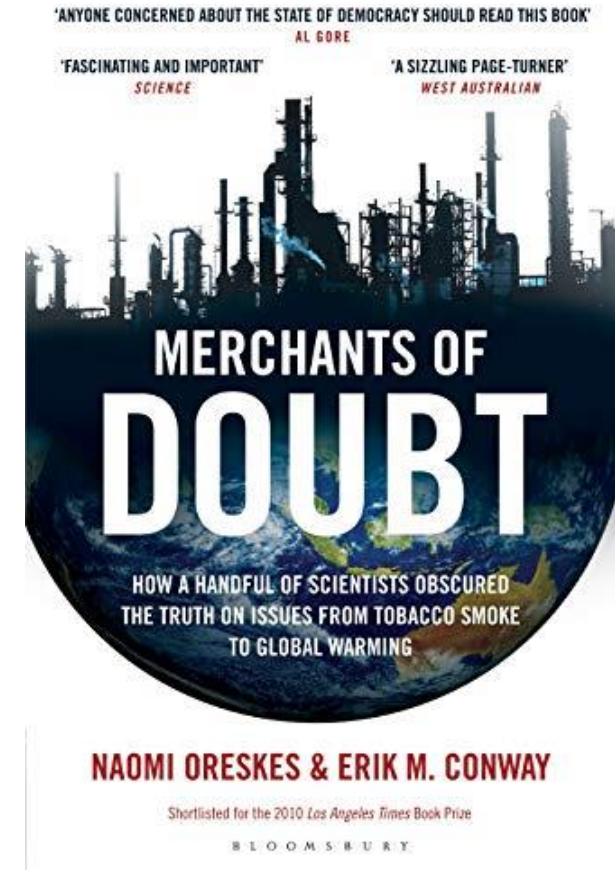
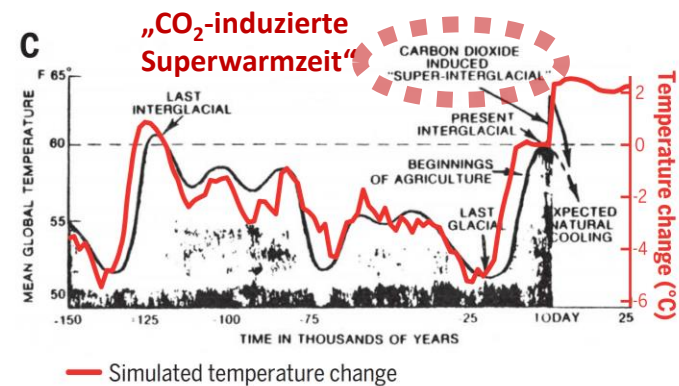
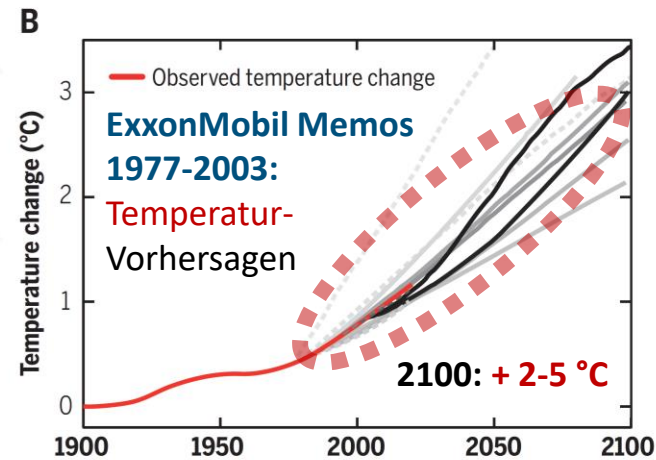
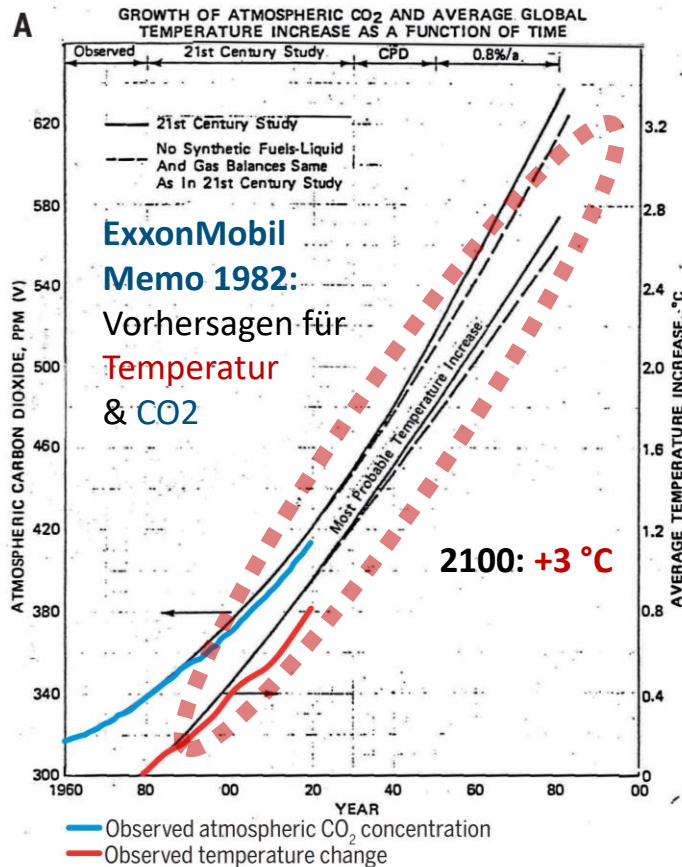
Journal metrics

IF 5.053

IF 5-year 5.656

SNIP 1.574

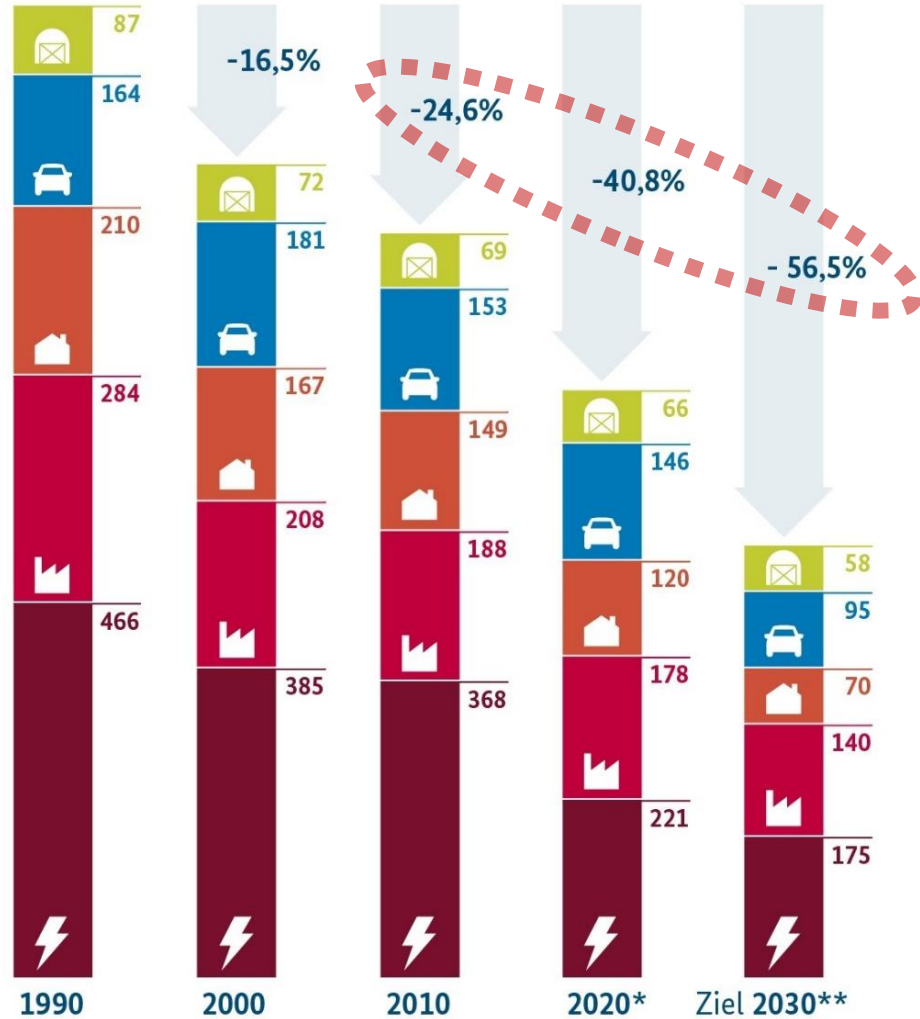
Klimawandel: Leugner & Merchants of Doubt



ExxonMobil & andere Energieunternehmen wussten bereits sehr früh wohin die Reise geht (seit 1970er/1980er). Dennoch veröffentlichten sie anderslautende Stellungnahmen und unterstützten pseudo-wissenschaftliche & politische Leugner des Klimawandels bzw. des tatsächlichen Wissensstandes bis in die Gegenwart. **RWE-Rechtsvertreter 2006**: „Ob es Klimaveränderungen geben wird, ist wissenschaftlich nicht bewiesen, Kausalzusammenhänge zwischen den einzelnen menschlichen Einflussnahmen auf die Umwelt und Klimaphänomene sind offen.“ Einige **Pseudo-Wissenschaftler (Merchants of Doubt)** und ihre Lobby-Netzwerke leugneten bzw. vernebelten den Wissenstand und wiss. Konsens sowohl bezüglich Klimawandel als auch bezüglich anderer politisch/regulatorisch wichtiger Zusammenhänge (**Ozonloch/FCKW, Rauchen/Krebs** ...).

Klimaschutz: Reduktion von Treibhausgas-Emissionen

Deutschland 2021: 760 Mio t (CO₂ Äq.), **-40%** (1990)



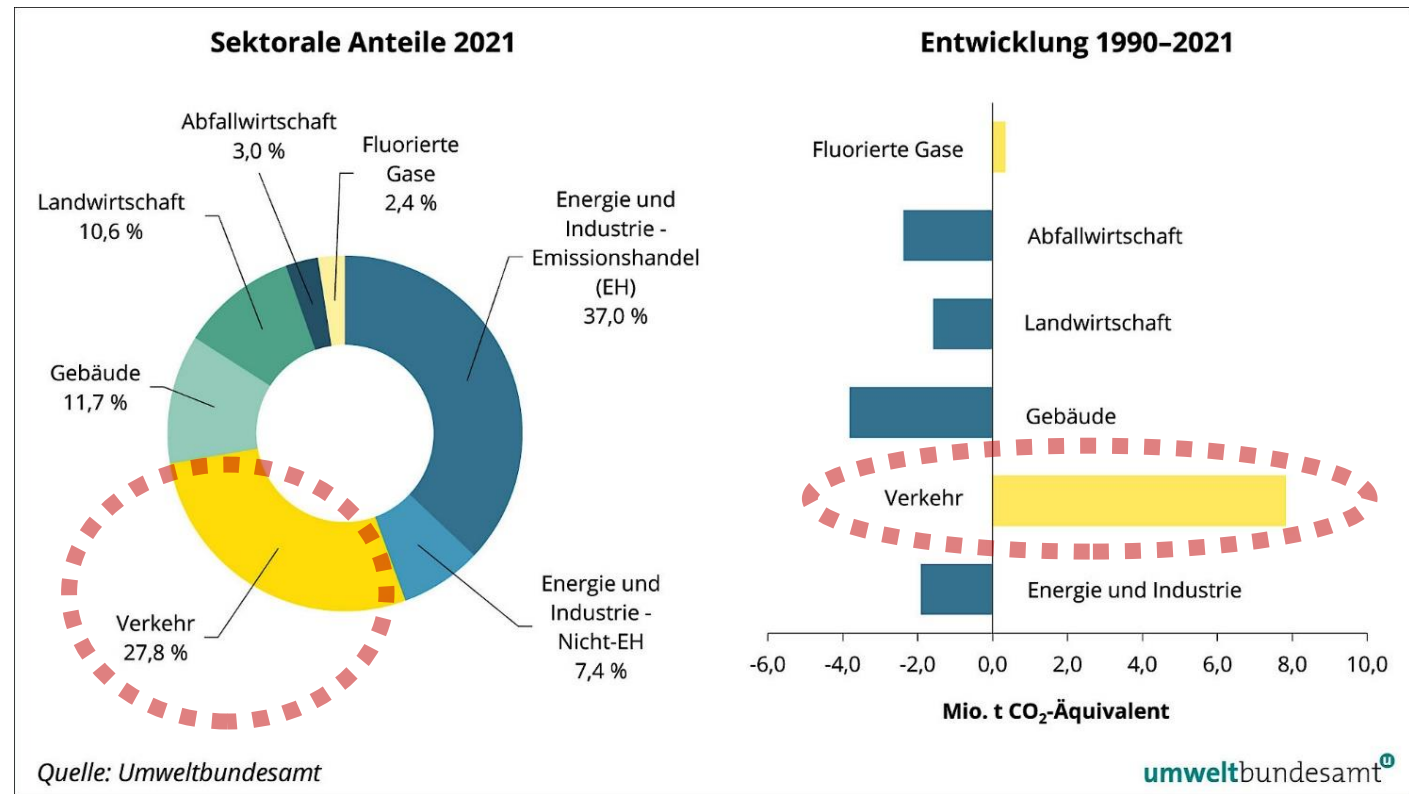
Energiewirtschaft
 Industrie
 Gebäude
 Verkehr
 Landwirtschaft

Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren (in Mio t CO₂-Äquivalente)

* Daten für 2020 vorläufige Zahlen

** Jahresemissionsmengen aller Sektoren für 2030 laut Klimaschutzgesetz

Österreich 2021: 77,5 Mio t (CO₂ Äq.), **-2%** (1990), Ziel 2030: **-55%**



www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase

Deutschland: substantielle Einsparungen, ~1 kg CO₂ pro kWh Kohlestrom

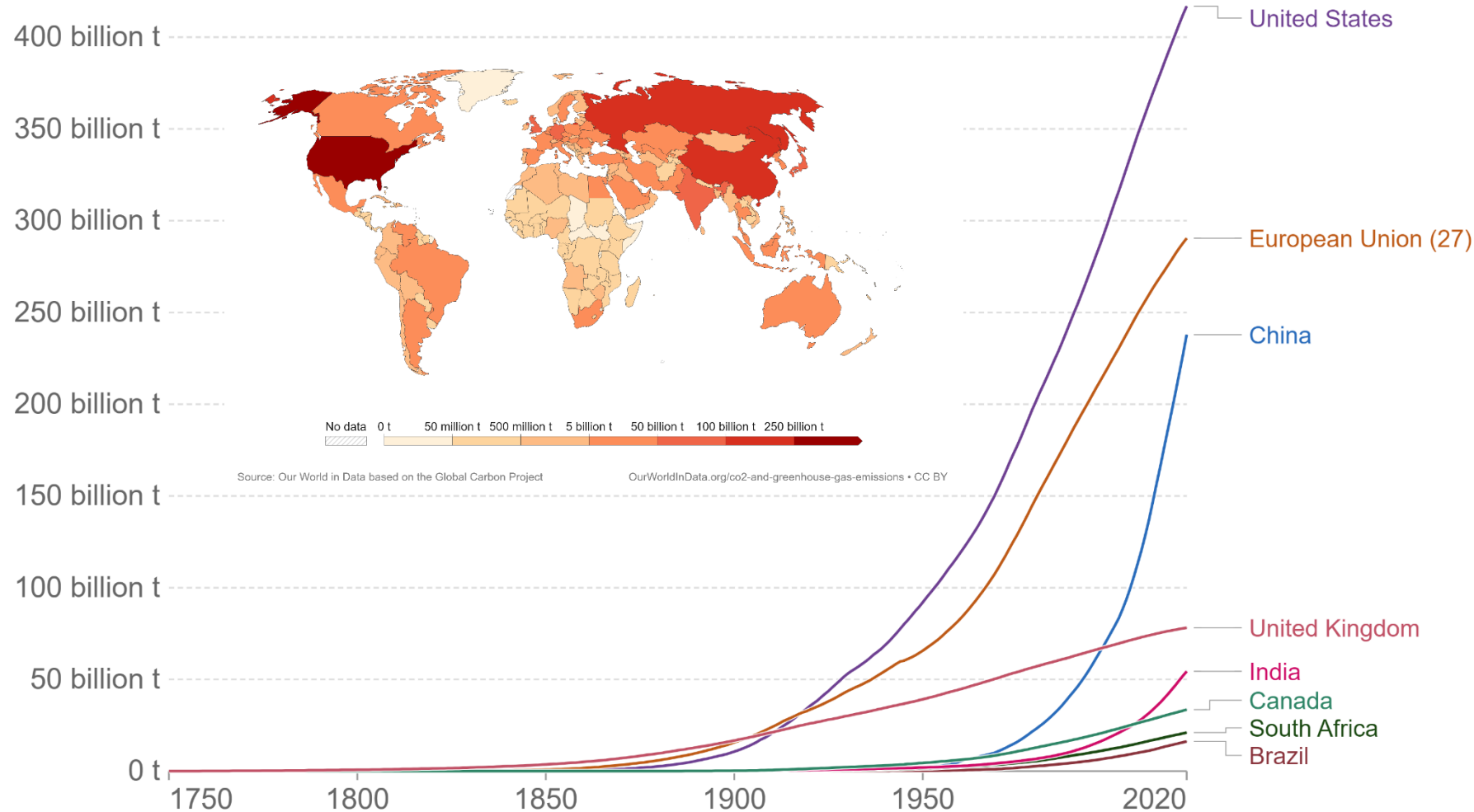
Österreich: verstärkte Anstrengungen nötig, **Verkehrsproblem**

www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen

www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen

Cumulative CO₂ emissions

Cumulative emissions are the running sum of CO₂ emissions produced from fossil fuels and industry¹ since 1750. Land use change is not included.



Kumulativer Beitrag verschiedener Länder & Regionen zu CO₂-Emissionen & globaler Erwärmung:

- Hauptanteil & Hauptverantwortung: **USA, EU+UK**
- keine Grundlage bzw. Entschuldigung für ein **“Warten auf China”** u.a. bei Maßnahmen zur CO₂-Reduktion
- ganz im Gegenteil: bei Pro-Kopf-Skalierung wäre der **Anteil von China u.a. noch kleiner**; zudem werden dort aktuell große Anstrengungen für Klima-Neutralität bis 2060 unternommen (E-Mobilität ...)
<https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china>

Source: Our World in Data based on the Global Carbon Project

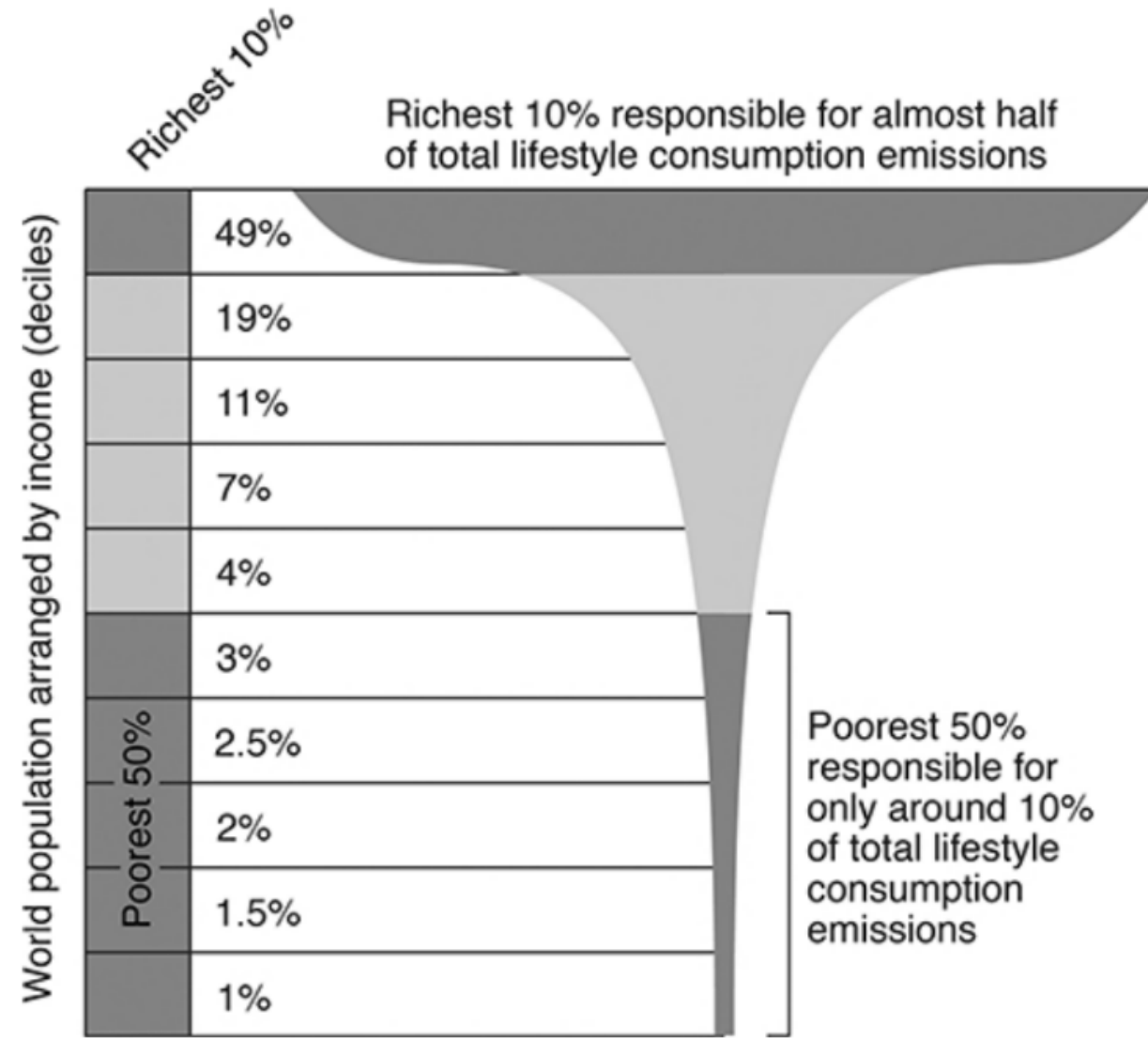
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Bedeutung individueller Beiträge zu Klimawandel & Klimaschutz

and society. The classic, linear economic model, 'take, make, dispose', relies on large quantities of cheap, easily accessible materials and energy. We are reaching the physical limits of this model. New inclusive economic theories are emerging showing the fundamental issues with the throwaway corporate culture. The circular economy is essential if companies are to be part of the climate change solution. The circular economy minimizes the amount of resources that are extracted and maximizes the value of products and materials throughout their lifecycle, through reuse and recycling. Applying a circular economy could unlock up to €1.8 trillion in value for Europe's economy. So companies need to plan and make products that have longevity, upgradability, and recyclability built-in. They need to design out waste and pollution.

Though individual actions will only make a small contribution to carbon reduction, they are extremely important as they send a strong message to both government and corporations that citizens want and support major changes. Individual action has had an impact. The School Climate Strikes and the Extinction Rebellion protests have brought together diverse groups of people across the world, all wanting governments to start taking the protecting of our planet seriously. And change is starting to happen, with over 1,400 local governments and over 35 countries having declared that we are in a climate emergency. But we must also remember that not everyone is equally responsible for the current climate crisis: 50% of carbon emissions directly related to lifestyle are emitted by the richest 10% of the world (Figure 42); the poorest 50% of our global society emit just 10% of the pollution. Individual action undertaken by the very wealthiest in society could have a major impact on global carbon emissions.



42. Global lifestyle carbon emissions by income group.

Chancen & Nutzen von Klimaschutzmaßnahmen

Conclusion

Climate change is one of the few areas of science that makes us examine the whole basis of modern society. It is a subject that has politicians arguing, sets nations against each other, questions the role of companies in society, queries individual choices of lifestyle, and ultimately asks questions about humanity's relationship with the rest of the planet. Only by working together can we deal with one of the greatest crises that has ever faced humanity. There is very little doubt that climate change will accelerate in this century; our best estimates suggest a global mean surface temperature rise of between 2.1°C and 5.5°C by the end of the 21st century. Sea level is projected to rise by between 50 cm and 130 cm by 2100, with significant changes in weather patterns, and more extreme climate events. World leaders have pledged to keep climate change to less than 2°C and if at all possible below 1.5°C. This book has demonstrated that we have the science to understand the causes, consequences, and potential solutions for climate change. **We have the technology, the resources, and the money to deal with climate change. What we currently lack are the political will and policies to enable all the positive win-win solutions needed to make a better, safer, healthier, and hopefully happier world.** With a growing awareness of the environmental crisis facing the planet, public pressure for change is growing, and new policies and ways of thinking are starting to emerge. The question is whether these changes will be soon enough to get the world to net zero carbon emissions by 2050 (Figure 43).

„Wir haben die Technologie, die Ressourcen und das Geld, um den Klimawandel zu begrenzen. Was aktuell [noch] fehlt sind der [umfassende] politische Wille & Regelwerke um all die positiven und gewinnbringenden Lösungsansätze zu realisieren, die eine bessere, sicherere, gesündere & hoffentlich glücklichere Welt ermöglichen.“



43. USA Today cartoon of the Copenhagen climate conference.

„Was wenn das nur ein großer Schwindel ist und wir für nichts eine bessere Welt schaffen?“

Umstellung auf erneuerbare Energien: Ausgangslage & Zielrichtung

[1] “The speed of the transition to renewables has been greatly hindered by climate deniers in positions of influence, notably in the USA. This denial that climate change is caused by the emissions of carbon dioxide has been promoted by vested interests in the status quo, **in particular by the fossil-fuel industry.”**

[2] “Ways to reduce consumption and the demand for energy are essential as they decrease the rate required for decarbonizing the power supply.

Since 1970 the global population has doubled and annual carbon dioxide emissions have increased by two and a half times; the world’s wealth (GDP) has also grown by a factor of four. These changes have caused a **massive depletion and deterioration in the world’s resources**. In the last forty years, populations of vertebrates declined by 60 per cent on average, with around one million species of plants and animals now at risk of extinction, and vast areas of forest lost.

Also, **severe pollution in the oceans and the atmosphere**, and a precipitous fall in the number of insects resulting from intensive farming (in particular pesticides) and global warming, threatens a **catastrophic loss in biodiversity**.

Built-in obsolescence, with many products thrown away and not reused, has created massive waste (notably plastics). It is vital that we move away from consumerism to a **more sustainable lifestyle**, encouraging a **circular economy with recycling and reuse.**“

[3] “Above all, we need to stop the burning of fossil fuels as fast as possible, and effective & fair carbon pricing is needed. This will be exceedingly difficult politically, because the use of fossil fuels is enmeshed in our societies. Continued fossil-fuel extraction is already being justified by relying on carbon capture for a significant fraction of global emissions. But this would be very unwise, since the **technology for carbon capture is not established at that scale, nor would it generally be as cheap as using more renewables; ...**“

Umstellung auf erneuerbare Energien: praktische Umsetzung

“Individuals must discuss with family, friends, and colleagues the importance of supporting renewables, reducing fossil fuels, and the need for urgent action.

The increase in extreme weather events, such as wildfires and severe flooding, is making people realize that something needs to be done, but governments are not reacting quickly enough.

We already have the technology to solve the problem of global warming, but we need to give impetus to its deployment.

Renewables are now affordable as the costs of electricity from wind and solar farms have dropped dramatically, in some places halving within the last few years. **A huge investment will be required, but nothing like the cost of inaction.**

And divesting from fossil fuels to renewables is fast becoming the most economic, as well as sustainable, choice. Box 2 summarizes the key actions needed.”

Box 2. Key actions to avoid dangerous climate change.

- Stop burning fossil fuels—use renewable energy instead
- Decarbonize and increase the electricity supply by investing in wind and solar farms
- Electrify transport and heating
- Reduce energy demand—reuse and recycle
- Promote the expansion of renewables and associated technologies and infrastructure

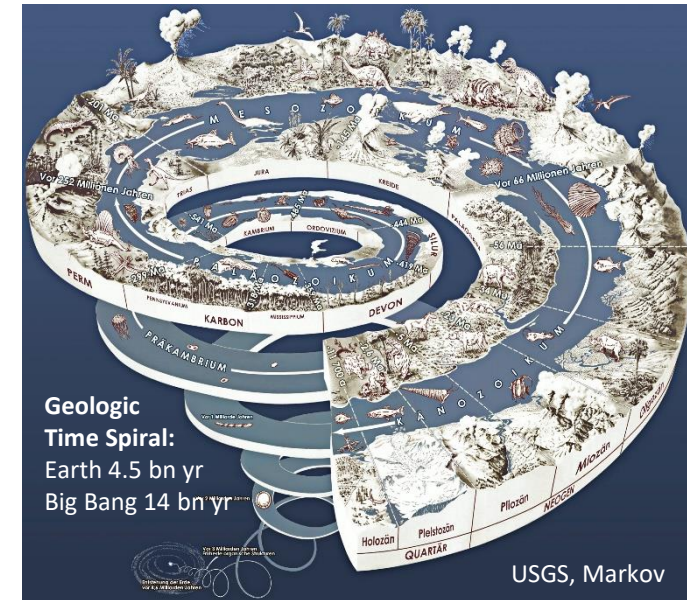
Herausforderungen im Anthropozän

Menschheitsgeschichte & (Geo-)Anthropologie:

- **langsame Entwicklung unter wechselnden Klimabedingungen im Pleistozän:** ~2.6 Mio Jahre; Wechsel Warm/Kalt/Eiszeiten; Altsteinzeit (Neandertaler, alte DNA ... Pääbo, Renn et al. 2022)
- **erfolgreiche Entwicklung bei stabilem Klima im Holozän:** ~10 Tsd Jahre, Jungsteinzeit bis Neuzeit
- **Beschleunigung im Anthropozän:** seit 1800/1850 bzw. 1950er/1960er; Bevölkerung, Energie ...
- **beschleunigter & veränderter Klimawandel** gefährdet kontinuierliche Weiterentwicklung & Prosperität menschlicher Zivilisation & demokratischer/offener Gesellschaft (siehe unten)
- **Ende des Anthropozäns** vermutlich gleichbedeutend mit Untergang/Rückentwicklung Zivilisation; Nicht-Beeinflussung des Planeten bei hoher Bevölkerungsdichte & Wohlstand schwer vorstellbar, auch wenn Klima-Stabilisierung gelingt (Einsparungen, Technologiewechsel, Geoengineering)

Bedrohungen für Zivilisation & Anthropozän:

- **globale Erwärmung & Heißzeit:** Neuland für Menschheit, Trias/Jura/Kreide vor 250-66 Mio J. (Mesozoikum); „Jurassic Park“ 1993, Rockström et al. 2009, Steffen et al. 2018
- **Nuklear-Winter**, Atomwaffen, Brände & Rauch; Crutzen & Birks 1982; oder **Impakt-Winter:** Asteroiden-Einschlag; Dinosaurier/Massen-Artensterben (~75%) vor 66 Mio J.; Chicxulub-Krater, Yucatan; Alvarez et al. 1980, Hildebrand, Penfield et al. 1991
- **künstliche Intelligenz:** KI/AI, „Matrix“ 1999, Hawking, Gates/Musk, Horowitz/Crutzen et al. 2017/18
- **totalitäre Gesellschaft:** moderne Gesellschaft & Demokratie gefährdet durch Auswirkungen obiger Bedrohungen sowie totalitäre Tendenzen & Absolutheitsansprüche; alternative Fakten & postfakt. Behauptungen; Falschinformation in (sozialen) Medien; mangelndes Verständnis für Gesellschaft, Politik, Wissenschaft etc. (Popper, Offene Gesellschaft & ihre Feinde, 1945/1966/2002)



Referenzen I

Max-Planck-Gesellschaft (MPG), Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC), Erd- & Sonnensystem-Forschungspartnerschaft (ESRP)

www.mpg.de/kurzportrait; www.mpic.de/de/scientific-report; [www.mpic.de/3478392/Multiphase Chemistry](http://www.mpic.de/3478392/Multiphase_Chemistry); www.earthsystem.de

Anthropozän

Max-Planck-Institut für Chemie: The Anthropocene, www.mpic.de/3864697/the-anthropocene

Max-Planck-Institut für Geoanthropologie: Strukturwandel der Technosphäre, www.shh.mpg.de/2267768/strukturwandel-technosphaere-overview

Haus der Kulturen der Welt, Das Anthropozän-Projekt, archiv.hkw.de/de/programm/projekte/2014/anthropozaen/anthropozaen_2013_2014.php

Georesearch: Das Kitzsteinhorn im Anthropozän, www.georesearch.ac.at/de/home-de/open-air-lab-kitzsteinhorn-de

Crutzen P.J., Geology of Mankind, Nature, 2002. www.nature.com/articles/415023a

Crutzen P.J. (Hrsg. Müller M.): Das Anthropozän - Schlüsseltexte des Nobelpreisträgers für das neue Erdzeitalter, Oekom 2018. www.oekom.de/buch/das-anthropozaen-9783962381370

Benner S. et al.: Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A New Epoch in Earth History, Springer 2021. link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-82202-6

Pöschl U.: Air Pollution, Oxidative Stress, and Public Health in the Anthropocene, Springer, 2020. link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-31125-4_7

Al-Delaimy W.K. et al.: Health of People, Health of Planet, and Our Responsibility, Pontifical Academy of Sciences, Springer, 2021. link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-31125-4

Pöschl U. & Shiraiwa M. : Multiphase chemistry at the atmosphere–biosphere interface influencing climate and public health in the Anthropocene, Chemical Reviews, 2015. pubs.acs.org/doi/full/10.1021/cr500487s

Su H. et al.: New Multiphase Chemical Processes Influencing Atmospheric Aerosols, Air Quality, and Climate in the Anthropocene, Accounts of Chemical Research, 2020. pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.accounts.0c00246

Kritischer Rationalismus & offene Kommunikation: Open Access, Open Peer Review, Open Science, Epistemisches Netz/Epistemic Web

Popper K., Ausgangspunkte, Piper 2004/2018 [& darin enthaltene Referenzen]; Unended Quest: An Intellectual Autobiography, Routledge 1976/2002 [& references therein]. www.piper.de/buecher/ausgangspunkte-isbn-978-3-492-24188-5; www.routledge.com/Unended-Quest-An-Intellectual-Autobiography/Popper/p/book/9780415285902

Berlin Declaration on Open Access to Knowledge in the Sciences and Humanities, 2003. openaccess.mpg.de/Berlin-Declaration

Open Access 2020 (OA2020) & Open Access at the MPIC: oa2020.org/be-informed; www.mpic.de/4123205/open-access

Pöschl U.: Laudatio zur Verleihung der Karl-Preusker-Medaille an die Allianz der Wissenschaftsorganisationen zur Förderung von Open Access, 2018. www.mpic.de/4764064/kpm2018_laudatioposchl.pdf

Pöschl U. et al.: Es ist schwer zu erklären, warum das so lange braucht, FWF Scilog, 2020. scilog.fwf.ac.at/kultur-gesellschaft/12471/es-ist-schwer-zu-erklaren-warum-das-lange-braucht

Pöschl U.: Multi-stage open peer review: scientific evaluation integrating the strengths of traditional peer review with the virtues of transparency and self-regulation, Frontiers of Computational Neuroscience, 2012. www.frontiersin.org/articles/10.3389/fncom.2012.00033/full

Referenzen II

Luftqualität & Gesundheit: Lebenserwartung & Allergien

Nationale Akademie Leopoldina: Saubere Luft – Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen, 2019. www.leopoldina.org/publikationen/detailansicht/publication/saubere-luft-stickstoffoxide-und-feinstaub-in-der-atemluft-grundlagen-und-empfehlungen-2019-1/

World Health Organization (WHO): www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

European Environment Agency (EEA): www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution; www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution

Global Burden of Disease (GBD): www.healthdata.org/gbd/data-visualizations

Pöschl U.: Atmosphärische Aerosole: Zusammensetzung, Transformation, Klima- und Gesundheitseffekte, Angewandte Chemie, 2005. onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ange.200501122

Lelieveld J. et al.: Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective, Cardiovascular Research, 2020. academic.oup.com/circres/article/116/11/1910/5770885

Lelieveld S. et al.: Hydroxyl radical production by air pollutants in epithelial lining fluid governed by interconversion and scavenging of reactive oxygen species, Environmental Science & Technology, 2021. pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.1c03875

Reinmuth-Selzle K. et al.: Air Pollution and Climate Change Effects on Allergies in the Anthropocene: Abundance, Interaction, and Modification of Allergens and Adjuvants, Environmental Science & Technology, 2017. pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.6b04908

Luftqualität & Gesundheit: Infektionsschutz & Pandemiebekämpfung

Max-Planck-Institut für Chemie: Überblick zu Aerosol- bzw. Tröpfchen-Übertragung, Infektionsrisiken & Infektionsschutzmaßnahmen, www.mpic.de/5081943/studien-fls?c=3477744; Su et al. 2021: Synergetic measures to contain highly transmissible variants of SARS-CoV-2, www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.11.24.21266824v3; Pöhlker et al., Respiratory aerosols and droplets, arXiv 2021 arxiv.org/abs/2103.01188, Rev Mod Phys 2023 journals.aps.org/rmp/accepted/5a07cEa0N4e12c01b1e83ac431c08d5120410a75a.

Masken: Pöschl & Witt, Stellungnahme zur Wirksamkeit und Nutzung von Gesichtsmasken gegen COVID-19, 2021, www.mpic.de/4972415/stellungnahme; www.mpic.de/4972236/statement-poeschl-witt; Cheng et al., Face masks effectively limit the probability of SARS-CoV-2 transmission, Science 2021, www.science.org/doi/10.1126/science.abg6296.

Lüften: Pöschl et al. 2021: Wissenschaftliche Stellungnahme und Empfehlung für Ventilator-Fensterlüften zum Infektionsschutz gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen, www.mpic.de/5043150/ventilator-fensterlueften-gegen-covid-19; www.mpic.de/5098135/empfehlung_ventilatorfensterlueften_2021-09-30.pdf;

Klimach et al. 2022: The Max Planck Institute for Chemistry mechanical extract ventilation (MPIC-MEV) system against aerosol transmission of COVID-19, zenodo.org/record/6545276#.ZEaBLHZByUk; Helleis et al. 2023: Wirksamkeit, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit verschiedener Lüftungsmethoden hinsichtlich Luftqualität und Infektionsschutz in Innenräumen: Fensterlüften, Abluftventilatoren, Raumlufttechnik und Luftreiniger, zenodo.org/record/7586167#.ZEaAz3ZByUk; www.ventilation-mainz.de/comments.html.

Schul-Empfehlungen (Masken, Abstand, Lüften/Luftreiniger etc.): Pöschl et al. 2021, www.mpic.de/5040628/statement-empfehlung-fensterlueften?c=3477744; Moriske et al. 2021, www.mpic.de/5099304/infektionsschutz-schule; McLeod et al. 2022, onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.13142; Exner et al. 2022, www.krankenhaushygiene.de/pdfdata/2022_07_11_Stellungnahme-Luftreinigung-COVID-V2.pdf; Foitik et al. 2022, futureoperations.at/fileadmin/user_upload/k_future_operations/FOP_GrundregelnSchule_2022_06_01.pdf; Hopfe et al. 2022, futureoperations.at/fileadmin/user_upload/k_future_operations/Leitfaden-CO2-Sensoren_2022-11-02_Final.pdf; www.igoe.at/saubere-luft/.

Referenzen III

Klimawandel & Klimaschutz

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) / "Weltklimarat", Working Groups I-III, Assessment Reports 1-6, 1990-2023, www.ipcc.ch

IPCC 2021, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report, Cambridge University Press, doi:10.1017/9781009157896 (2391 pages). www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/

IPCC 2023, Climate Change 2023: Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), Summary for Policymakers (36 pages), www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Deutsches Klima-Konsortium (DKK): www.deutsches-klima-konsortium.de/de/basisfakten.html ; Klimafakten.de, Basiswissen. www.klimafakten.de/fakten-statt-behauptungen/basiswissen

Our World in Data: Greenhouse Gas Emissions, ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions; ourworldindata.org/contributed-most-global-co2

Umweltbundesamt, D/Ö: www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen; .../energiebedingte-emissionen; www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase

Munich Re (Rückversicherung): www.munichre.com/de/risiken/klimawandel-eine-herausforderung-fuer-die-menschheit.html; www.munichre.com/de/risiken/naturkatastrophen-schaeden-nehmen-tendenziell-zu.html ;

Hansen J. et al. 2015: Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous, Atmospheric Chemistry and Physics, acp.copernicus.org/articles/16/3761/2016/acp-16-3761-2016-discussion.html (Open Peer Review & Interactive Discussion: 110 Comment)

Oreskes N. & Conway E. 2010: Merchants of Doubt - How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming, de.wikipedia.org/wiki/Merchants_of_Doubt; Rich N. 2019: Losing Earth, https://de.wikipedia.org/wiki/Losing_Earth

Supran J. et al.: Assessing ExxonMobil's global warming projections, Science 2023, www.science.org/doi/10.1126/science.abk0063

Stöcker C., SPIEGEL Kolumnen vom 15.1.2023, 16.4.2023 etc., www.spiegel.de/impressum/autor-0ab8a756-0001-0003-0000-000000001562

Maslin M. (U College London): Climate Change – A Very Short Introduction, Oxford 2021, global.oup.com/academic/product/climate-change-a-very-short-introduction-9780198867869;

Jelley N. (Oxford U): Renewable Energy – A Very Short Introduction, Oxford 2020, global.oup.com/academic/product/renewable-energy-a-very-short-introduction-9780198825401

Nelles D. & Serrer C.: (1) Kleine Gase – Große Wirkung, Der Klimawandel; (2) Die Klimalösung; www.klimawandel-buch.de; <https://www.politische-bildung-brandenburg.de/publikation/kleine-gase-grosse-wirkung>; www.aee.at/zeitschrift-erneuerbare-energie/99-zeitschrift/zeitschriften/2019-01-dv/1178-kleine-gase-grosse-wirkung

Pontifical Academy of Sciences, Declaration of the Health of People, Health of Planet and Our Responsibility - Climate Change, Air Pollution and Health Workshop; Enzyklika Laudato Si: www.pas.va/en/events/2017/health/final_statement.html; www.vatican.va/content/francesco/de/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html; www.sternsinger.de/bildungsmaterial/fuer-schulen/laudato-si/

Individuelle CO₂-Emissionen, Vermeidung, Kompensation: www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person; uba.co2-rechner.de; www.fussabdruck.de; klima-kollekte.at; klima-kollekte.de; www.atmosfair.de