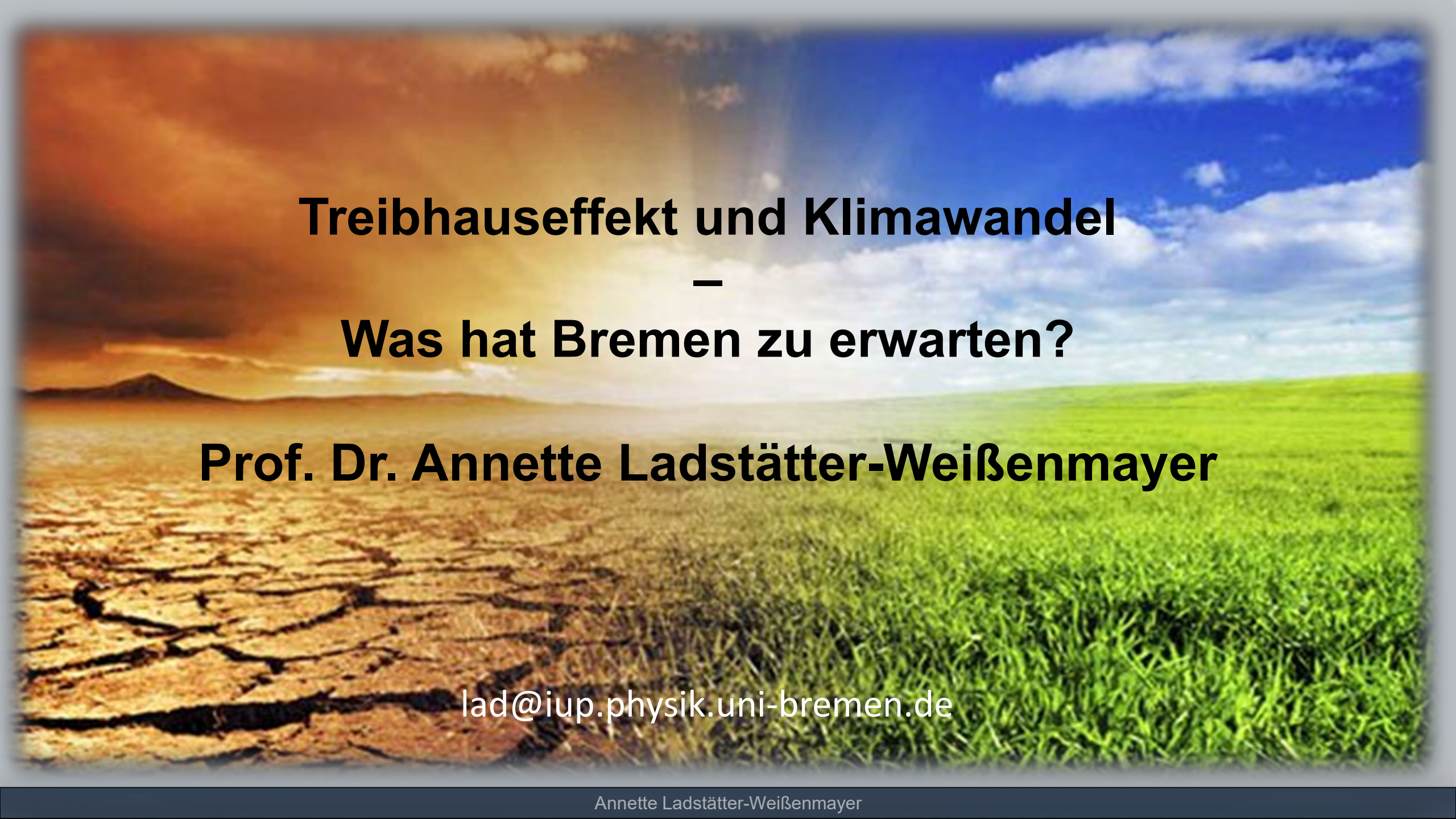




Treibhauseffekt und Klimawandel

–

Was hat Bremen zu erwarten?

Prof. Dr. Annette Ladstätter-Weißmayer

lad@iup.physik.uni-bremen.de

Treibhauseffekt Klimawandel

Klimawandel: Einige Stichworte

Treibhausgas-Emissionen Klimadaten Treibhauseffekt CO₂-Quellen
Fossile Brennstoffe Essentielle Klimavariablen CO₂-Senken
CO₂-Emissionen N₂O-Emissionen Klimamodelle Sonnenstrahlung
CH₄-Emissionen Klimaprojektionen
Energiebedarf Bevölkerungswachstum Wärmestrahlung Klimazonen
Ressourcenverbrauch Klimaabkommen Klimaschutz Photosynthese
Erderwärmung Energiewende Emissionshandel Fridays for Future
Meeresspiegelanstieg Erneuerbare Energien Energiespeicher
Gletscherschmelze Energiesparen CO₂ Preis
Extremwetterzunahme Überschwemmungen Ressourceneffizienz
Malariaausbreitung Artensterben
Dürren Wassermangel Waldsterben

Anthropozän

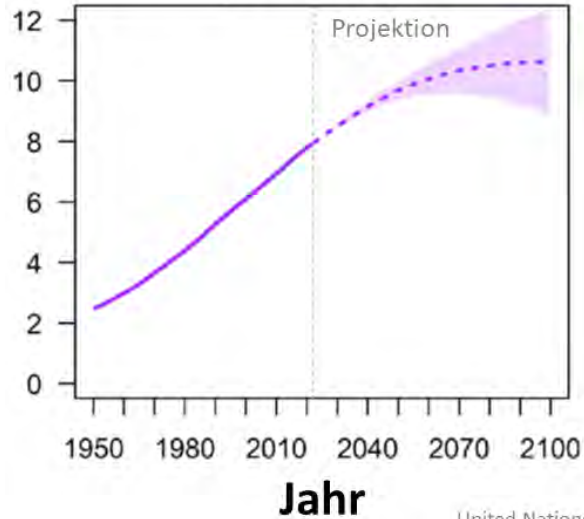
Menschliche Aktivitäten modifizieren atmosphärische, geologische, hydrologische, biosphärische und andere Erdsystemprozesse

E. F. Stoermer and P. J. Crutzen 2001 IGBP

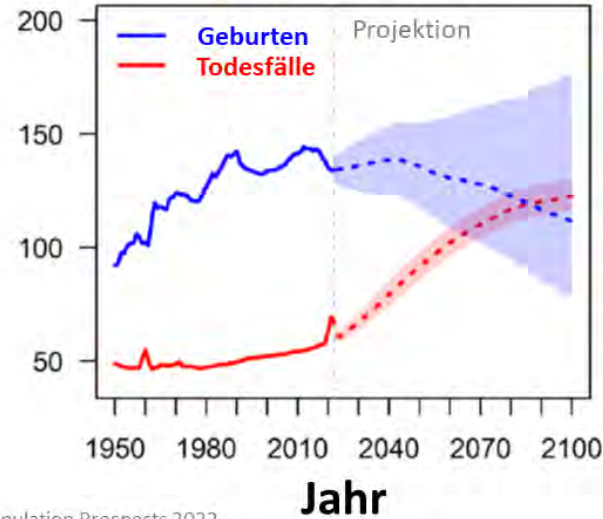


Bevölkerungswachstum und Ressourcenverbrauch

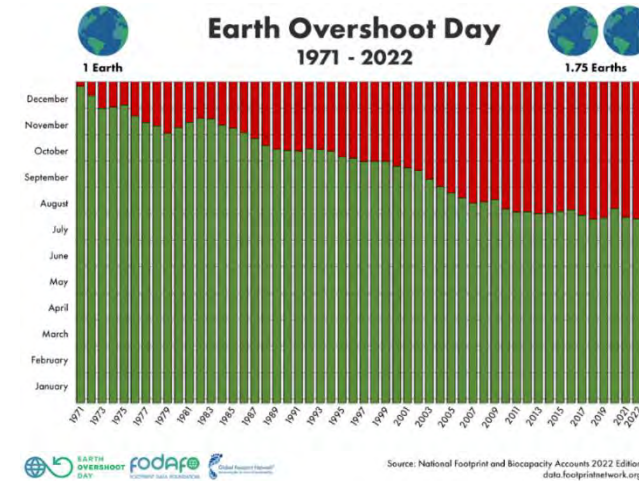
Anzahl der Menschen
[Milliarden]



Geburten & Todesfälle
[Millionen]



Erdüberlastungstag



<https://www.umweltbundesamt.de/themen/erdueberlastungstag-ressourcen-fuer-2022-verbraucht>

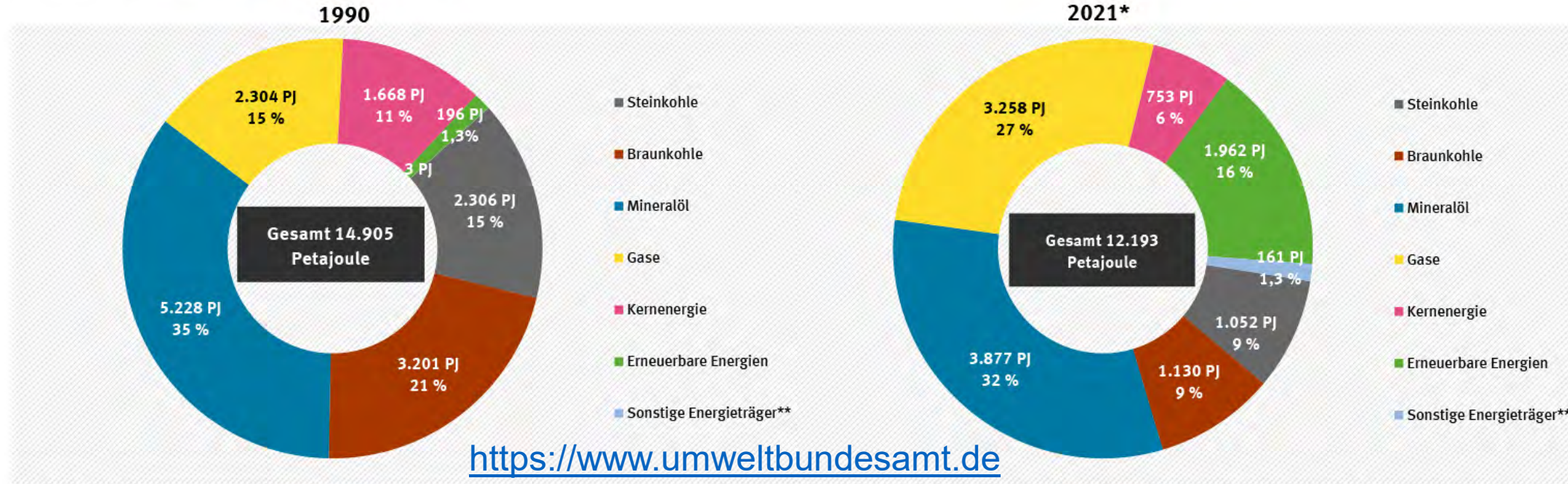
- **Prognose: Stabilisierung der Anzahl der Menschen**
- **Ressourcenverbrauch pro Mensch wird aber sicher steigen**
- **In 2022 verbrauchte „die Menschheit“ 1,75 Erden**
- **„Wir“ sind weit entfernt von Nachhaltigkeit**
- **Große Unterschiede von Land zu Land**

Datum, an dem die Nachfrage der Menschheit nach ökologischen Ressourcen und Dienstleistungen in einem bestimmten Jahr das übersteigt, was die Erde in diesem Jahr regenerieren kann. Im Jahr 2021 fiel dieser Tag auf den 29. Juli, dieses Jahr am 28. Juli.

Deutschland hat seinen Anteil im Jahr 2022 bereits Anfang Mai aufgebraucht, dann lebten die Deutschen demnach auf Kosten anderer Länder bzw. auf Kosten zukünftiger Generationen

Primärenergie Deutschland

Primärenergieverbrauch nach Energieträgern



* vorläufige Angaben

** bis 1999 Erneuerbare Energien mit sonstigen Energieträgern, ab 2000 getrennte Erfassung, Sonstige Energieträger sind: Nichterneuerbare Abfälle, Abwärme und Außenhandelsaldo von Fernwärme und Strom

Quelle: Jahr 1990: AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland, Stand 09/2021; Jahr 2021: AG Energiebilanzen, Primärenergieverbrauch Jahr 2021, 21. Dezember 2021

Peta (P) = 10^{15} Tera (T) = 10^{12} 1 Joule (J) = 1 Wattsekunde (Ws)

3,6 PJ/TWh; 12193 PJ = 3387 TWh

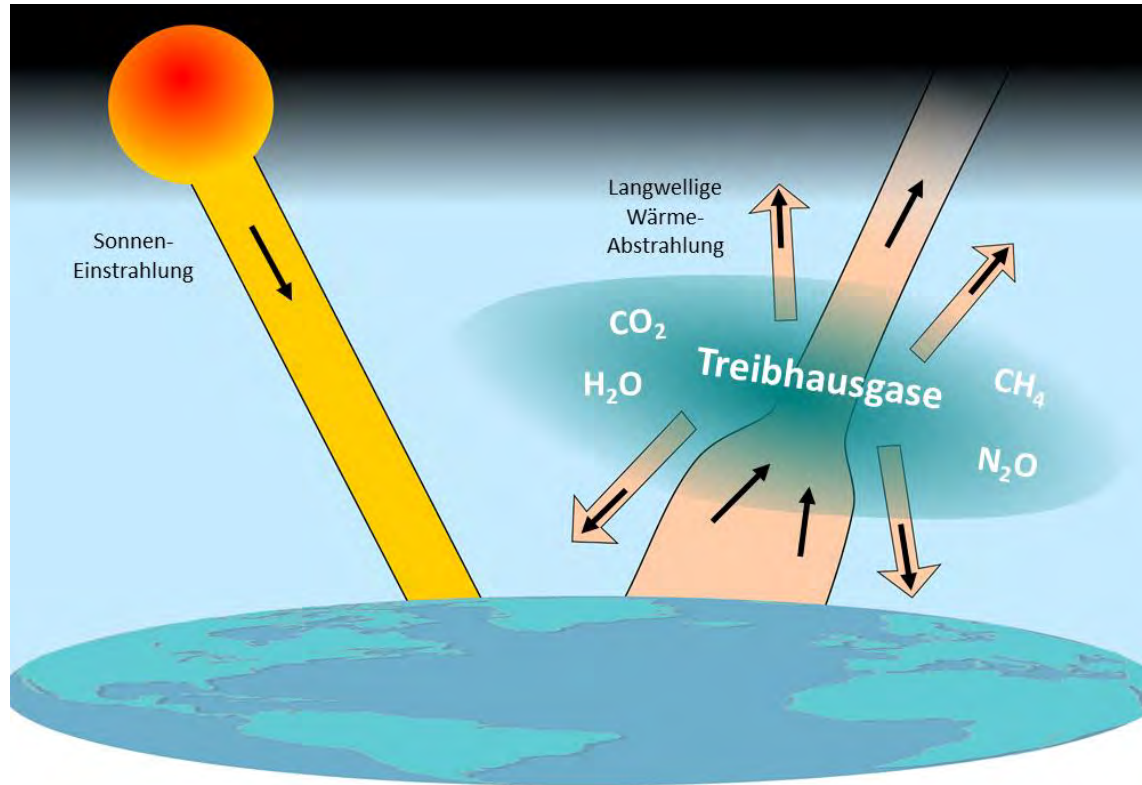
2021: Anteil „Erneuerbare Energien“ an Primärenergie: 16%
(am Stromverbrauch: 41,1%; am Endenergieverbrauch: 19,7%)

Energieverbrauch immer noch dominiert durch fossile Energieträger

@ Buchwitz

Treibhauseffekt und Treibhausgase


Solar
(kurzwellig)
„Energie
rein“



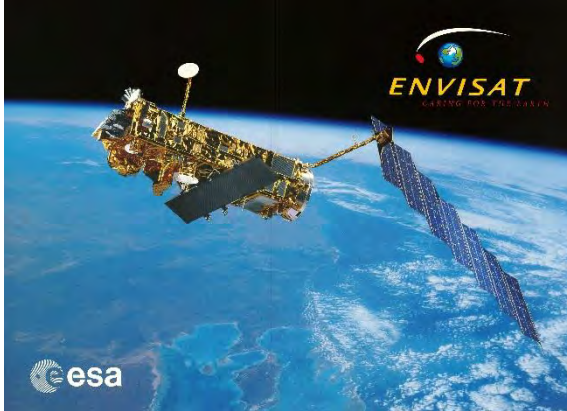

Wärmestrahlung
/ Infrarot
(langwellig)
„Energie raus“

Treibhausgase absorbieren langwellige Wärmestrahlung (IR-Strahlung) und „blockieren“ damit die Energieabstrahlung in den Weltraum. Die „Rückstrahlung“ wärmt uns.

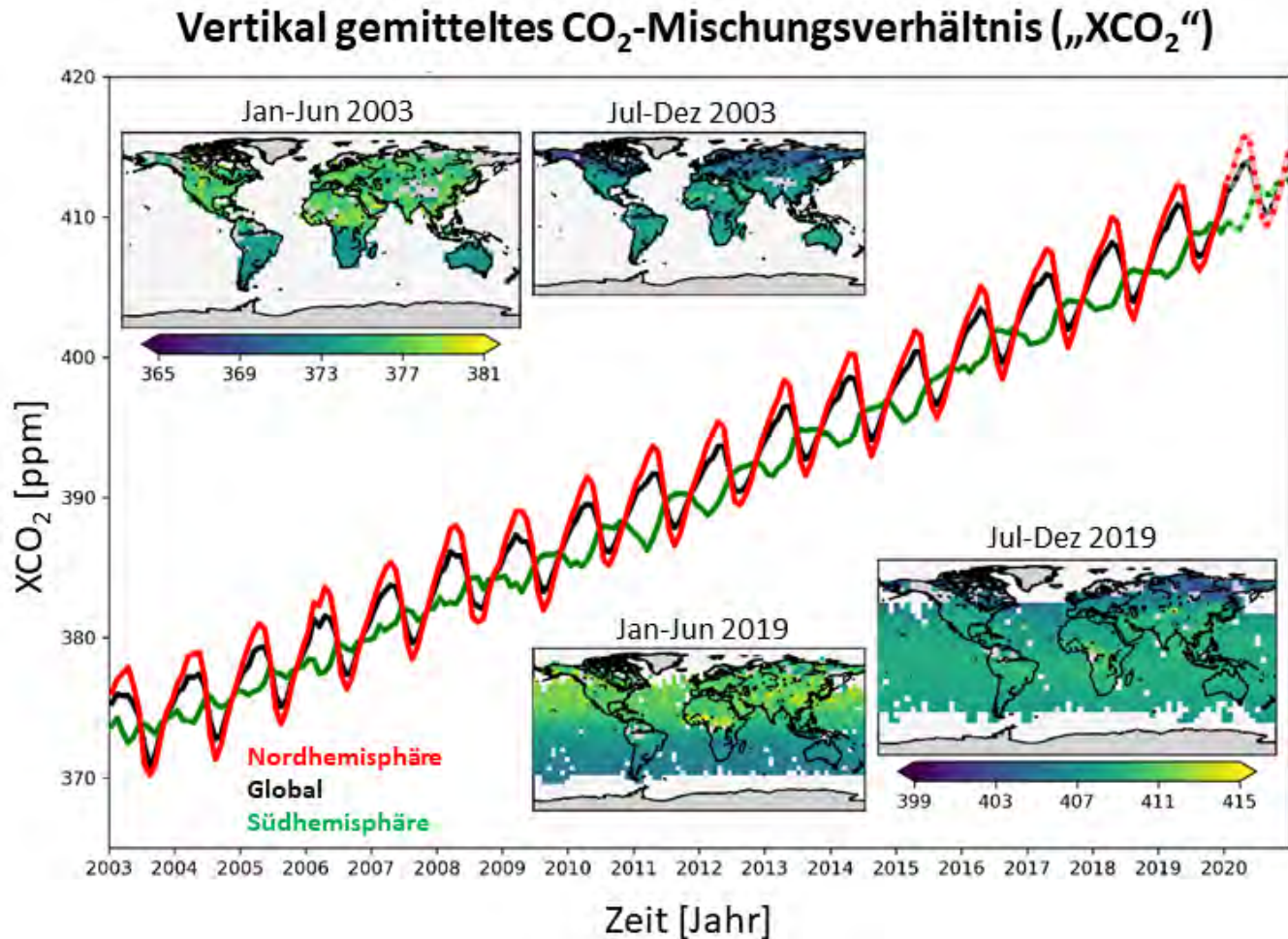
Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre es 33°C kälter (-18°C) anstatt +15°C).

Messungen von Treibhausgasen

Satellitenbeobachtung des atmosphärischen CO₂



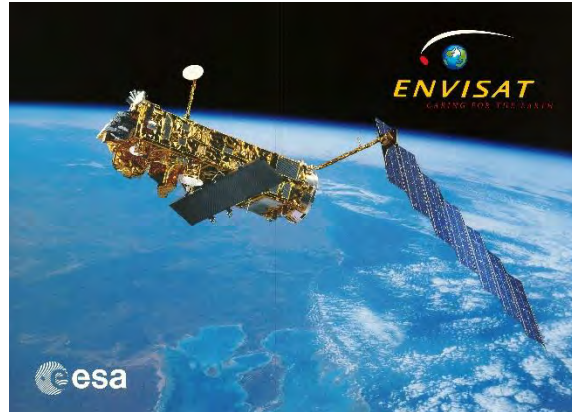
- SCIAMACHY auf ENVISAT (2002-2012) – D (DLR), NL, BE
- GOSAT (seit 2009) – Japan (JAXA)
- OCO-2 (seit 2014) – USA (NASA)



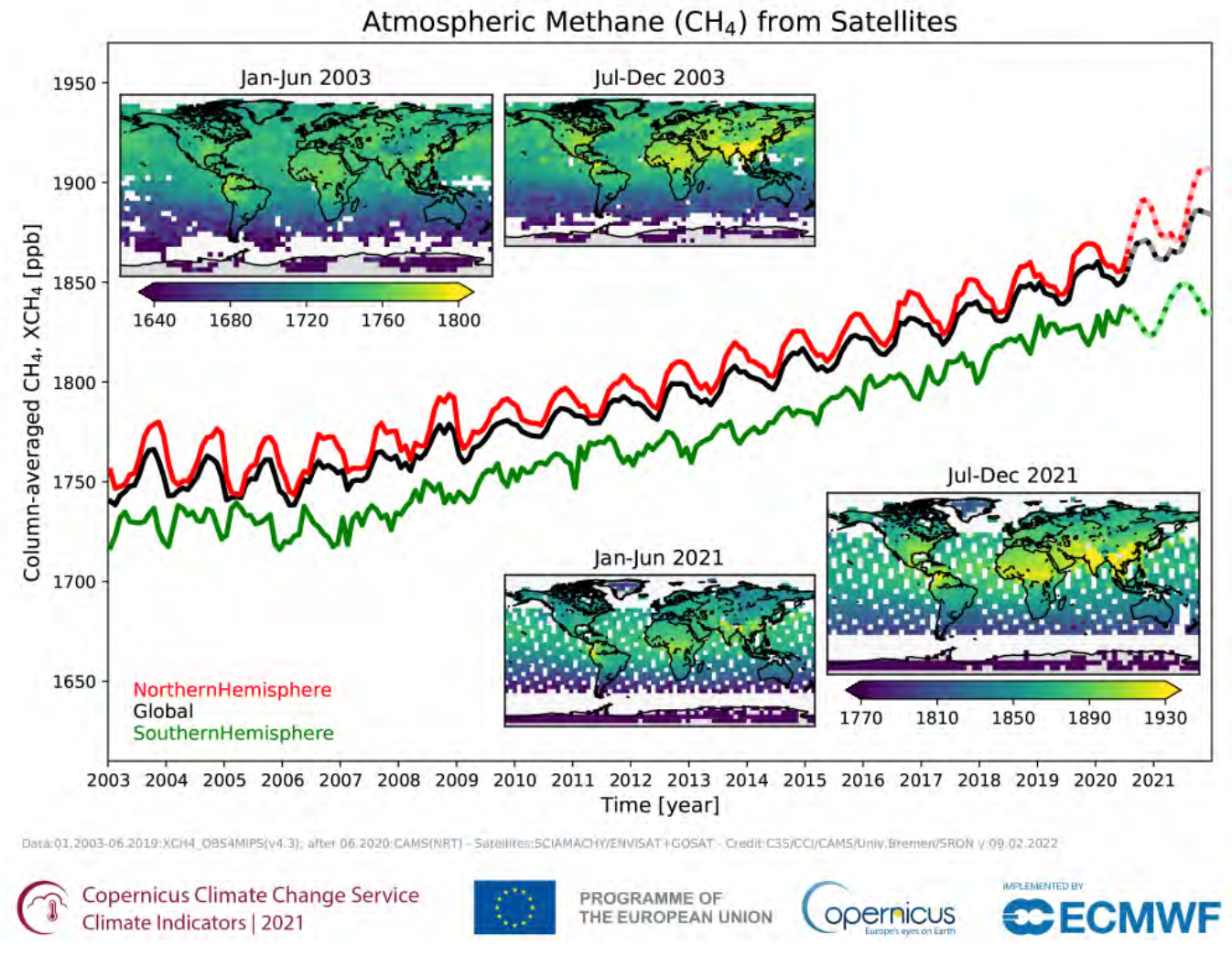
CO₂ Mischungsverhältnis in ppm (*parts per million*)
= Anzahl der CO₂-Moleküle pro Millionen Luft-Moleküle (für trockene Luft)

Global Ungebremster CO₂-Anstieg trotz Klimaabkommen (Kyoto, Paris, ...),
Ausbau erneuerbarer Energien (Windkraftanlagen, Solaranlagen, ...)

Satellitenbeobachtung des atmosphärischen CH₄



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



Global **Ungebremster CH₄-Anstieg** trotz Klimaabkommen (Kyoto, Paris, ...),

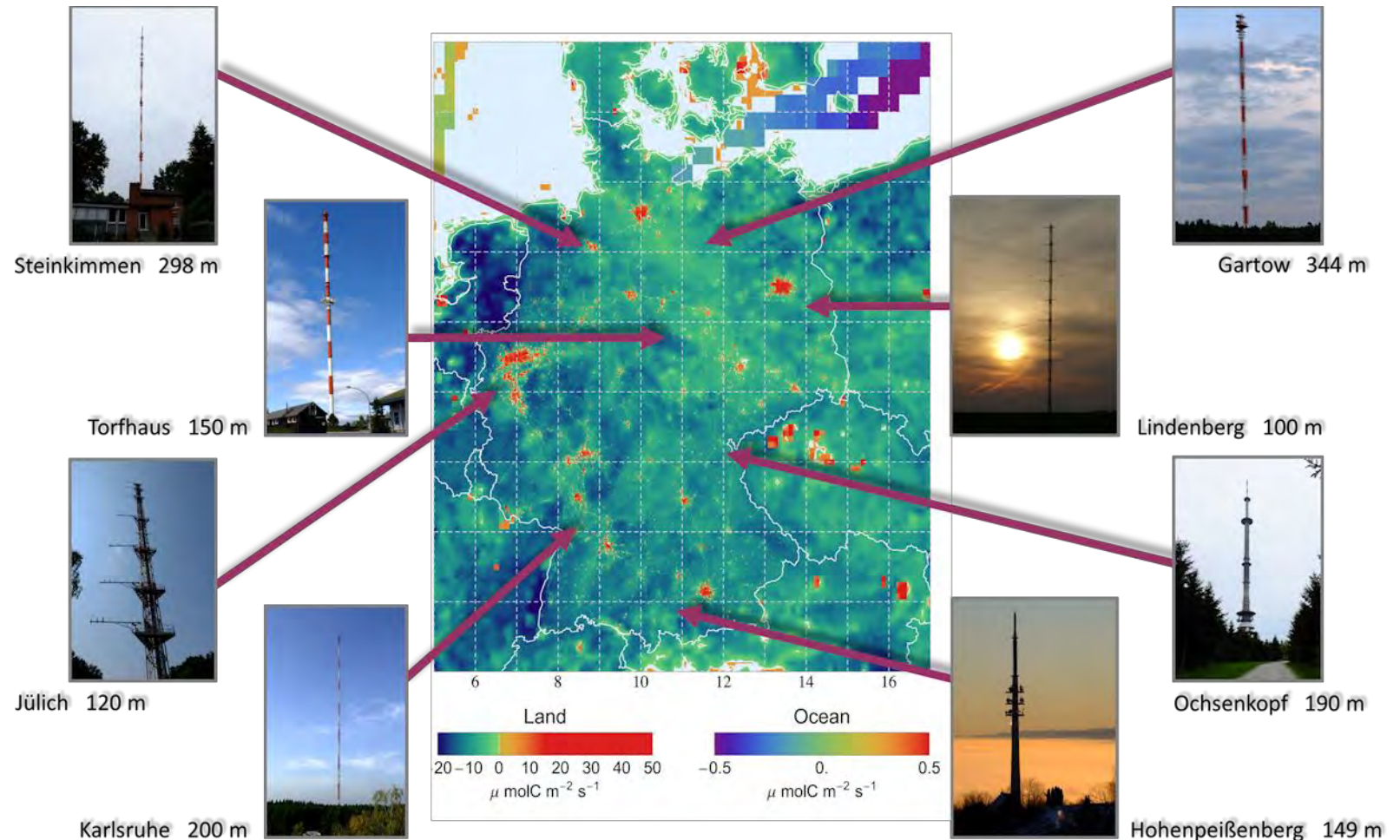
<https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/greenhouse-gas-concentrations>

@ Buchwitz

10

ICOS-Bodenbeobachtung – Steinkimmen (STE)

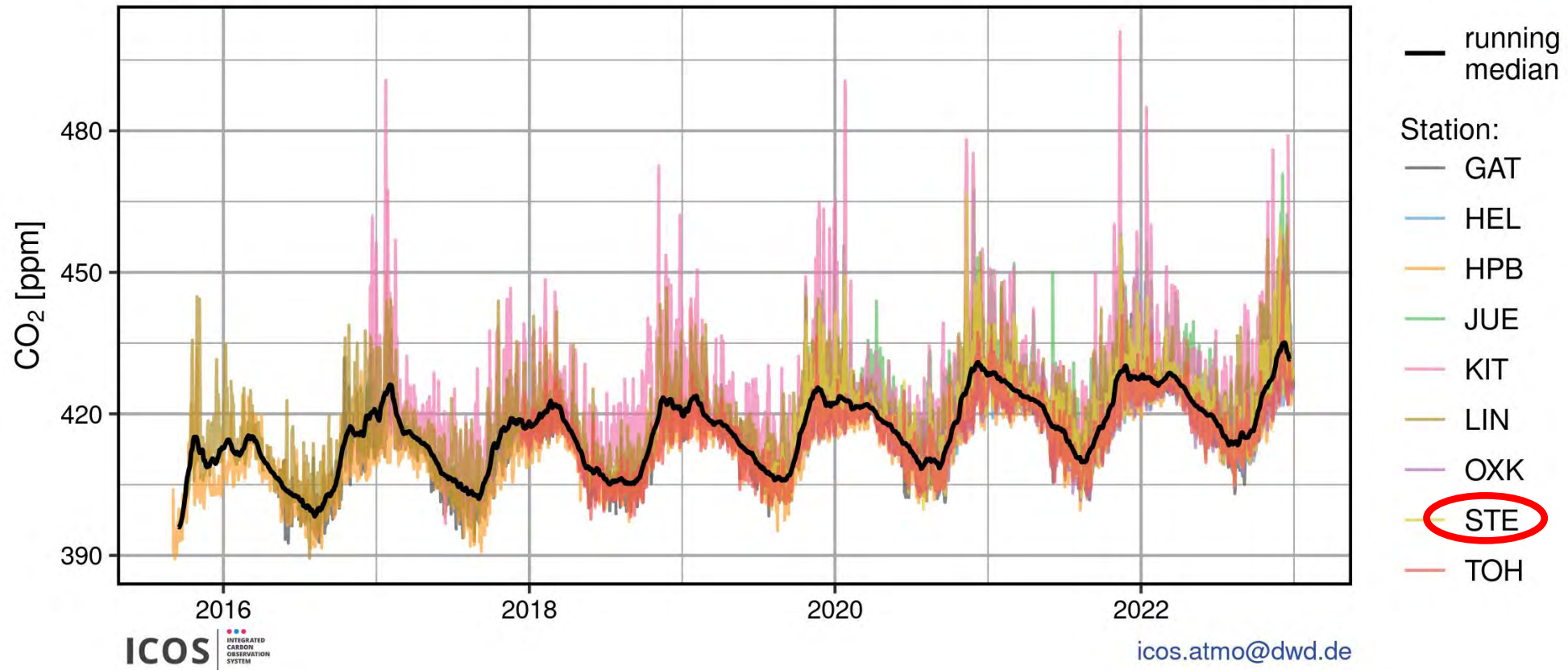
- Europa: ICOS (Integrated Carbon Observation System)
- Messinfrastruktur, inverse Modellierung
- Steinkimmen: **CO₂**, **CO**, **N₂O**, **CH₄**, Radon, C-14, meteorologische Daten
- 5 Messhöhen (32m, 82m, 127m, 187m, 252m)



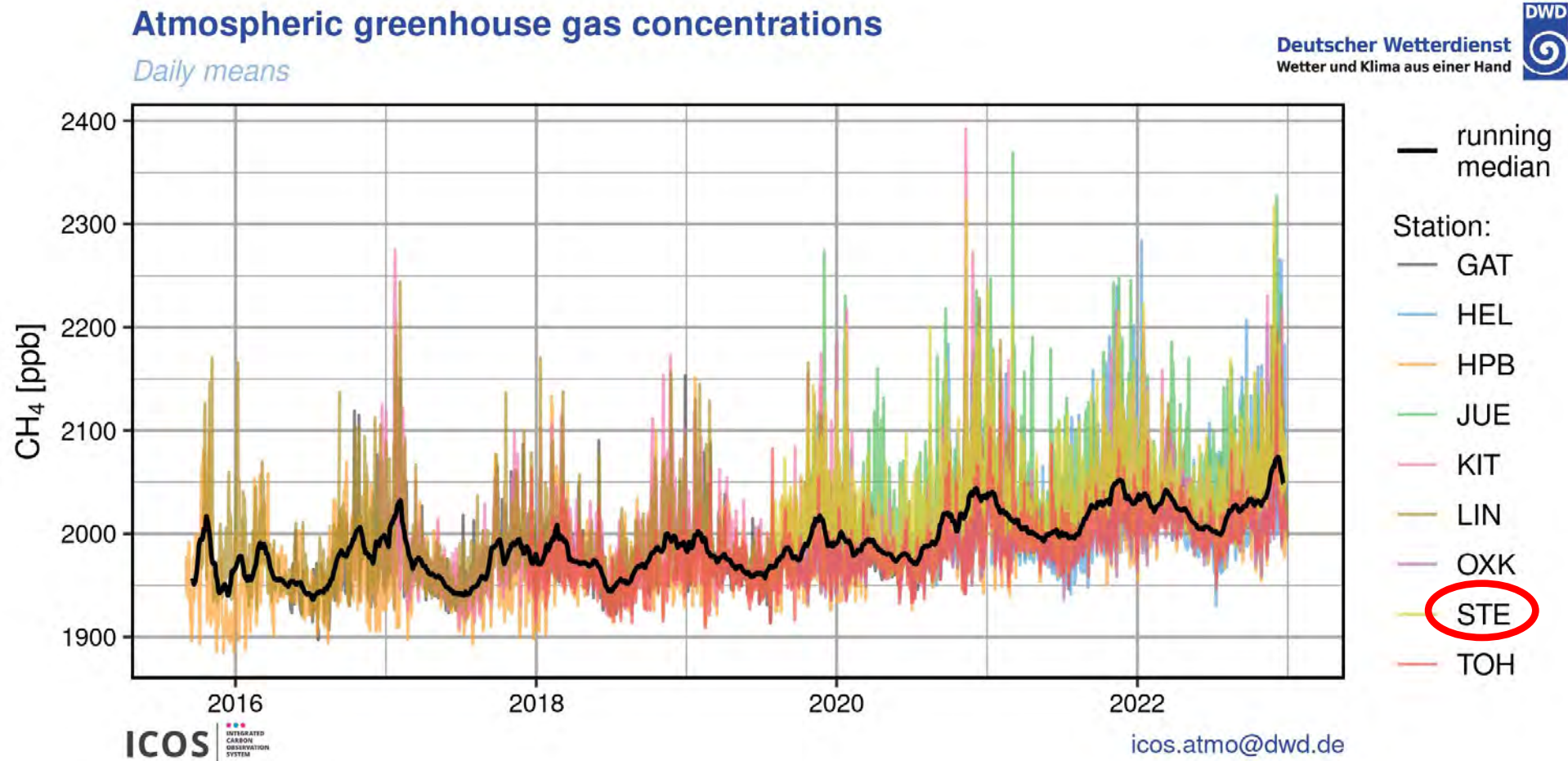
ICOS CO₂-Messungen in Steinkimmen

Atmospheric greenhouse gas concentrations

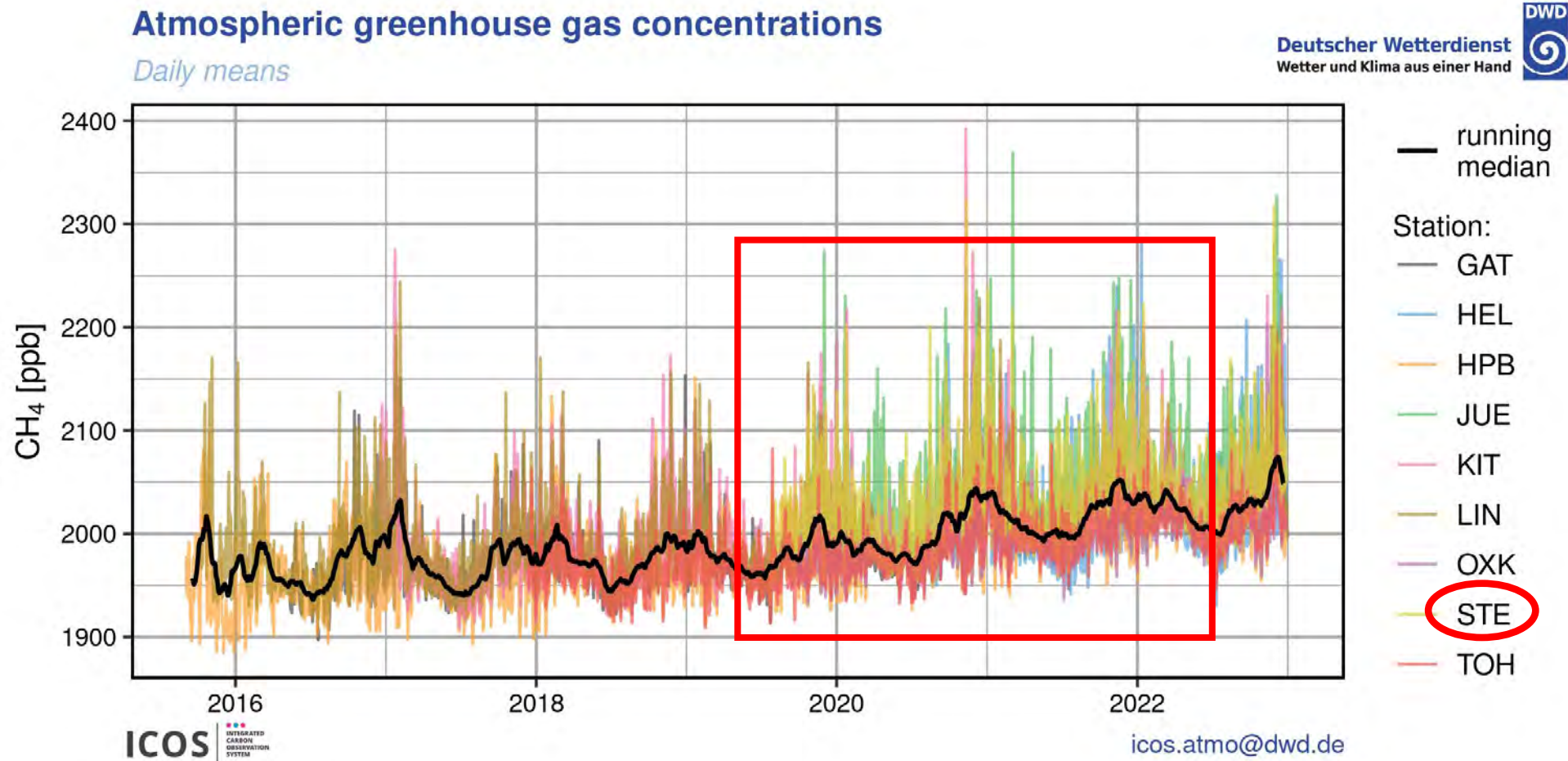
Daily means



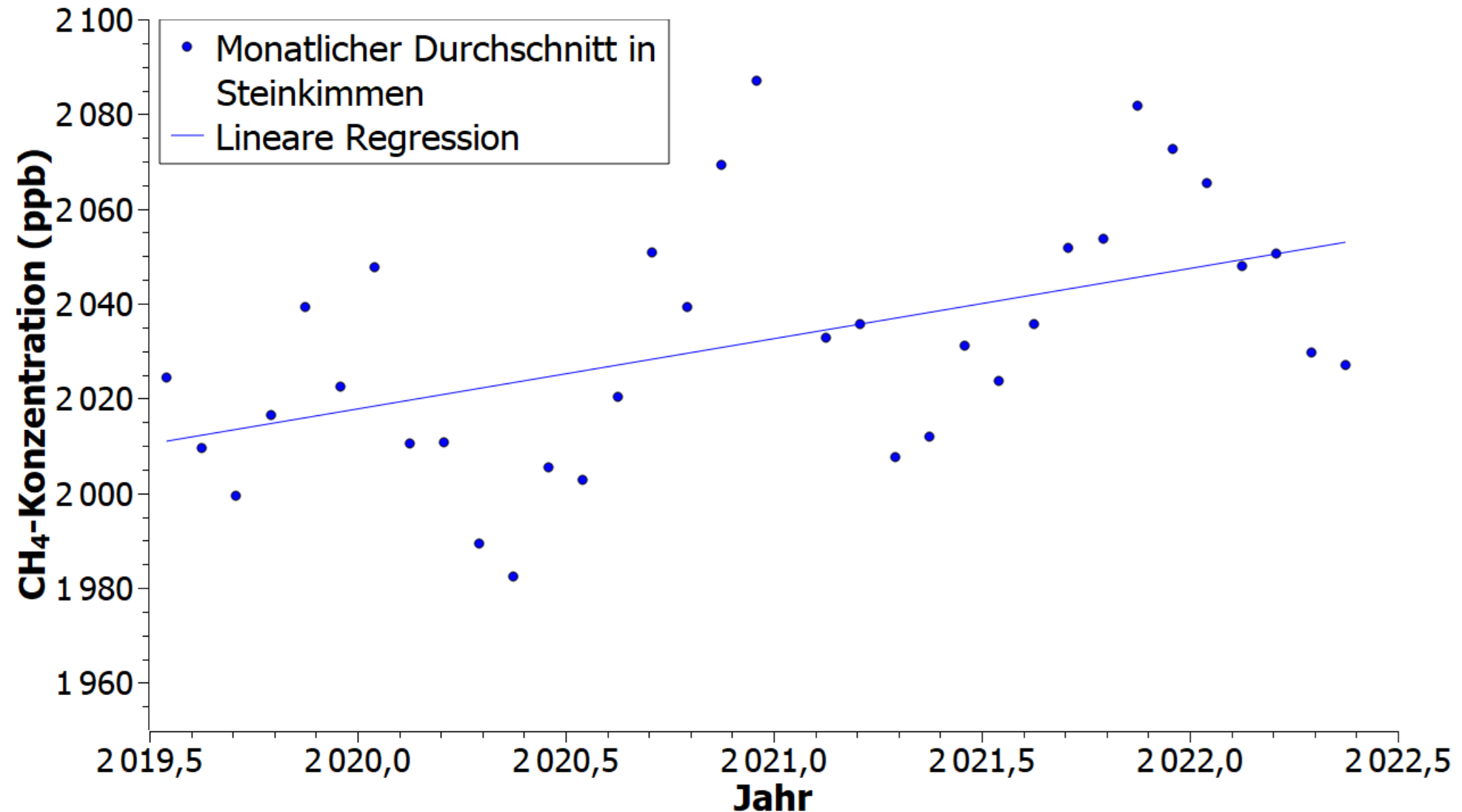
ICOS CH₄-Messungen in Steinkimmen



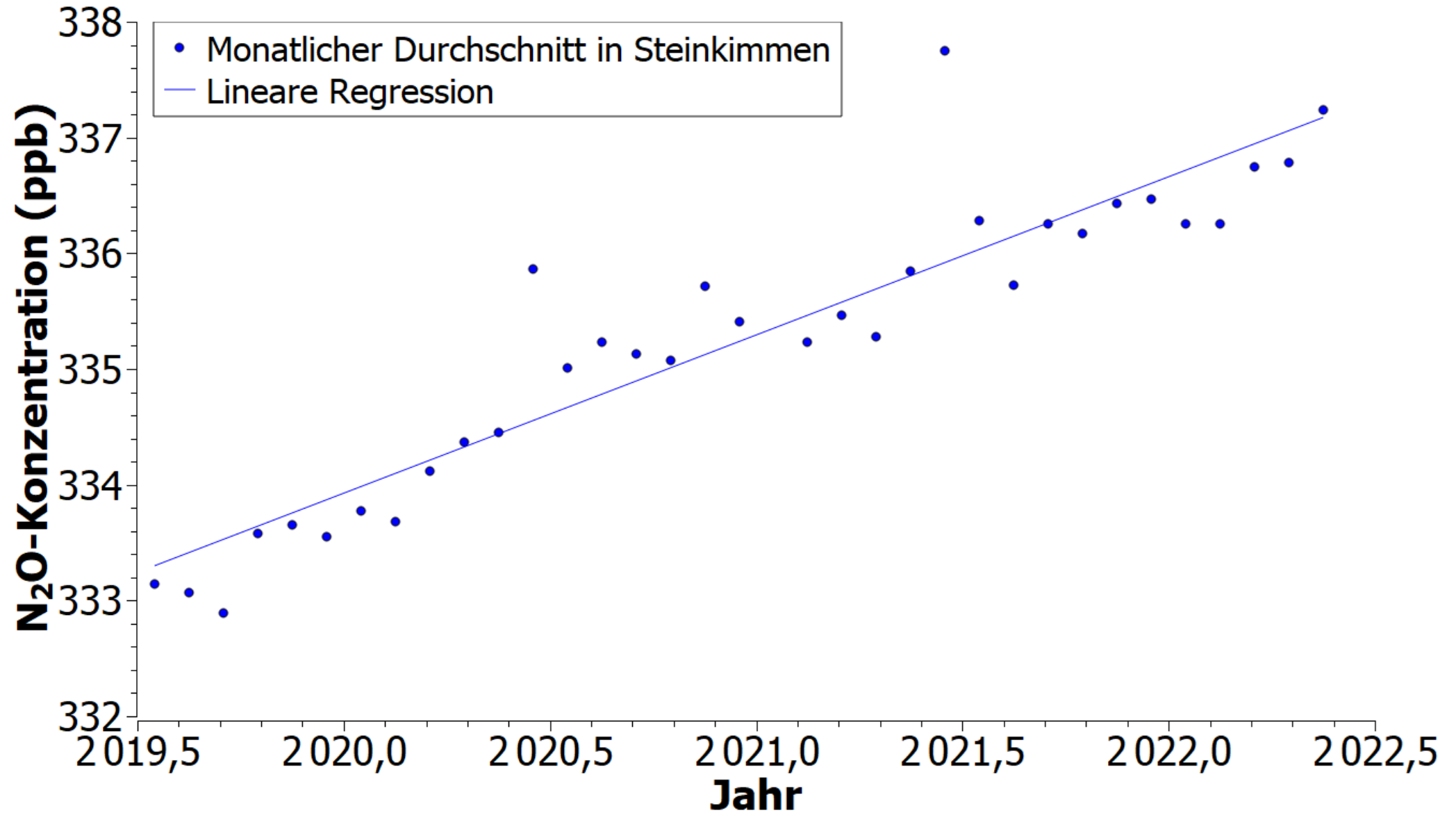
ICOS CH₄-Messungen in Steinkimmen



ICOS CH₄-Messungen in Steinkimmen

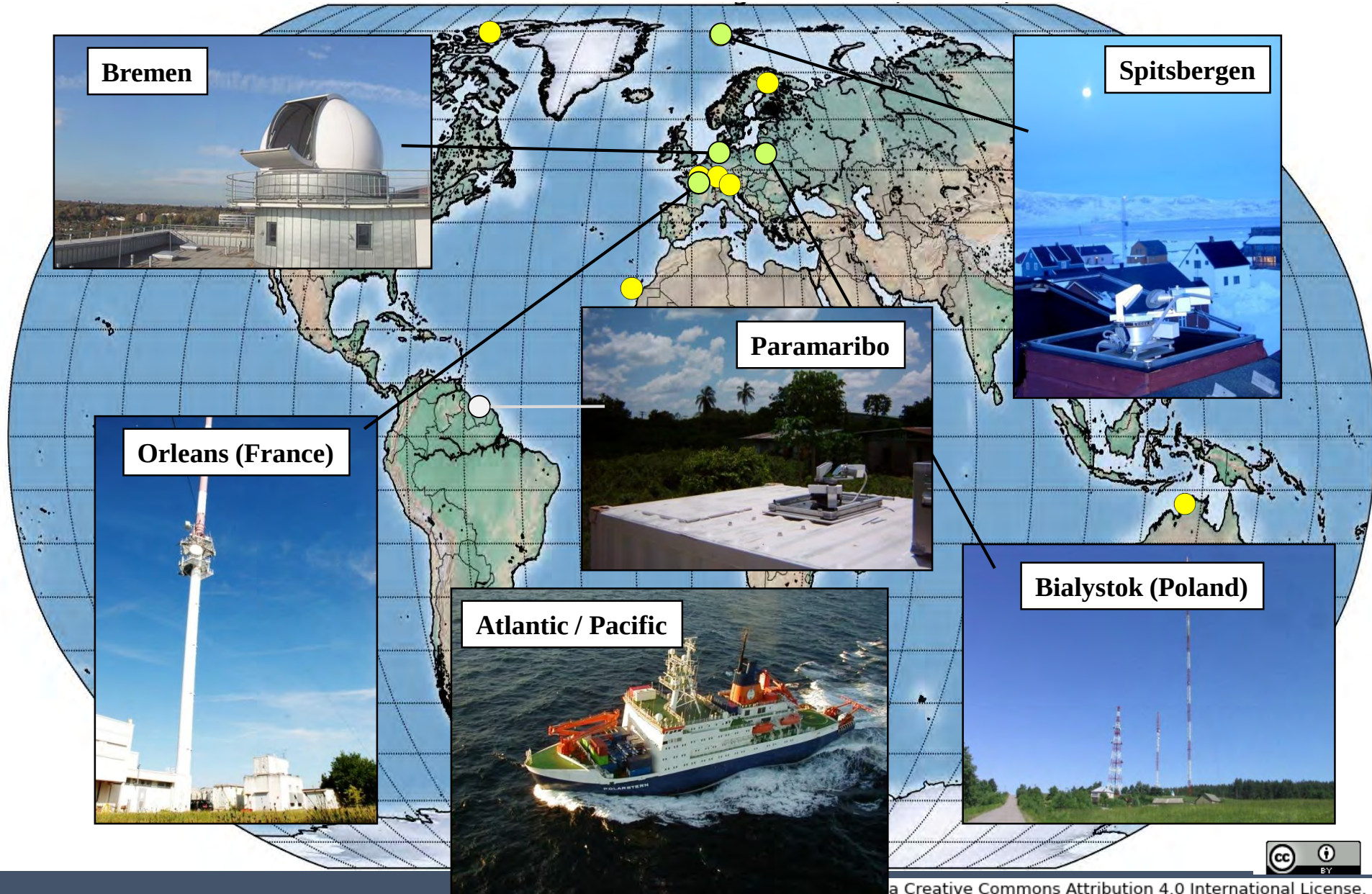


ICOS N₂O-Messungen in Steinkimmen

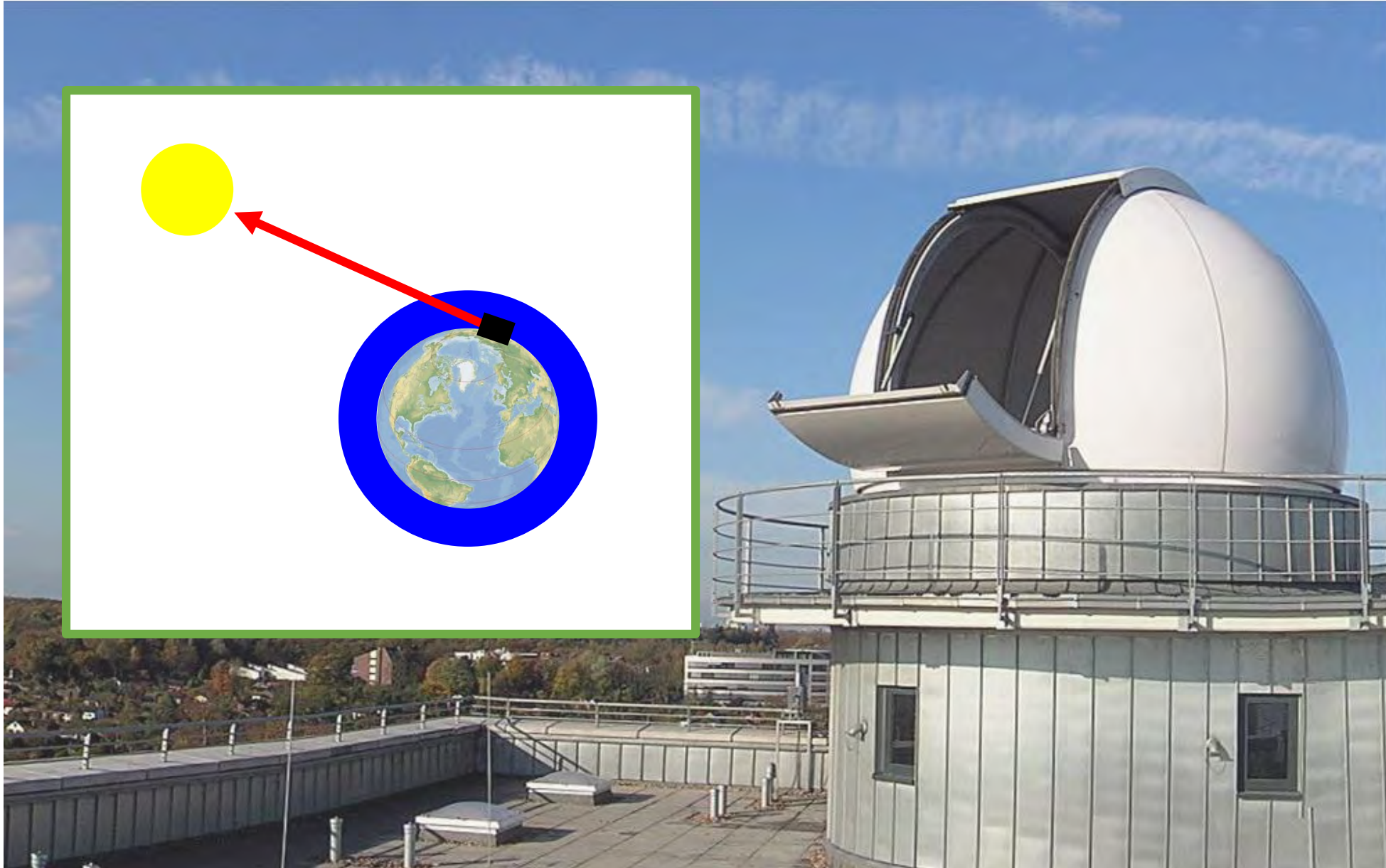


TCCON-Bodenbeobachtungen in Bremen

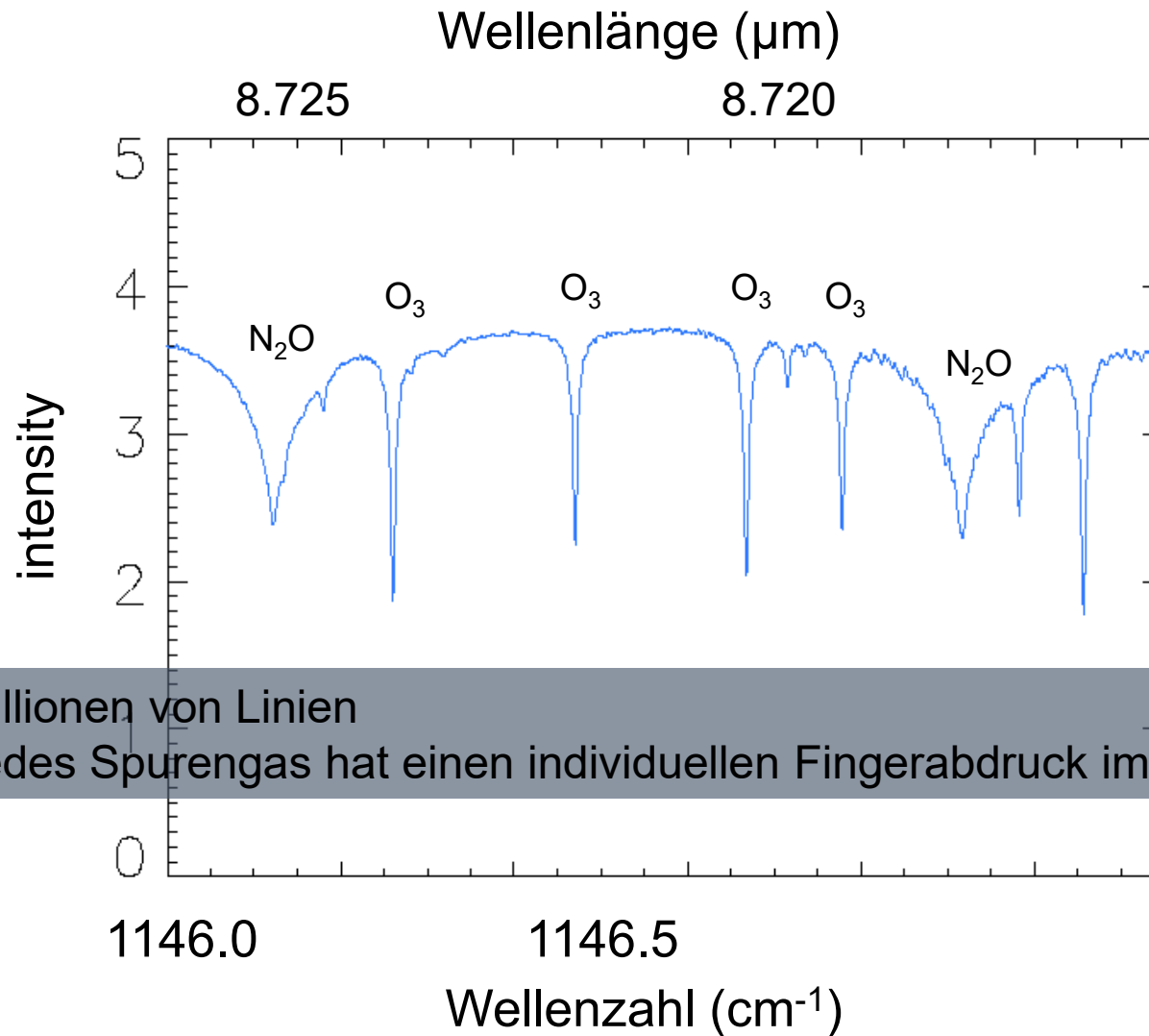
TCCON: Total Carbon Column Observing Network



TCCON-Bodenbeobachtung in Bremen

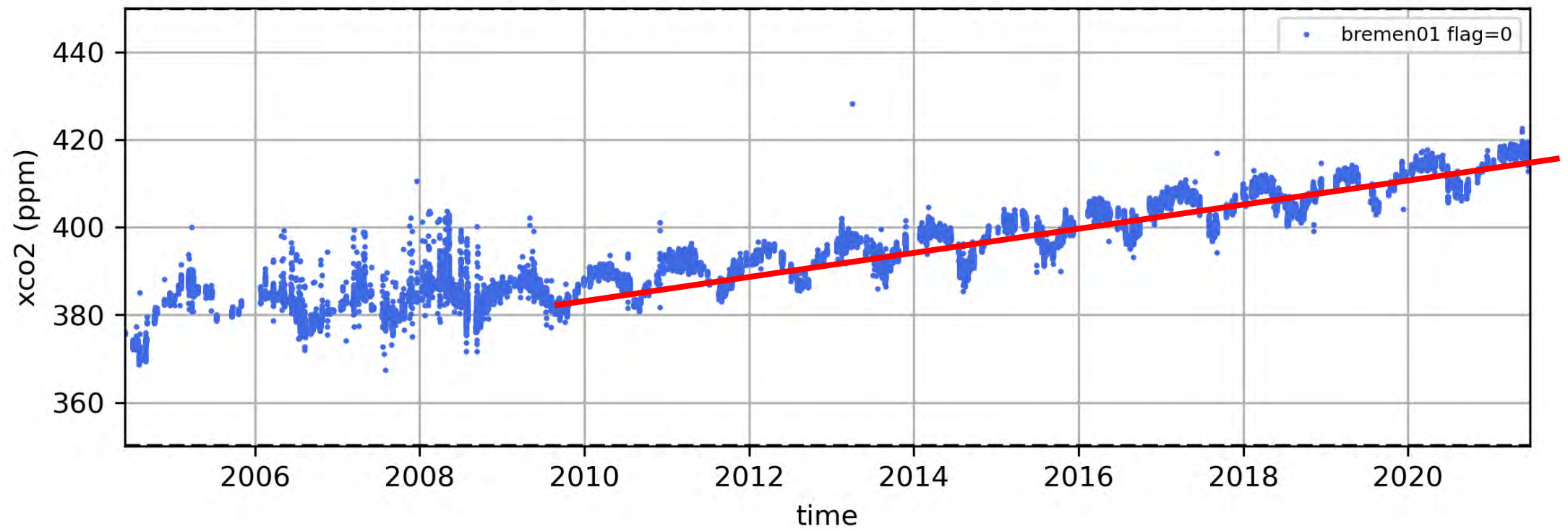


TCCON-Bodenbeobachtung in Bremen

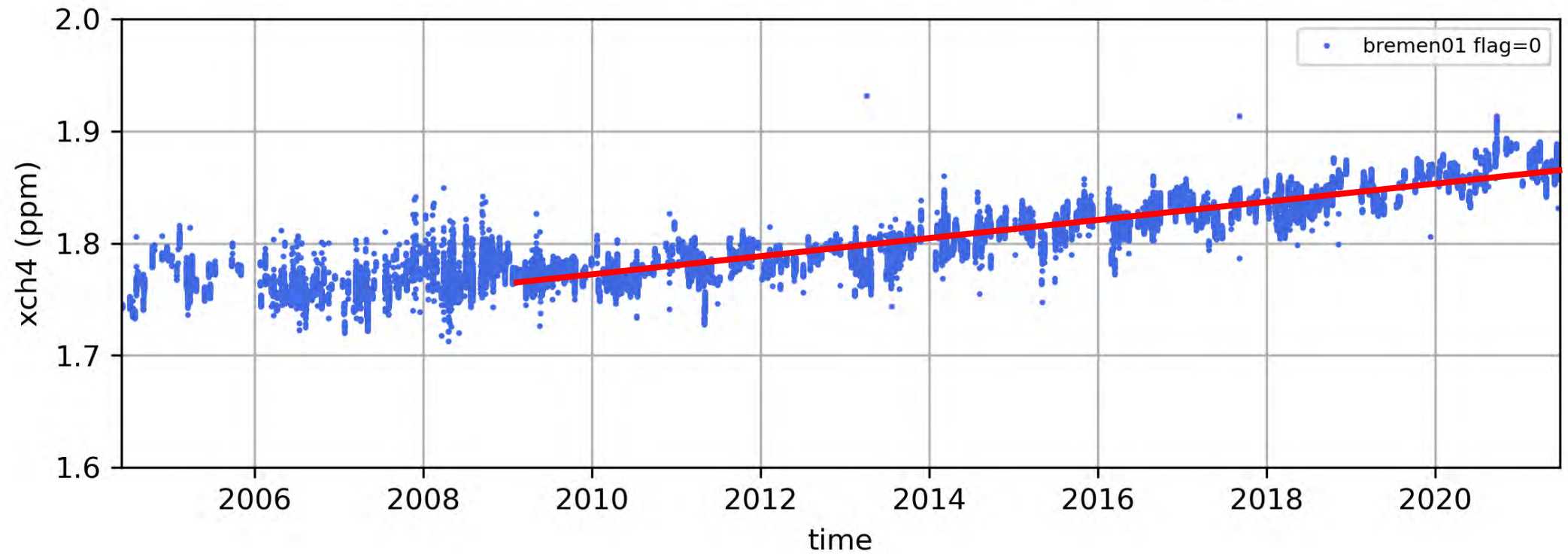


- Millionen von Linien
- Jedes Spurengas hat einen individuellen Fingerabdruck im Spektrum

TCCON-CO₂-Messungen in Bremen

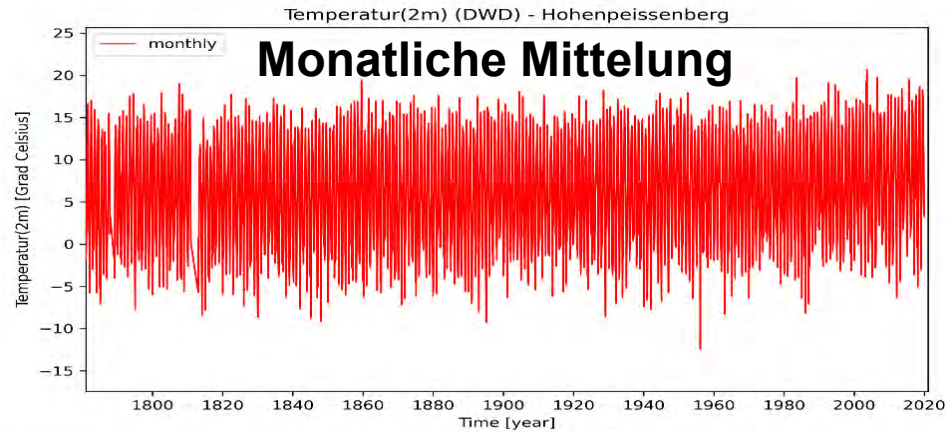


TCCON-CH₄-Messungen in Bremen

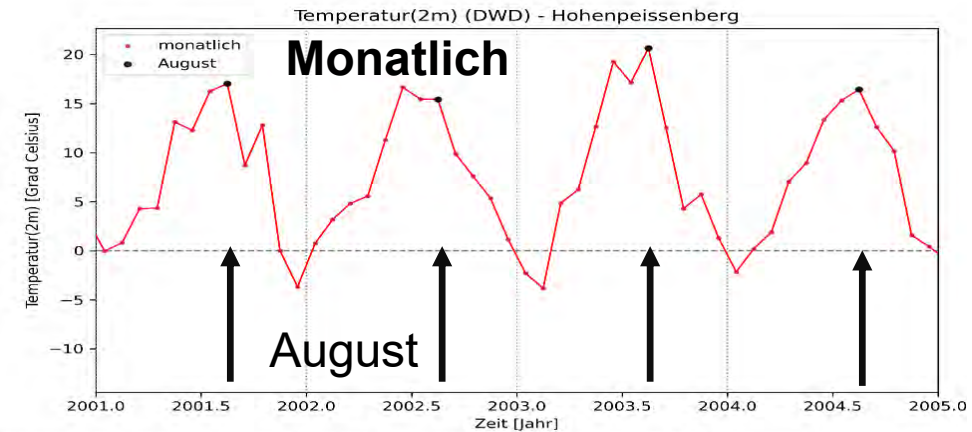


Temperaturmessungen

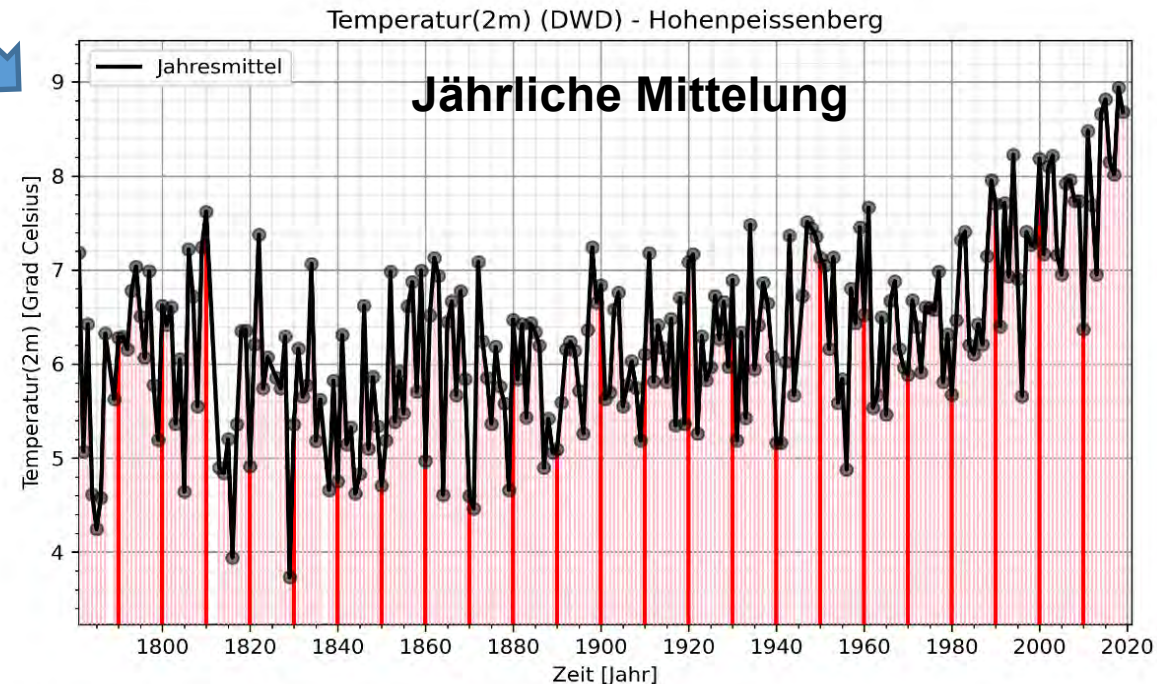
Temperaturzeitreihe Hohenpeissenberg (seit 1790)



Zoom



Mitteln
(glätten)



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



www.dwd.de

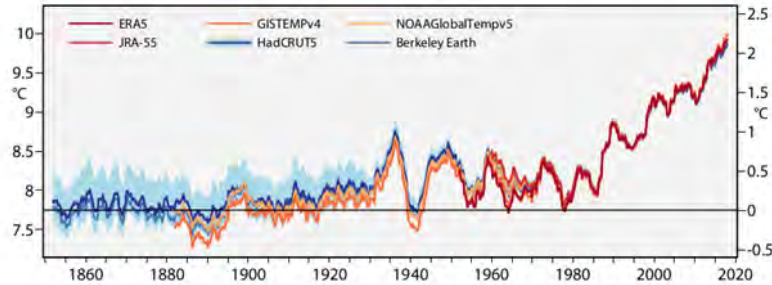
Temperaturanstieg global & verschiedene Regionen

Temperatur-Anstieg:

(a)

Temperatur **Europa**

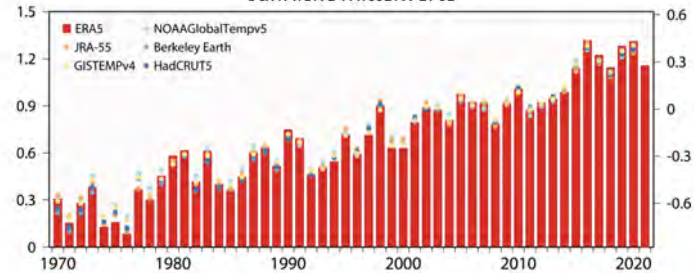
Temperaturänderung relativ zur Referenzperiode 1850-1900
Mittelwert über 60 Monate



(b)

Temperatur **Global**

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

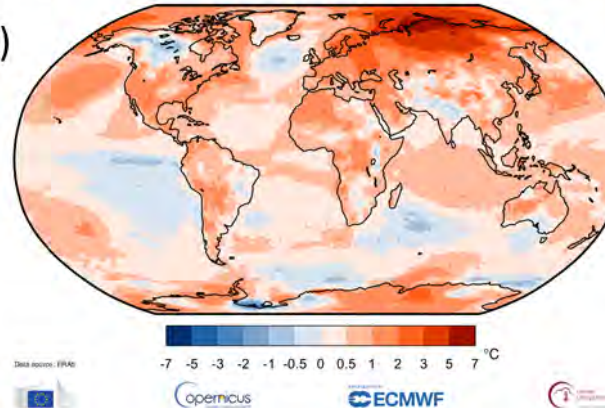


Temperaturanstieg 2016-2020 seit
1850-1900:

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

Temperaturdifferenz 2020 und 1981-2010

(c)



Quellen:

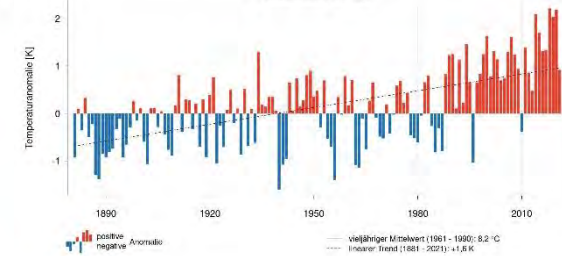
- (a) <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature>
(b) <https://climate.copernicus.eu/copernicus-globally-seven-hottest-years-record-were-last-seven>
(c) <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-rec>

Deutschland

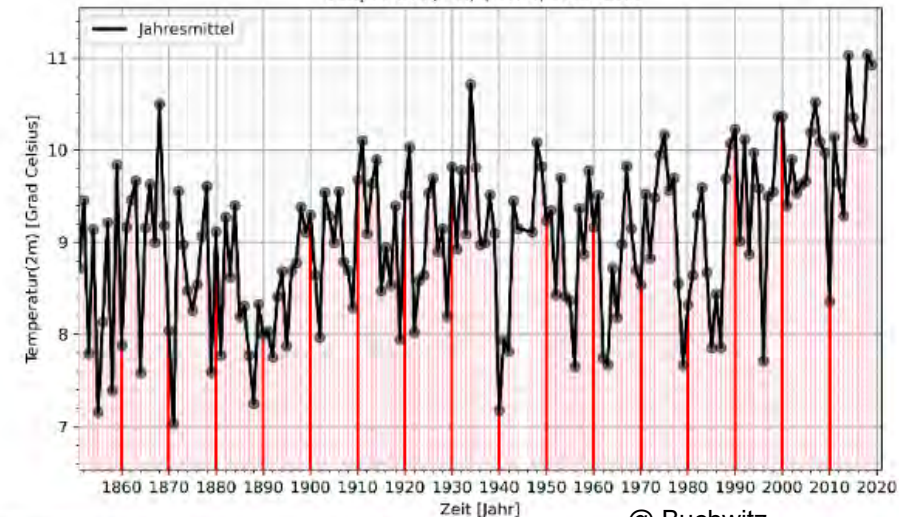
Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Temperaturanomalie
Deutschland Jahr
1881 - 2021
Referenzperiode 1991 - 1999



Temperatur(2m) (DWD) - Bremen



@ Buchwitz



Bremen (D)

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



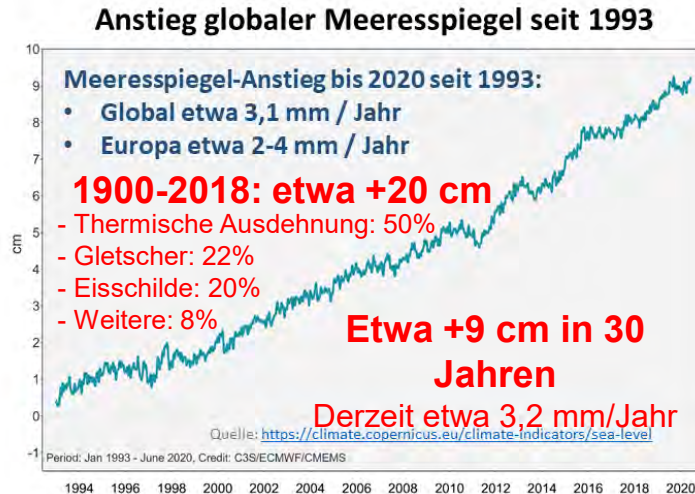
Folgen des Temperaturanstieges

....

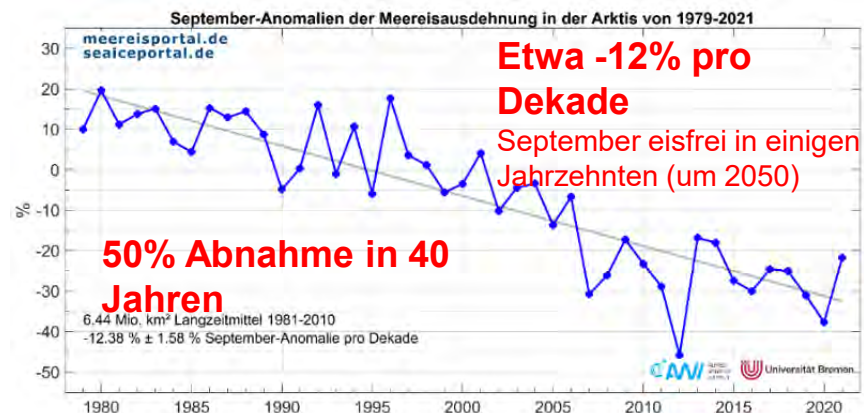
Folgen der globalen Erwärmung:

Meeresspiegelanstieg

Meeresspiegel-Anstieg:

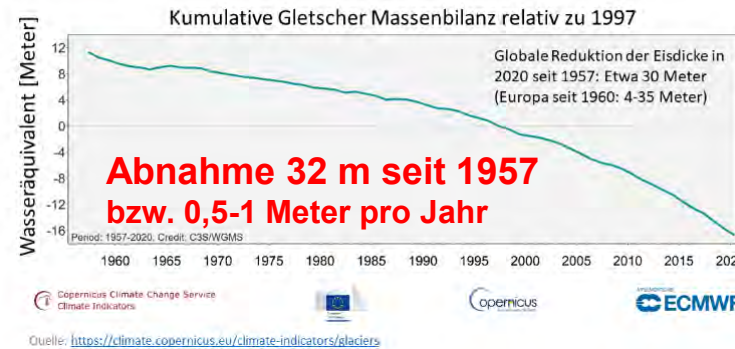


Abnahme arktisches Meereis



Gletscherschmelze

Massenbilanz der Gletscher (global):

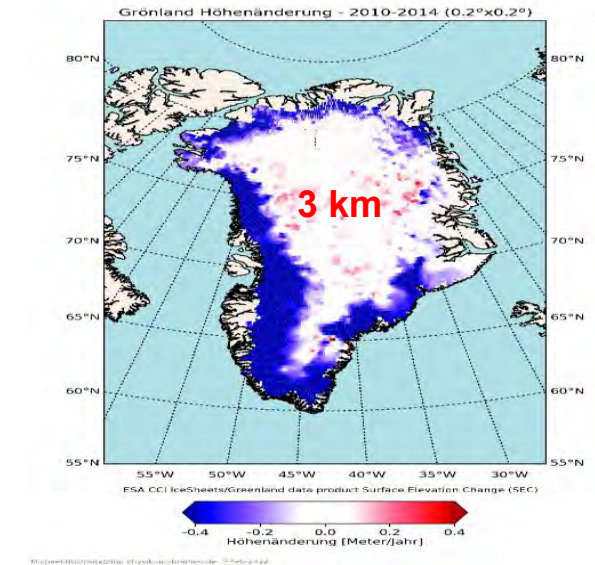


Eisschmelze Antarktis

Eisverlust 1992-2020 etwa 55% von Grönland

Also etwa 2670 Gt im Vergleich zu etwa 4890 Gt.
(Gesamtmasse entspricht 60 m Meeresspiegel)

Eisschmelze Grönland



Eisverluste an „den Rändern“ von etwa 30 cm/Jahr
(Gesamtmasse entspricht 7 m Meeresspiegel)

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

Pariser Klimaabkommen
Wieviel Zeit bleibt uns
noch.....?

Pariser Klimaabkommen

Ziel für den maximalen Anstieg der globale Mitteltemperatur:
< 2 °C, besser noch < 1.5 °C



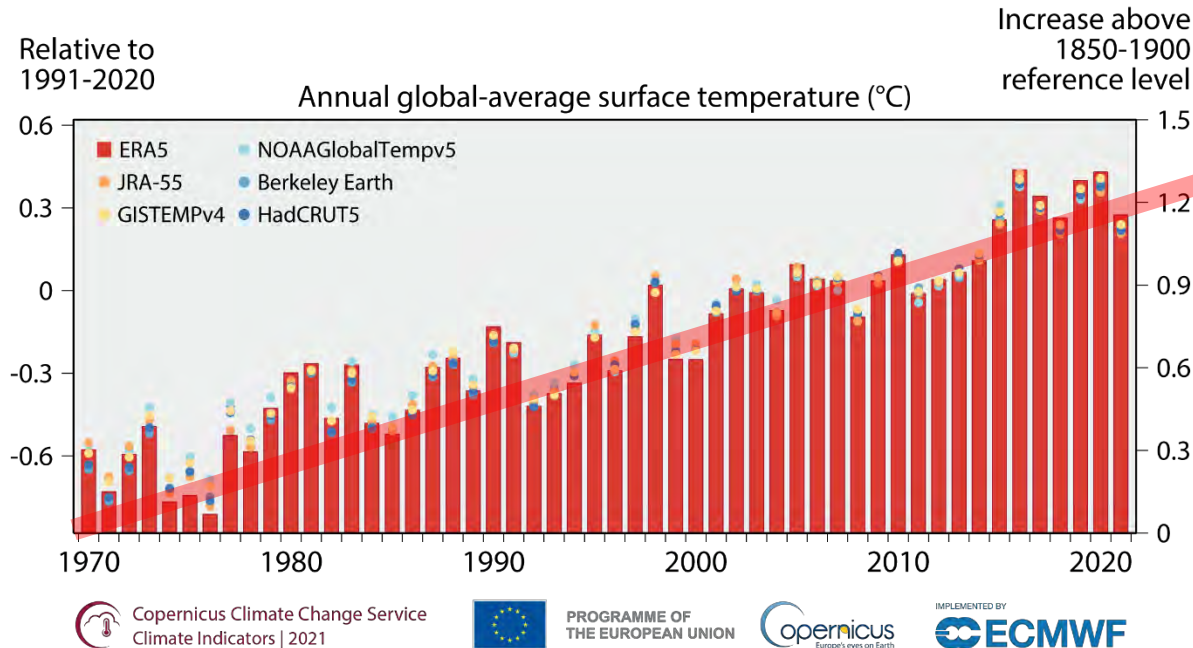
Die Welt geht nicht unter bei +2 Grad aber jedes 0,1 Grad zählt, da Folgen der Klimaänderung zunehmend unbeherrschbarer werden.

	1,5 °C	2 °C
Zunahme von Hitzetagen im Jahr ⁷	Ca. Verdopplung (+ 7 Tage) 	Ca. Vervielfachung (+ 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 Waldbrandflächen 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

Pariser Klimaabkommen und globaler Temperaturanstieg



<https://climate.copernicus.eu/esotc/2021/globe-in-2021>

**Wieviel Zeit bleibt uns noch für
+1,5 °C bzw.
+2 °C Paris-Ziel?**

Grobe Abschätzung:

Temperaturanstieg:

Etwa 1,2 °C / 50 Jahre = **0,24 °C / Jahrzehnt**

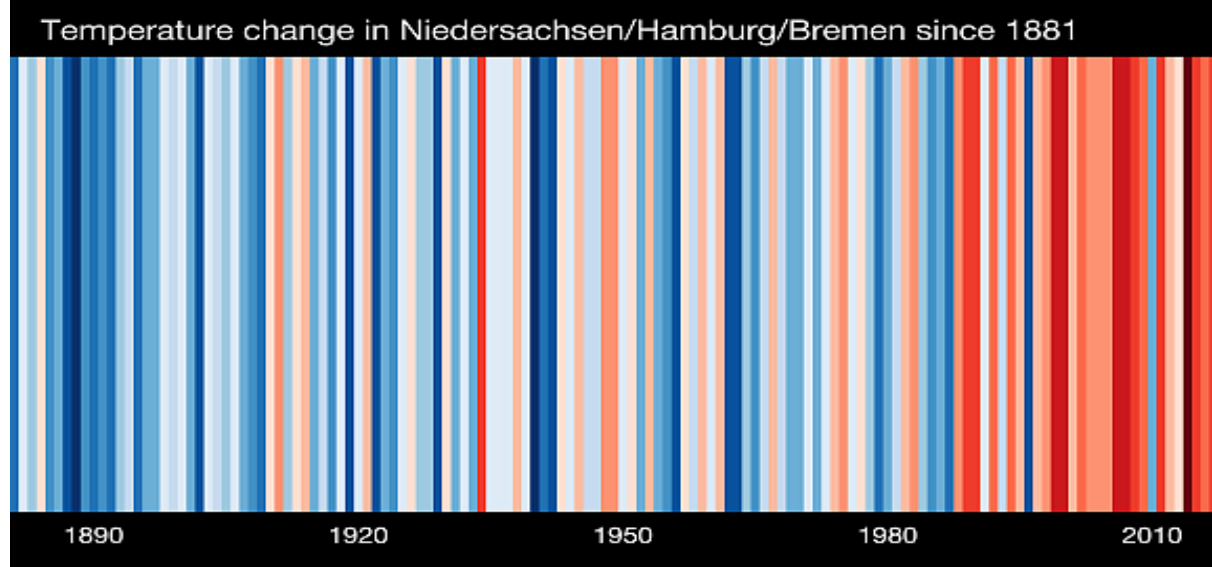
Schon erreicht: Etwa 1,2 °C

Es verbleiben noch 0,3 Grad bzw. 0,8 Grad

- **1,5 Grad** erreicht in etwa **13 Jahren** (= $0,3 \cdot 10 / 0,24$), also etwa um das Jahr 2034 (etwa **Mitte der 2030er Jahre**)
- **2 Grad** erreicht in etwa **33 Jahren** (etwa **Mitte der 2050er Jahre**)

Was macht Bremen?

Klimaänderungen - Bremen



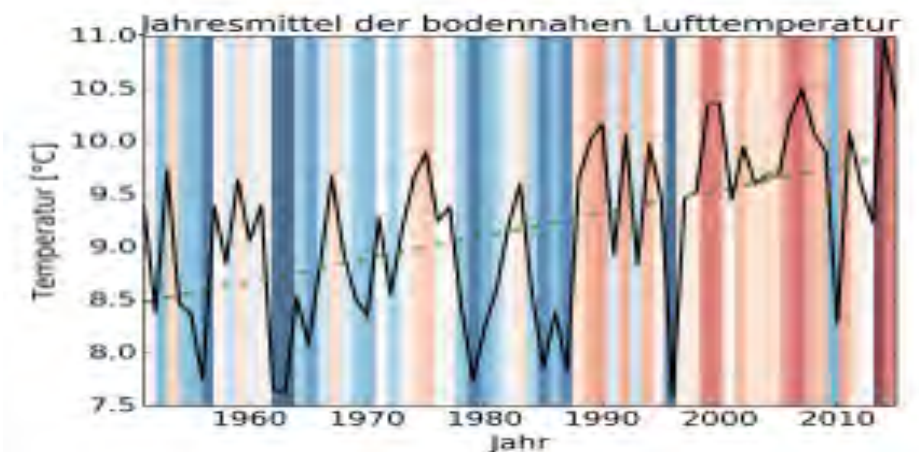
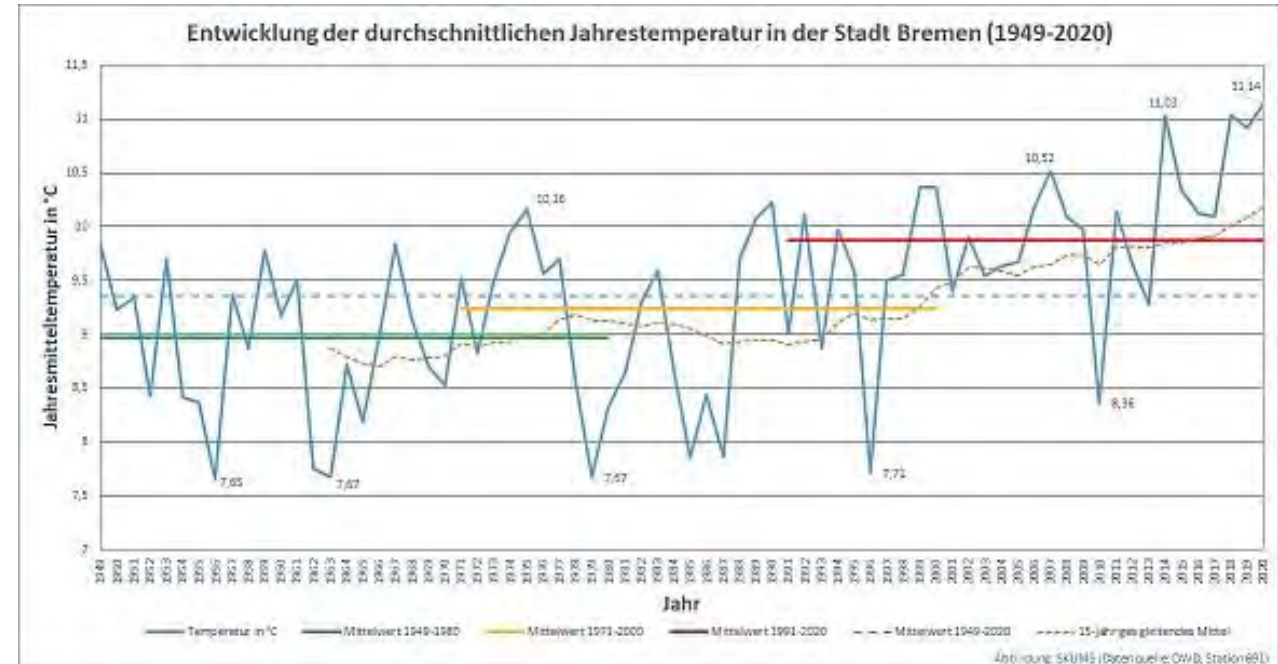
Messbarer Klimawandel: Temperaturanstieg um $1,3^{\circ}\text{C}$ (1881 bis 2020)

→ Durchschnittstemperatur wird sich weiter erhöhen

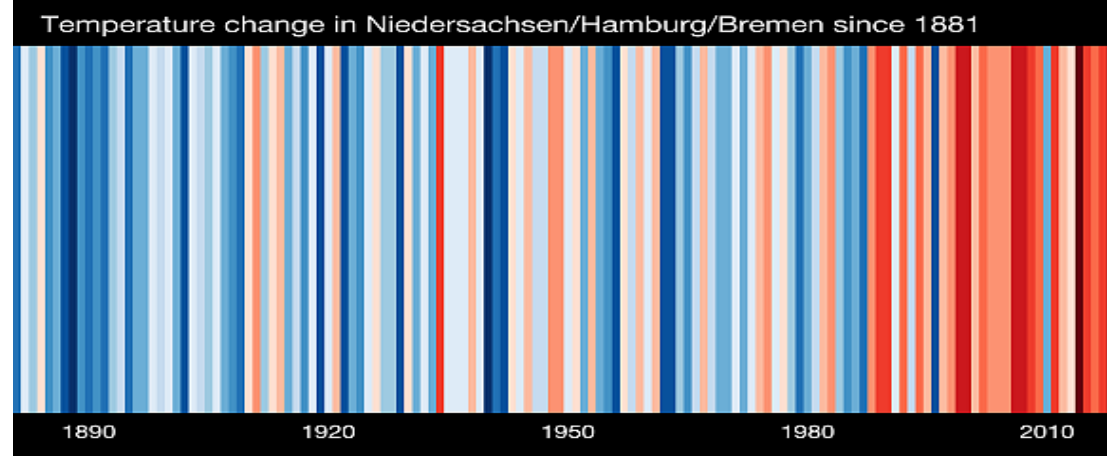
→ Höhere Extremtemperaturen

Klimaänderungen - Bremen

- Positiver Temperaturtrend
 - mittlere regionale Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts bei 3,6 °C (Bandbreite 2,5–4,9 °C).
- → Zunahme der Sommertage ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$),
→ Zunahme der heißen Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$)
→ Zunahme der Tropennächte ($T_{\min} \geq 20 \text{ °C}$).
- Bremen: ≤ ca. 9 zusätzliche heiße Tage bis Endes des Jahrhunderts
- Ursache: dicht bebaute Innenstadtgebiete (unverschattete, vegetationsarme, versiegelte Flächen) - **Heat Islands**

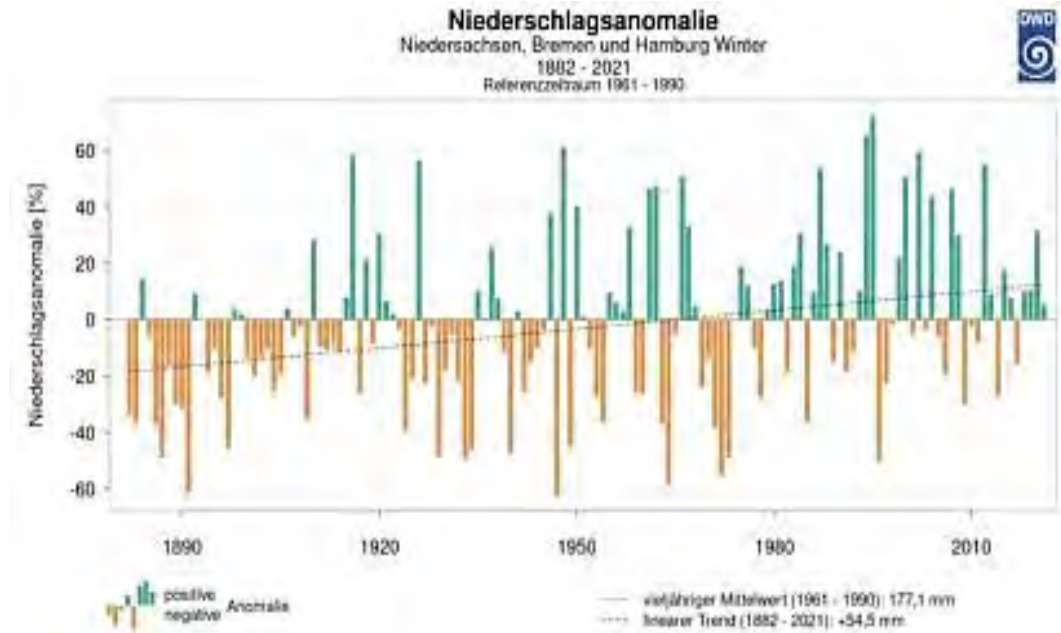
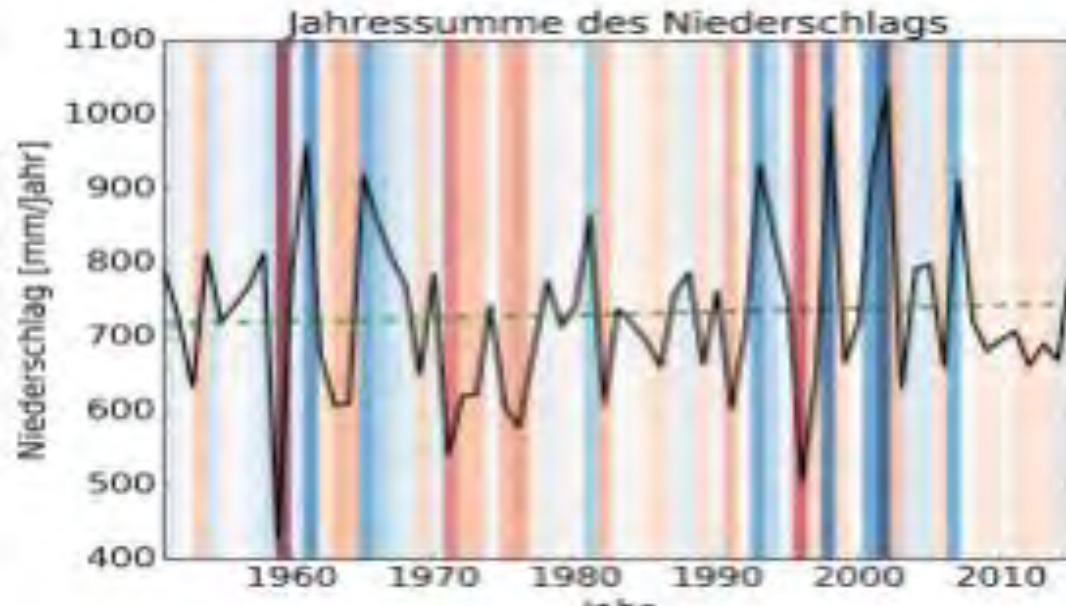


Klimaänderungen - Bremen



- Mehr Extremniederschläge
- Verschiebung der Vegetationsperioden
- Höhere Sturmflutwasserstände

Klimaänderungen - Bremen



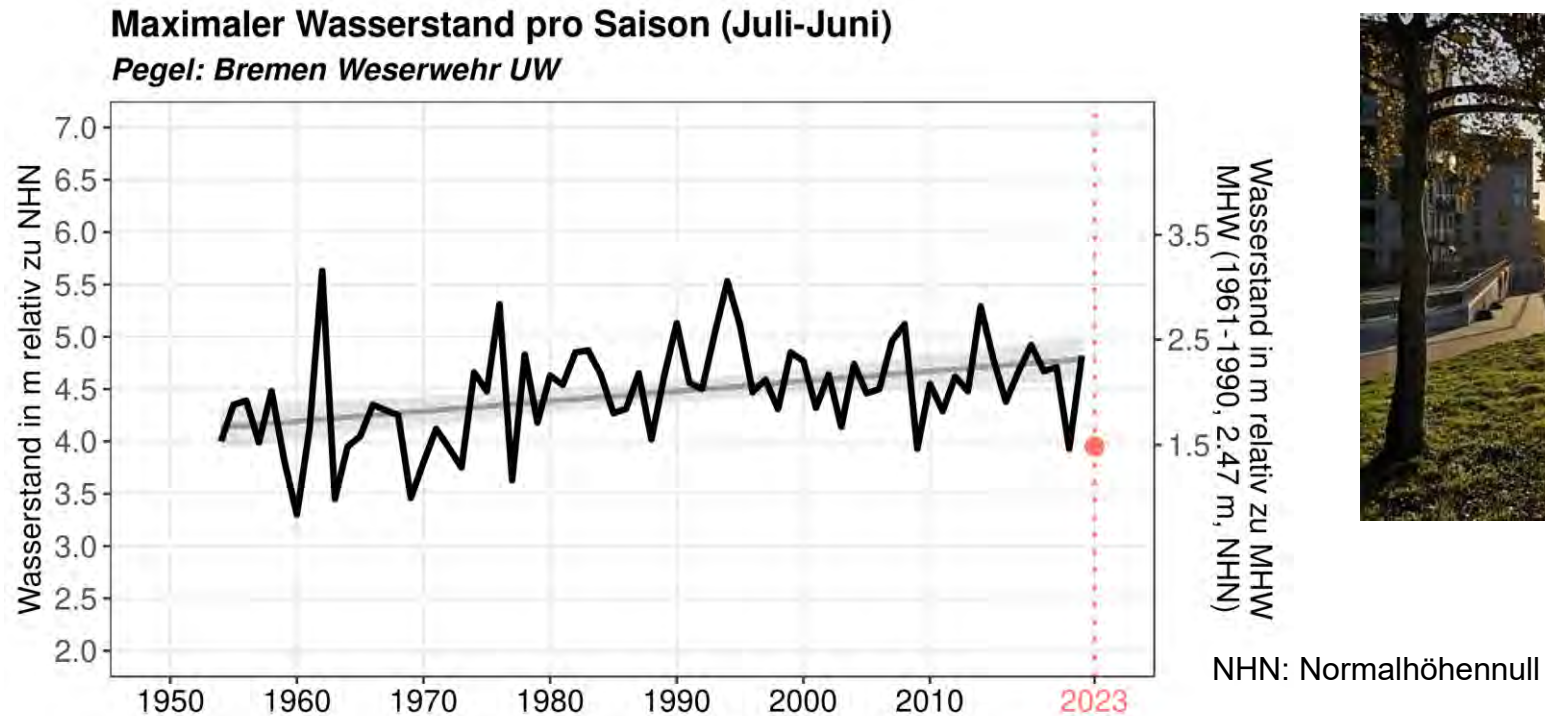
- Zunahme der mittleren jährlichen Niederschlagssummen (der letzten Jahrzehnten)
 - Zunahme speziell in Winter- und Herbstmonaten
 - Abnahme speziell in Sommermonaten
- spürbaren Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt, Grundwasserstand

Klimaänderungen - Bremen

- Prognose bis (2071–2100)
- + 10% Zunahme des Jahresniederschlags



Klimaänderungen - Bremen



- Klimamodellrechnungen:
 - Nordseestürme im Winter stärker
 - weiterer Anstieg des Meeresspiegels (bis Ende des Jahrhunderts bei 30 cm - 1m)
- höheren Sturmflutwasserständen (~40 - 120 cm höher als heute)

Klimaschutz- und Energieprogramm - Bremen

- **Plan bis 2020:** CO₂-Emissionen um > 40% gegenüber 1990 reduzieren → Einsparung 21,6%
 - CO₂-Emissionen im Verkehrssektor wieder angestiegen
 - Wärmeversorgung von Gebäuden - Ziel erreicht (seltener Öl-Heizungen, häufiger Erdgas oder Fernwärme)
- **Plan bis 2038:** klimaneutral
 - 4 Maßnahmen:
 - klimaschonende Wärmeversorgung
 - mehr CO₂-arme Mobilitätsangebote
 - energetische Sanierung öffentlicher Gebäude
 - CO₂-freie Stahlproduktion und Energieerzeugung

Was können wir machen ...?



Eigenen ökologischen Fußabdruck reduzieren:

- Regionale Produkte kaufen
- Energie sparen (Energiesparmodus, Licht aus, energieeffiziente Geräte)
- Ernährung (Fleischkonsum reduzieren)
- Fassadendämmung: (gute Isolierung & sinnvolles Lüften)
- Mobilität: (weniger fliegen, Fahrgemeinschaften (Fahren mit dem Auto (169g CO₂/km)), öffentliche Verkehrsmittel, Elektromobilität mit Energie aus regenerativen Quellen, Rad)

....

Leider haben wir mehr als ein Klimaproblem ...

Wir brauchen Lösungen für mehr als ein Problem!



- 2015: UN-Generalversammlung, 193 Mitgliedsstaaten
- Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung
- Beschluss für global gültige Ziele „nachhaltige Entwicklung“ (Sustainable Development Goals - SDGs)

<https://www.unicef.de/informieren/ueber-uns/unicef-international/neue-entwicklungsziele/entwicklungsziele-verstaendlich-erklart>

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

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**

Fragen ...?



Klimabahn Bremen, seit Nov' 2021 für 2 Jahre
<https://de.scientists4future.org/die-klimabahn/>