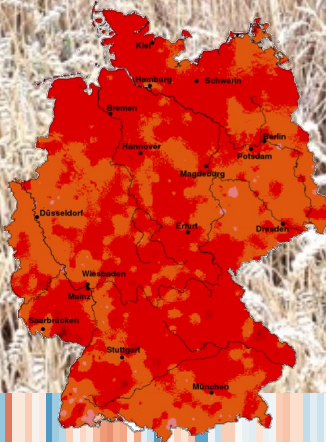
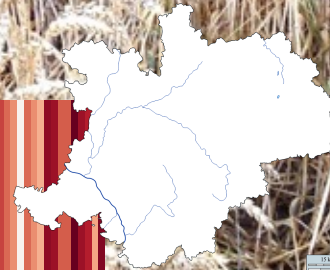


Klimaveränderung in Oberfranken: Messbare Signale und Antrieb



**Kongress
'Unsere Nachhaltige Zukunft'
Bamberg, 09.März 2024**

CO₂



Prof. Dr. Christoph Thomas
Mikrometeorologie
Universität Bayreuth
christoph.thomas@uni-bayreuth.de



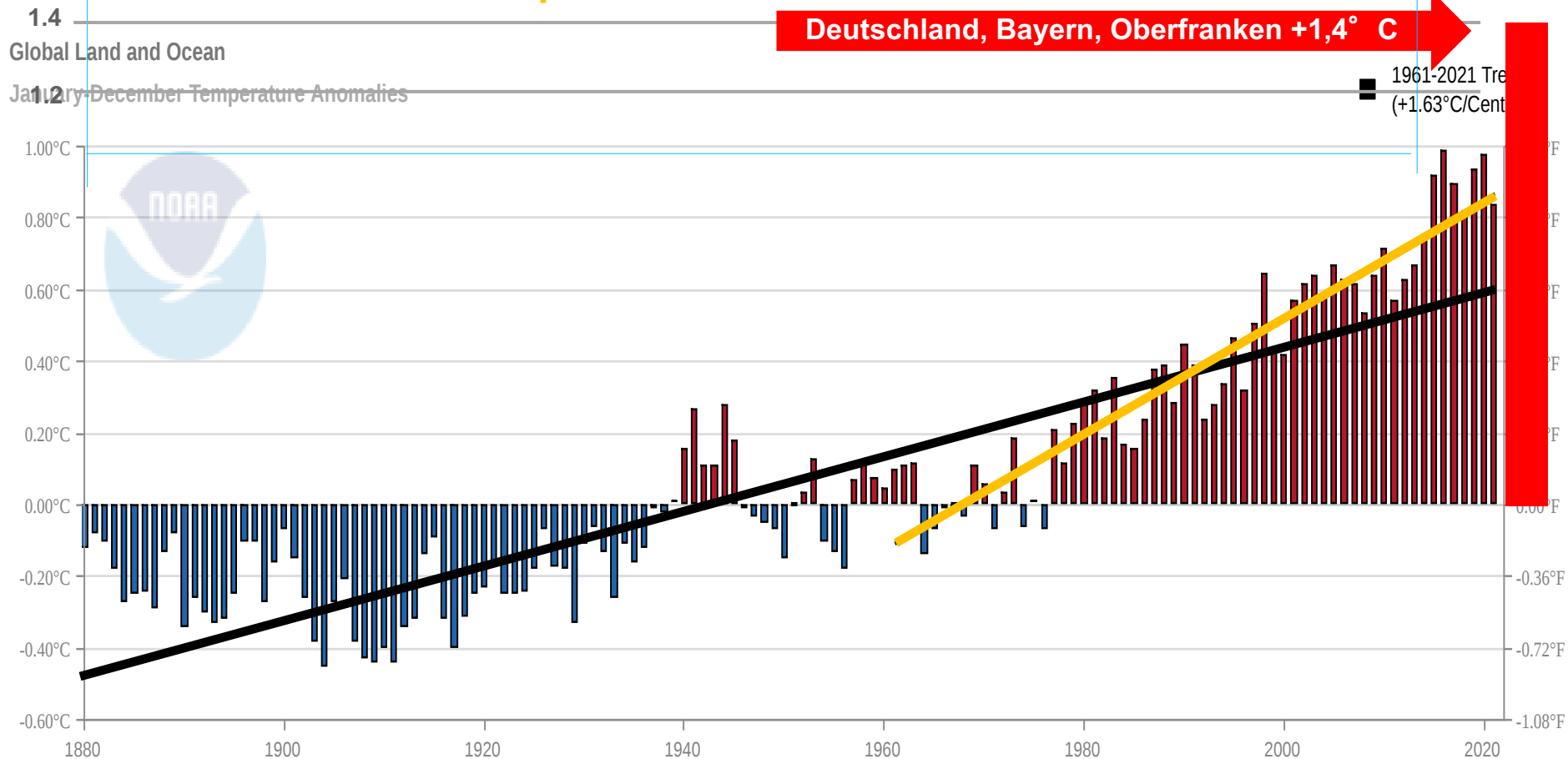


Bayreuth
Oberfranken
50° N

Klimaentwicklung Global über Land & Ozean - Temperatur

Trend 1880-2021: +0,8° C pro 100 Jahre

Trend 1961-2021: +1.6 ° C pro 100 Jahre



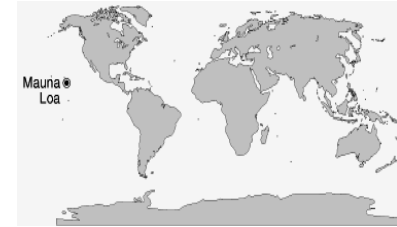
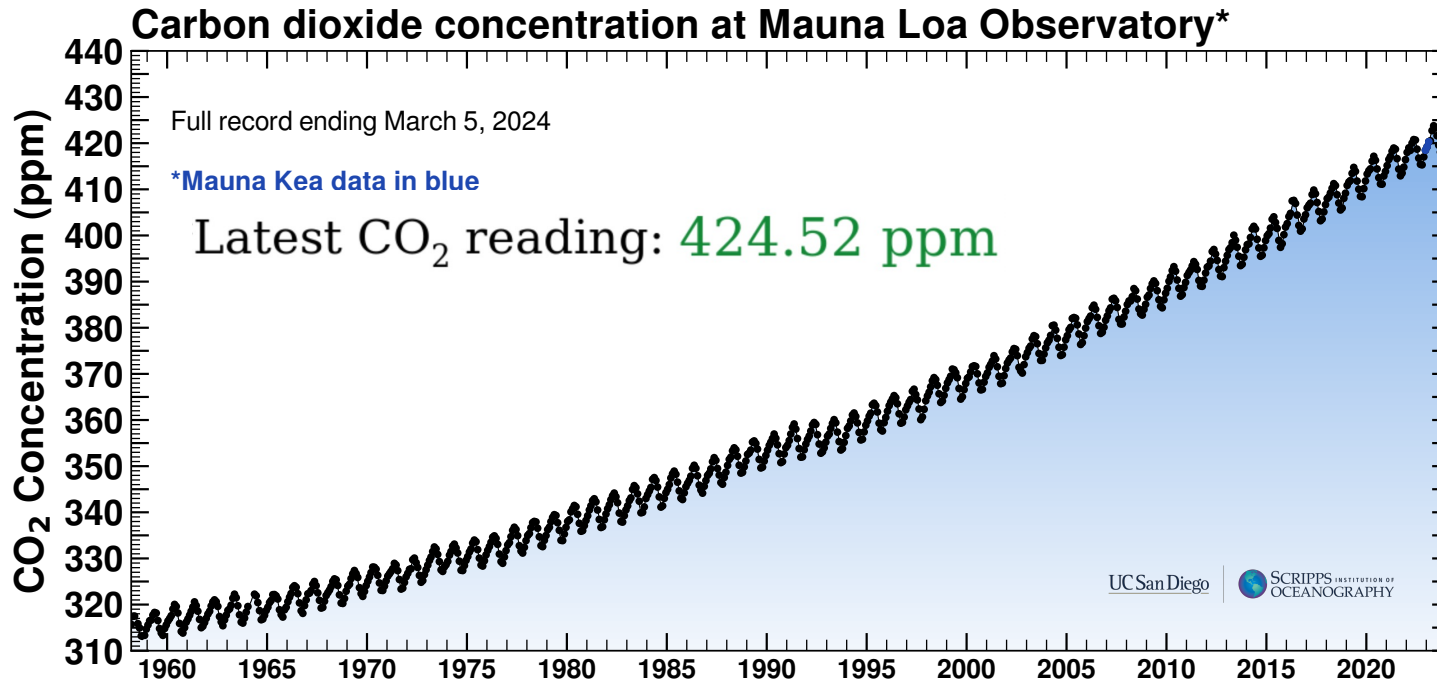
Referenz: Mittelwert über das 20. Jhd

NOAA National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series, published June 2022, retrieved on July 10, 2022 from <https://www.ncei.noaa.gov/cag/>

Die Ikone des Klimawandels ?



Menschengemachter Anstieg des CO₂ Gehalts der Atmosphäre: Die Keelingkurve



Charles David Keeling
(1928 – 2005)

Mittlere Anstiegsrate seit 1958: 1.6 ± 0.15 ppm yr⁻¹

Quelle: <http://keelingcurve.ucsd.edu>

February 2024: 424.55 ppm

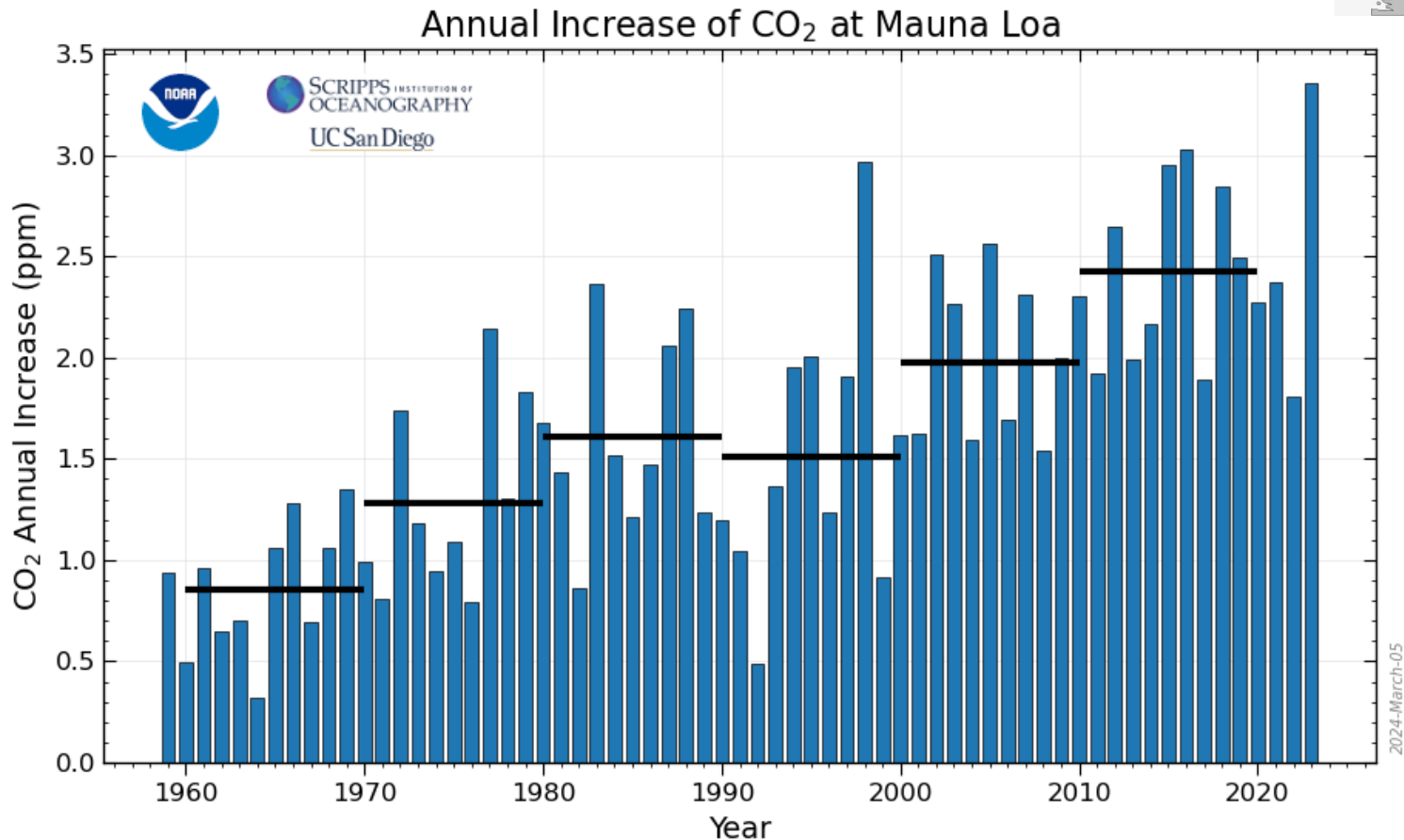
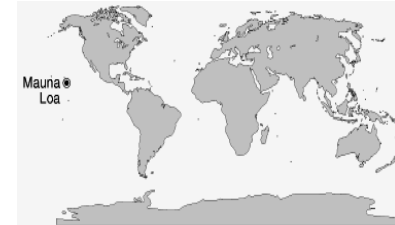
February 2023: 420.30 ppm

Last updated: Mar 05, 2024

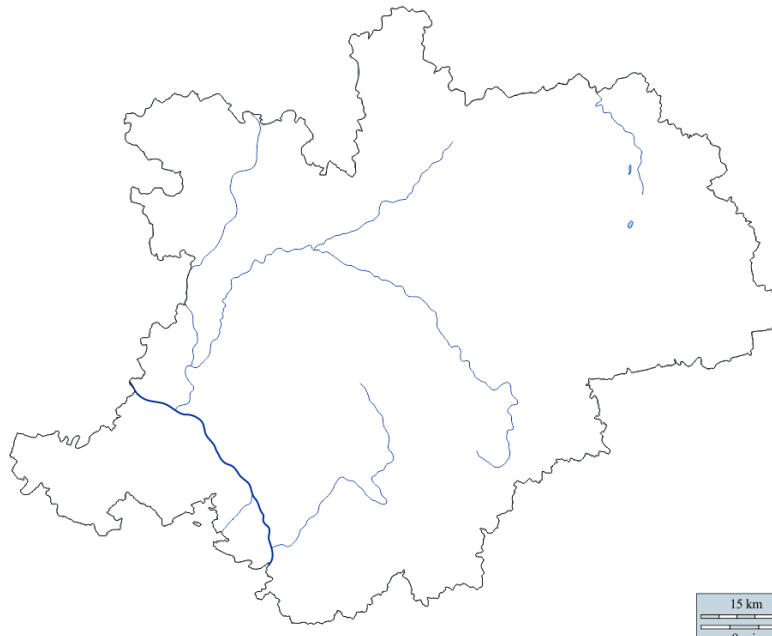
Menschengemachter Anstieg des CO₂ Gehalts der Atmosphäre: Die Keelingkurve

<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gr.html>

Mittlere Anstiegsrate jeweils über 10 Jahre

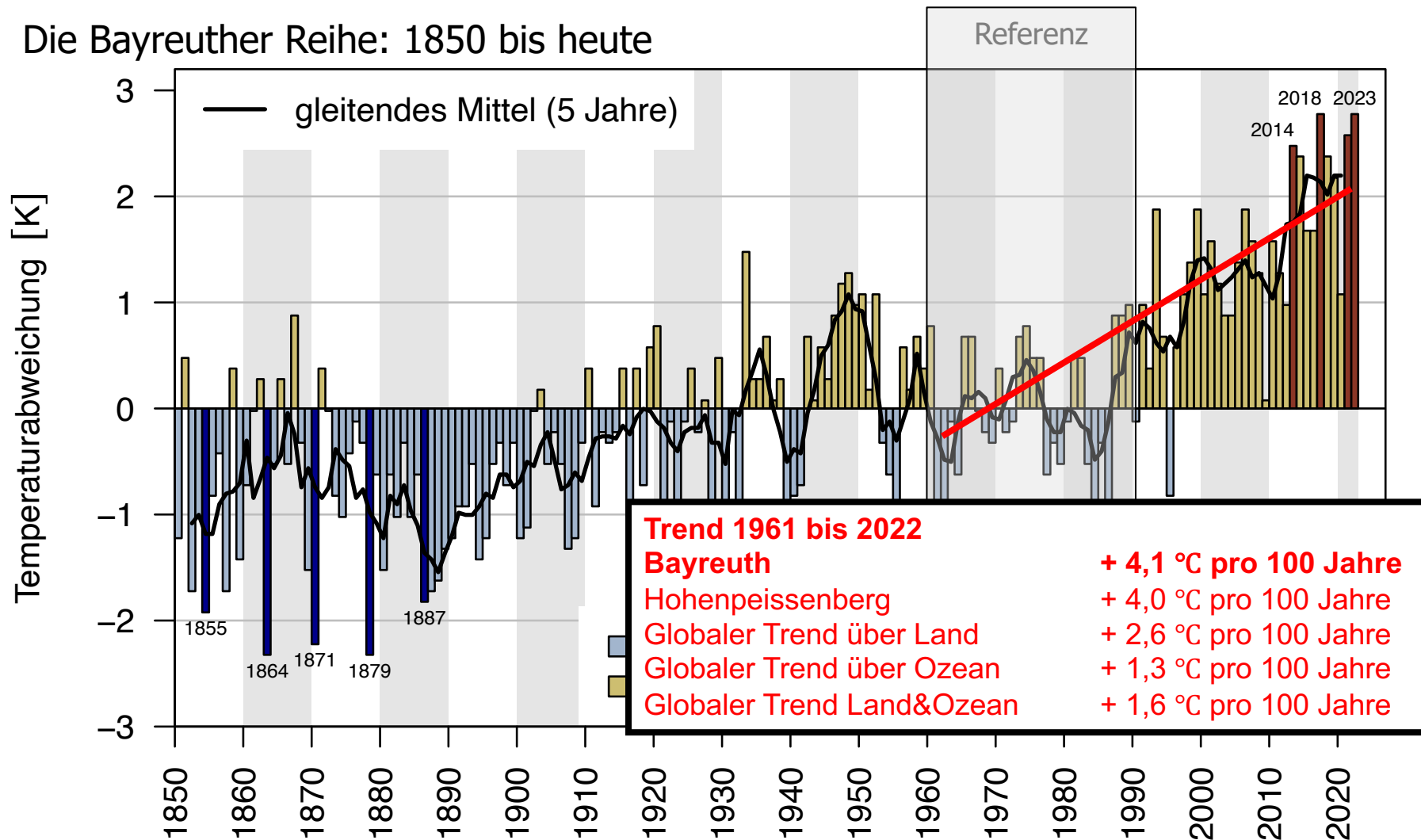


Messbare Klimaveränderung in Oberfranken



Klimaentwicklung in Oberfranken - Lufttemperatur

Die Bayreuther Reihe: 1850 bis heute



Homogenisierte Zeitreihe der Lufttemperatur in K, ÖBG Bayreuth, 1851 bis 2023.
Abweichung der jeweiligen Jahresmittel vom langjährigen Mittel 1961 bis 1990 (7.25 ° C).
Markierte Jahre: Quantile 2.5% (kälteste) und 97.5% (wärmste).

Nach: [Lüers et al., 2014, Arbeitsergebnisse, Mikrometeorologie, Universität Bayreuth](#)

Lufttemperatur – Was bedeutet das für Oberfranken?

- Oberfranken wird im **Mittel erheblich wärmer**, in allen Monaten, **vor allem aber im Frühjahr und Sommer** (März bis August). Die Jahre 2014, 2015 und 2018 waren die wärmsten seit Aufzeichnungsbeginn im Jahr 1850.
- Die momentane (1961-2020) Zunahme der **Erwärmung in Oberfranken ist mehr als doppelt so stark** im Vergleich zum globalen Mittel (+4,3 °C vs. +1,6 °C pro 100 Jahre).
- Die monatlichen **Wärmeextreme häufen sich** in den letzten 30 Jahren, **die Kälteextreme sind verschwunden**.
- Weniger Wasser für Mensch, Pflanze & Tier durch mehr **erhöhte Verdunstung und dadurch entstehender Dürre** nur durch hohe Temperaturen, auch ohne Niederschlagsmangel
- Mögliche Ausbreitung **wärmeliebender Krankheitserreger** und deren Überträger



© Ennio
Leanza/KEYSTONE
/dpa/Archivbild

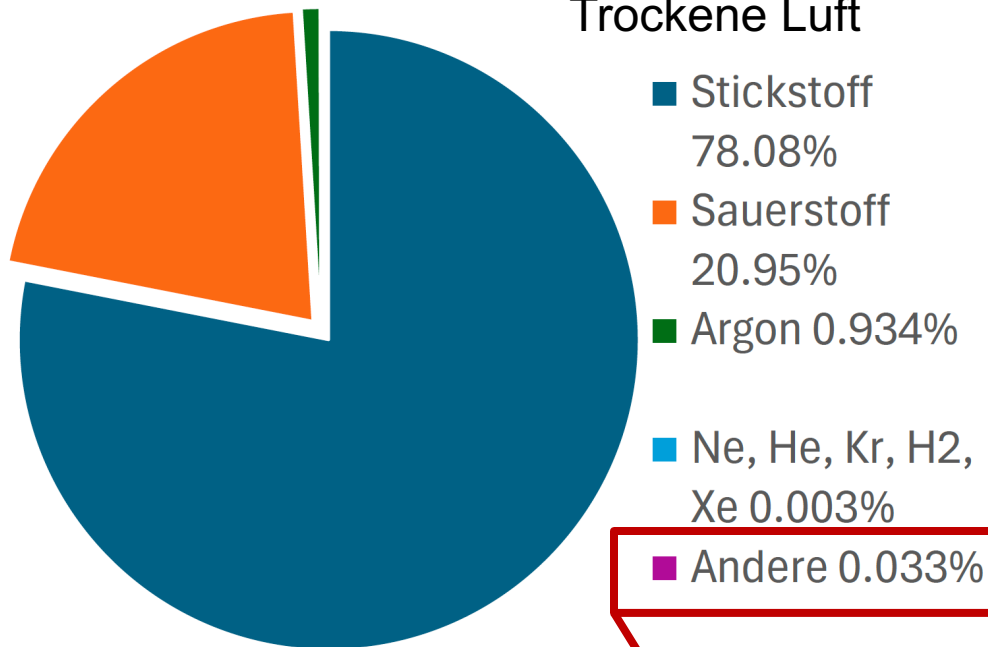


**Physikalischer Antrieb des
Klimawandels:**

**Strahlungstransfer im
Klimasystem Erde**

Treibhauseffekt: Zusammensetzung der Luft

Trockene Luft

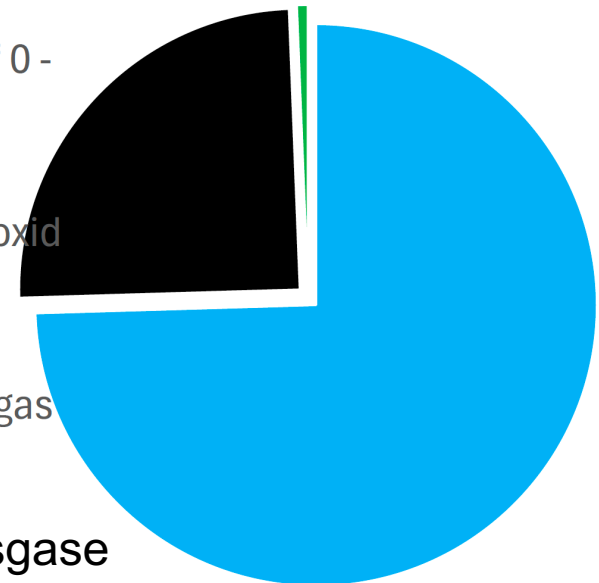


Wasserdampf 0 - 4%

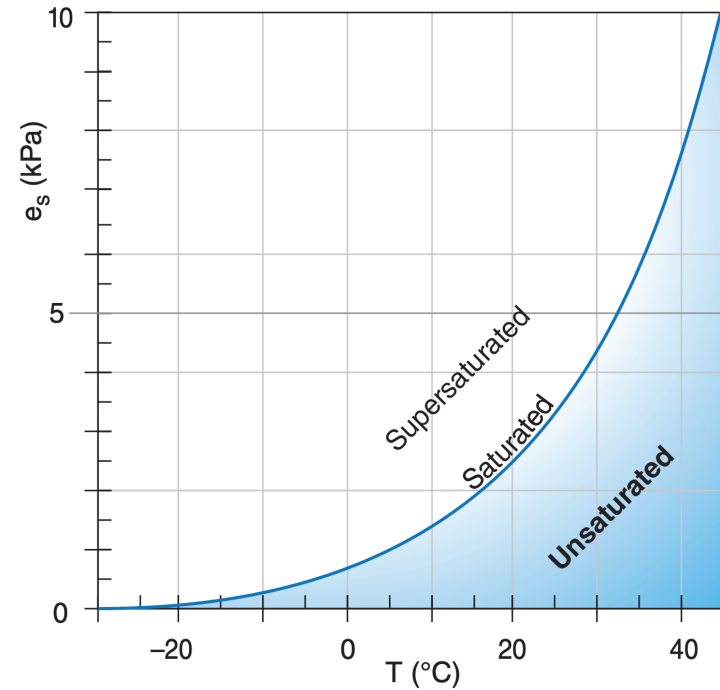
Kohlenstoffdioxid 0.04%

Methan, Lachgas 0.0002%

Treibhausgase



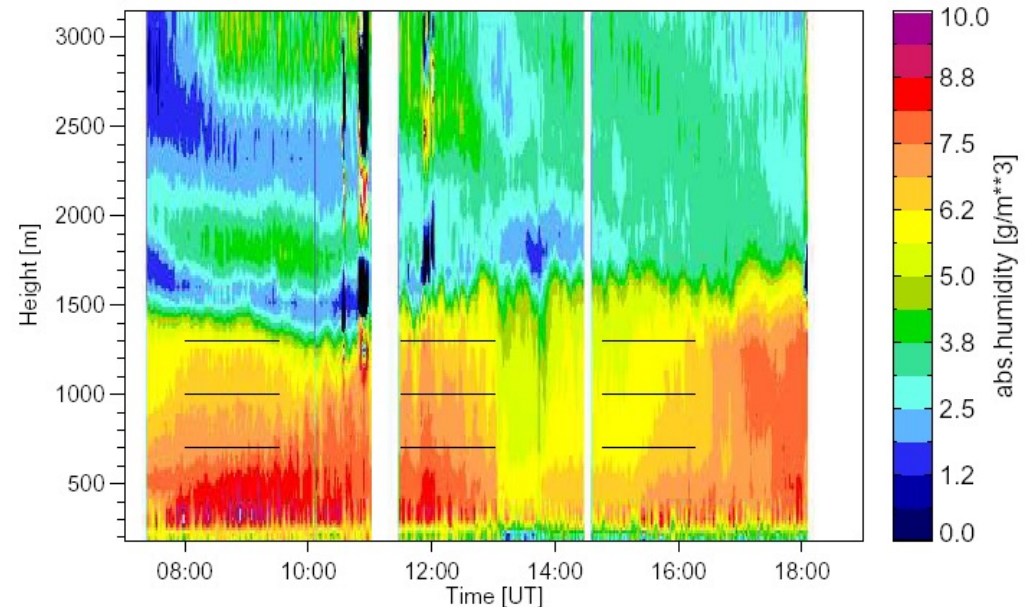
Treibhauseffekt: Variabler Wasserdampfanteil



Der variable Anteil des Wasserdampfs (0 bis 4%) wird in erster Näherung durch die **Temperatur** bestimmt, und dann erst durch die **Wasser-verfügbarkeit** und **Durchmischungsprozesse** in der Atmosphäre.

Atmosphärische Grenzschicht

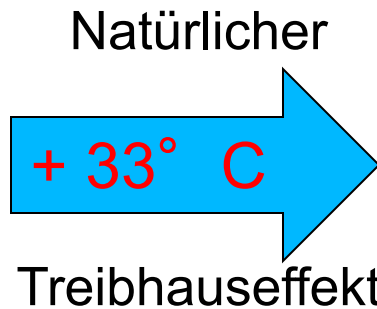
Messungen mit einem
Wasserdampf-
absorptionslidar



Treibhauseffekt: Klimawandel auf weltweiter Skale



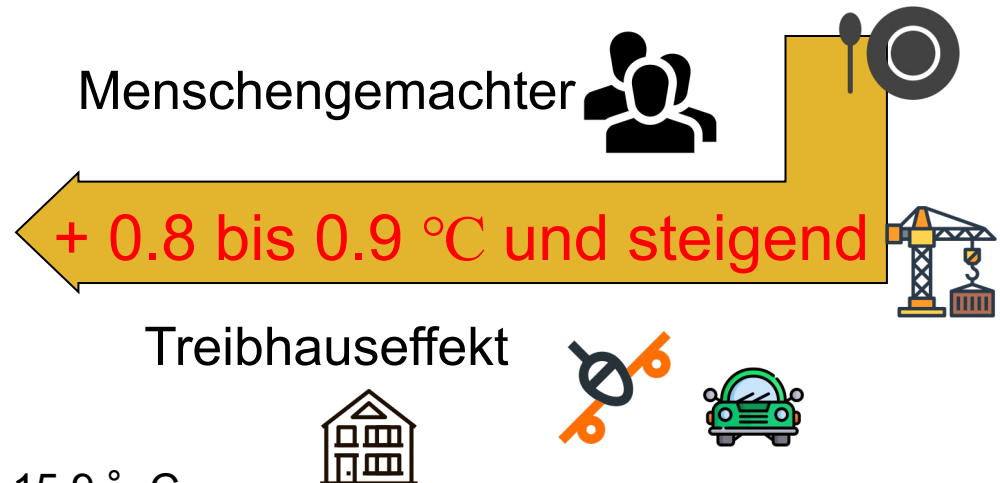
Ohne Atmosphäre: -18°C

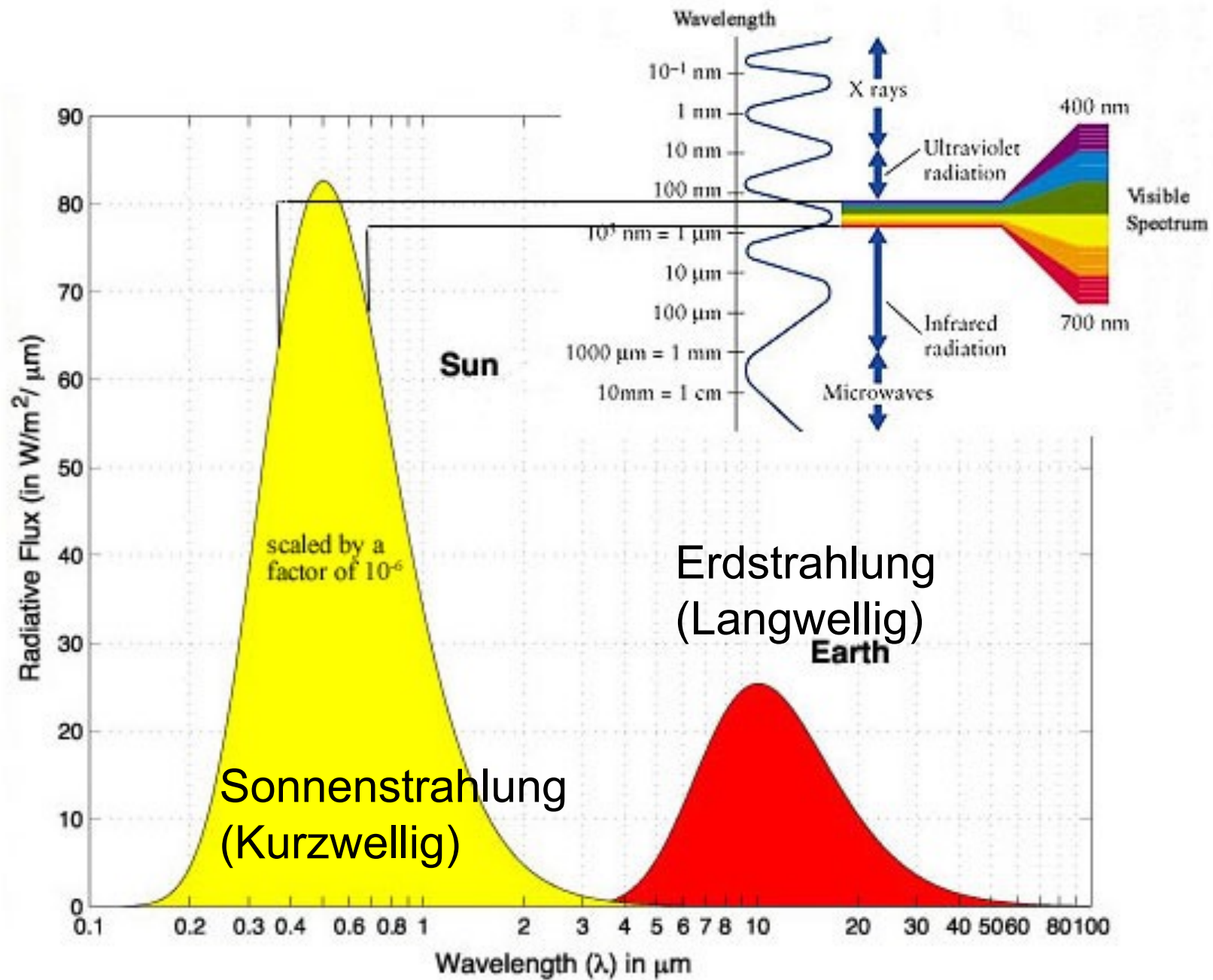


Mit Atmosphäre: $+15^{\circ}\text{C}$

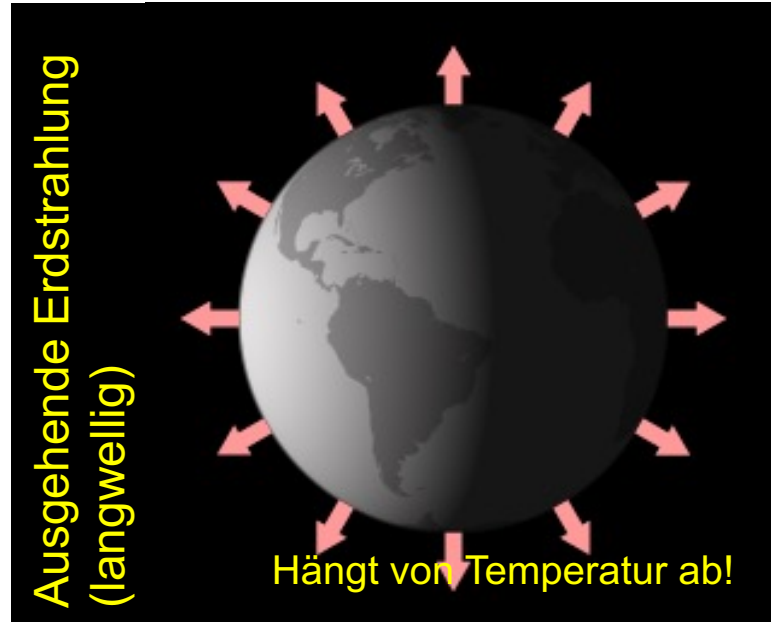
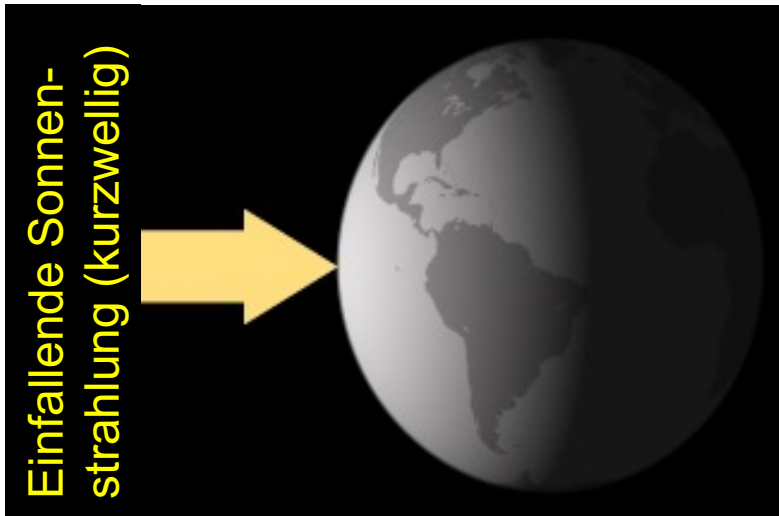


Mit **veränderter** Atmosphäre: $+15,8- 15,9^{\circ}\text{C}$





Der atmosphärische Treibhauseffekt



Fall 0 : Die Erde ohne Atmosphäre

‘ Die einfachste Erde ’



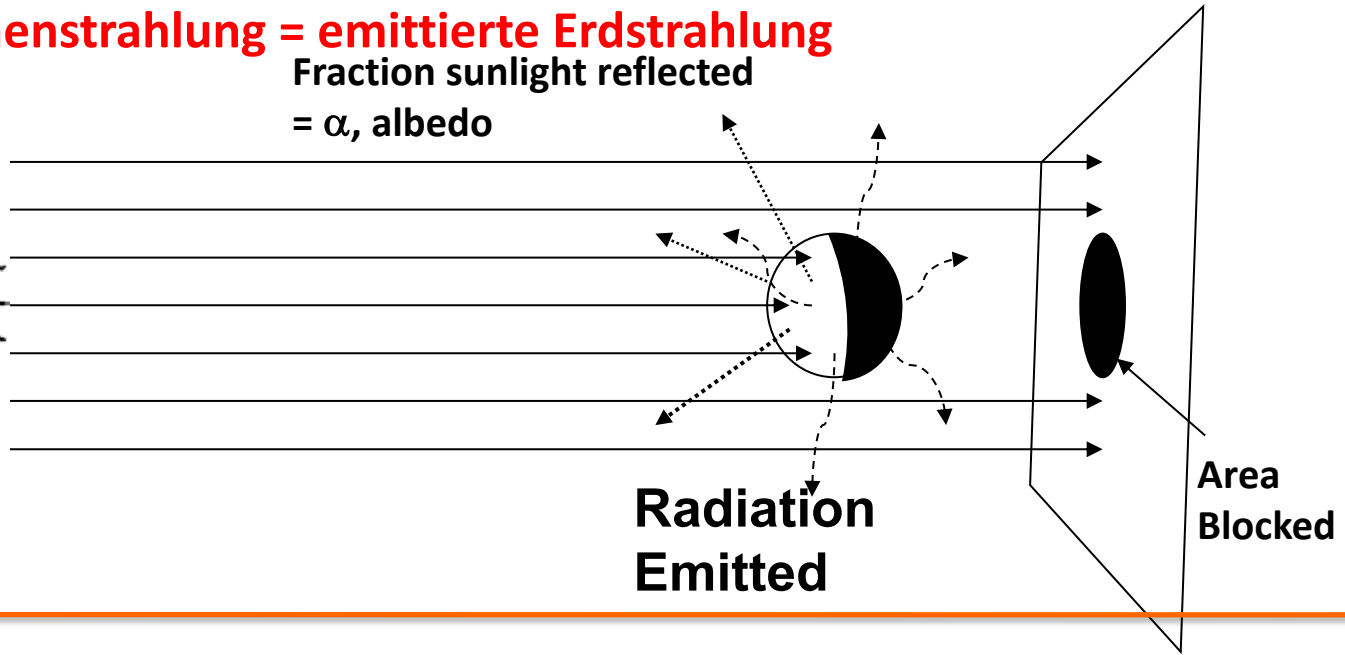
Strahlungsgleichgewicht bedeutet:

absorbierte Sonnenstrahlung = emittierte Erdstrahlung

Fraction sunlight reflected
= α , albedo



**Incident
sunlight**



Total solar irradiance
 $TSI = 1366 \pm 2 \text{ W/ m}^2$

$\epsilon \sigma T^4 \times \text{Surface area}_{Earth}$

πR_E^2

$\epsilon \sigma T^4 \times 4\pi R_E^2$

$R_E = \text{radius Earth}$

Anteil Reflektion (α) = 0.3

Emissivität (ϵ) = 1

$(TSI - TSI_{reflected}) \times \text{Area blocked} = \text{Radtion}_{emitted} \times \text{Surface area}_{Earth}$

$$TSI(1 - \alpha) \times \pi R_E^2 = \epsilon \sigma T^4 \times 4\pi R_E^2$$

$$\frac{TSI}{4} (1 - \alpha) = \sigma T^4$$

**Fall 0: Strahlungsgleichgewicht bedeutet:
absorbierte Sonnenstrahlung = emittierte Erdstrahlung**



Ohne Atmosphäre wäre die bodennahe Lufttemperatur

$$T_{\text{Erde}} = 255\text{K} = -18^{\circ}\text{C}$$



Photo: A. Kobalenko, Getty

Fall 1a : Die Erde mit Atmosphäre, aber ohne Konvektion

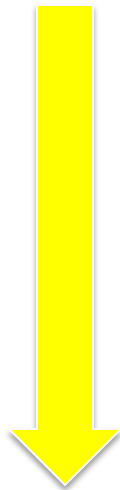
‘Eine einfache Atmosphäre’



Erinnern Sie sich? Die Erde ohne Atmosphäre

Input Solar = 2 units

Output Infrared = 2 units

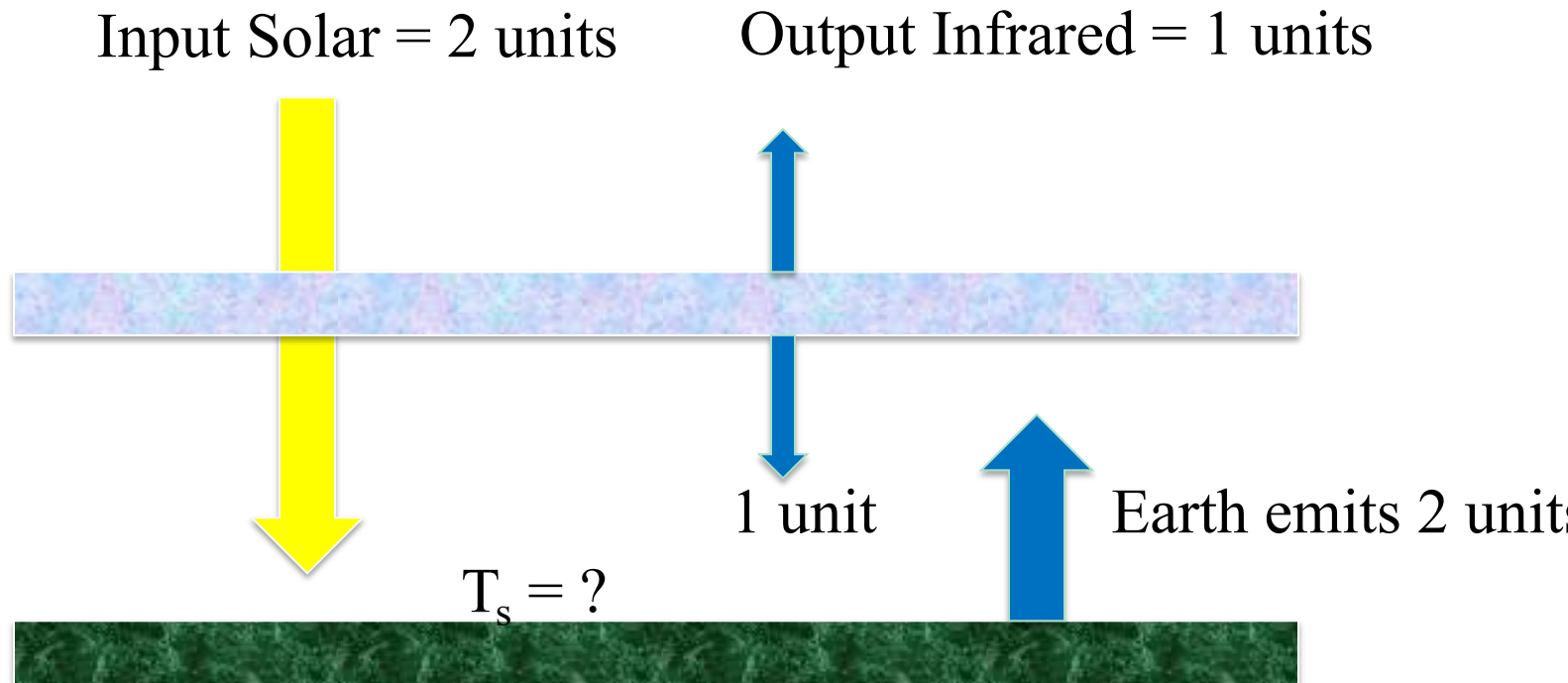


$$T_e = 255 \text{ K} = -18^\circ\text{C}$$



Earth receives 2 units

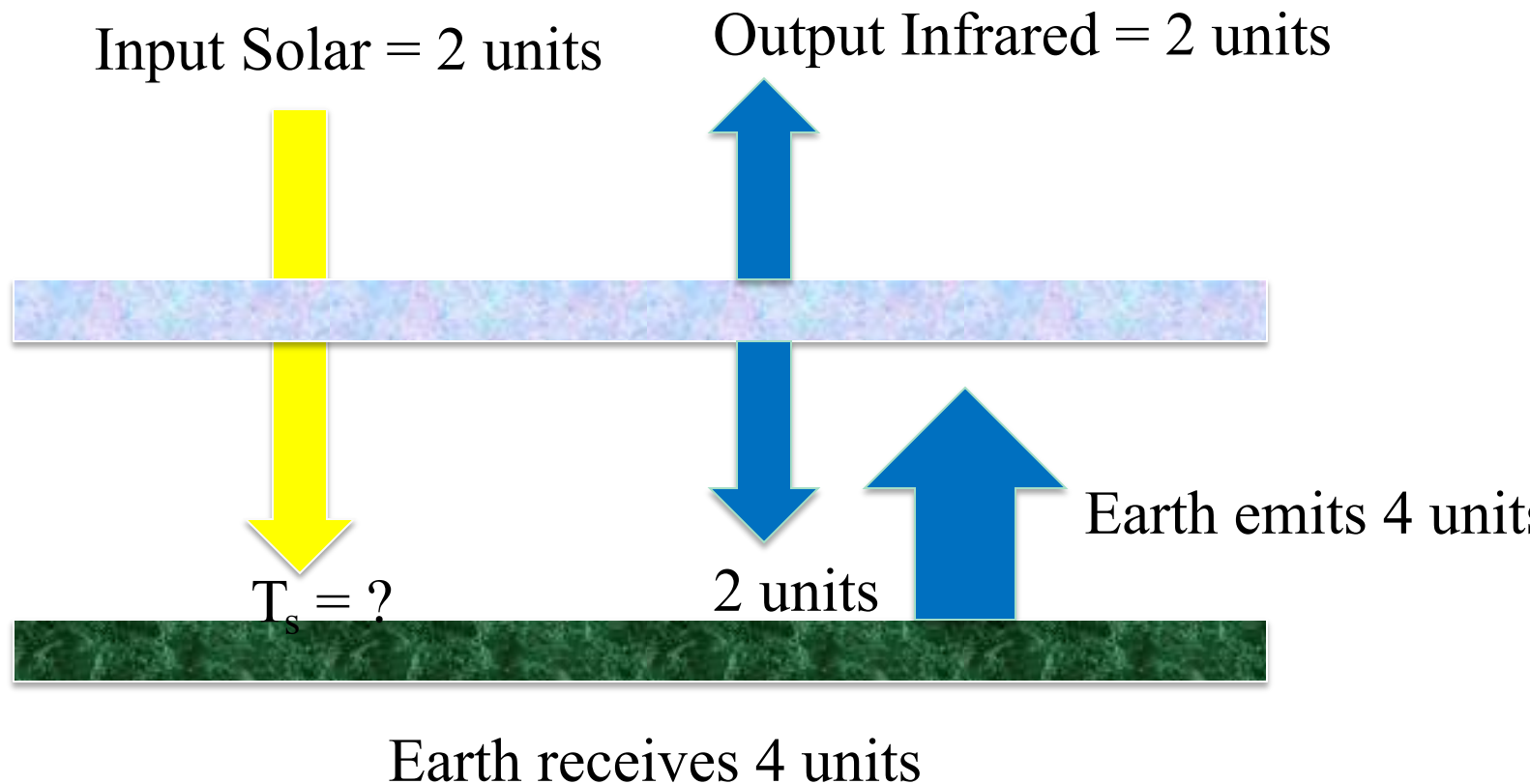
Fügen wir eine Atmosphäre mit Treibhausgasen hinzu



Earth surface receives more than 2 units

→ Die Temperatur der Luft und Oberfläche muss sich erhöhen, um das Energieungleichgewicht auszugleichen

Nach Erreichen des Gleichgewichts



Fall 1a: absorbierte Sonnenstrahlung + Wärmestrahlung der Atmosphäre = emittierte Erdstrahlung



Lösen der Gleichungen für die Oberflächentemperatur ergibt

$$T_{\text{Erde}} = 303\text{K} = 30^{\circ}\text{C}$$

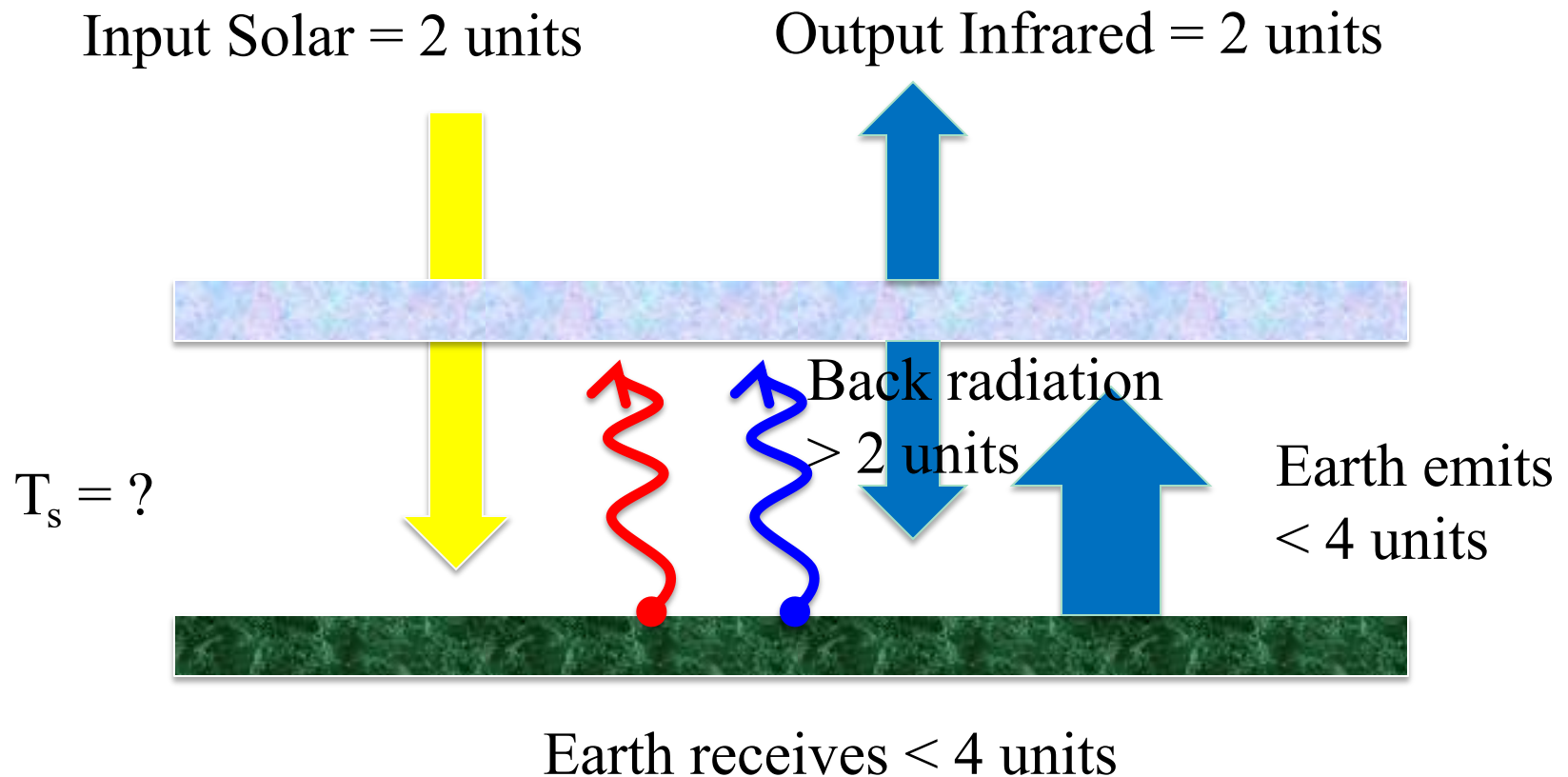


Fall 1b: Die Erde mit Atmosphäre und Konvektion

‘Der natürliche Treibhauseffekt’



Atmosphäre und kühlende Konvektion



Warme Luft **Verdunstung**
Fühlbarer Wärmestrom **Latenter Wärmestrom**

Fall 1b: absorbierte Sonnenstrahlung + Wärmestrahlung der Atmosphäre = emittierte Erdstrahlung + konvektive Kühlung



Strahlungsantrieb der Treibhausgase: $150 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$

Kühlung durch Konvektion: $97 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$

$$T_{\text{Erde}} = 288\text{K} = 15^\circ\text{C}$$



Mittlere Energieströme im Klimasystem Erde

Global Energy Flows W m^{-2}

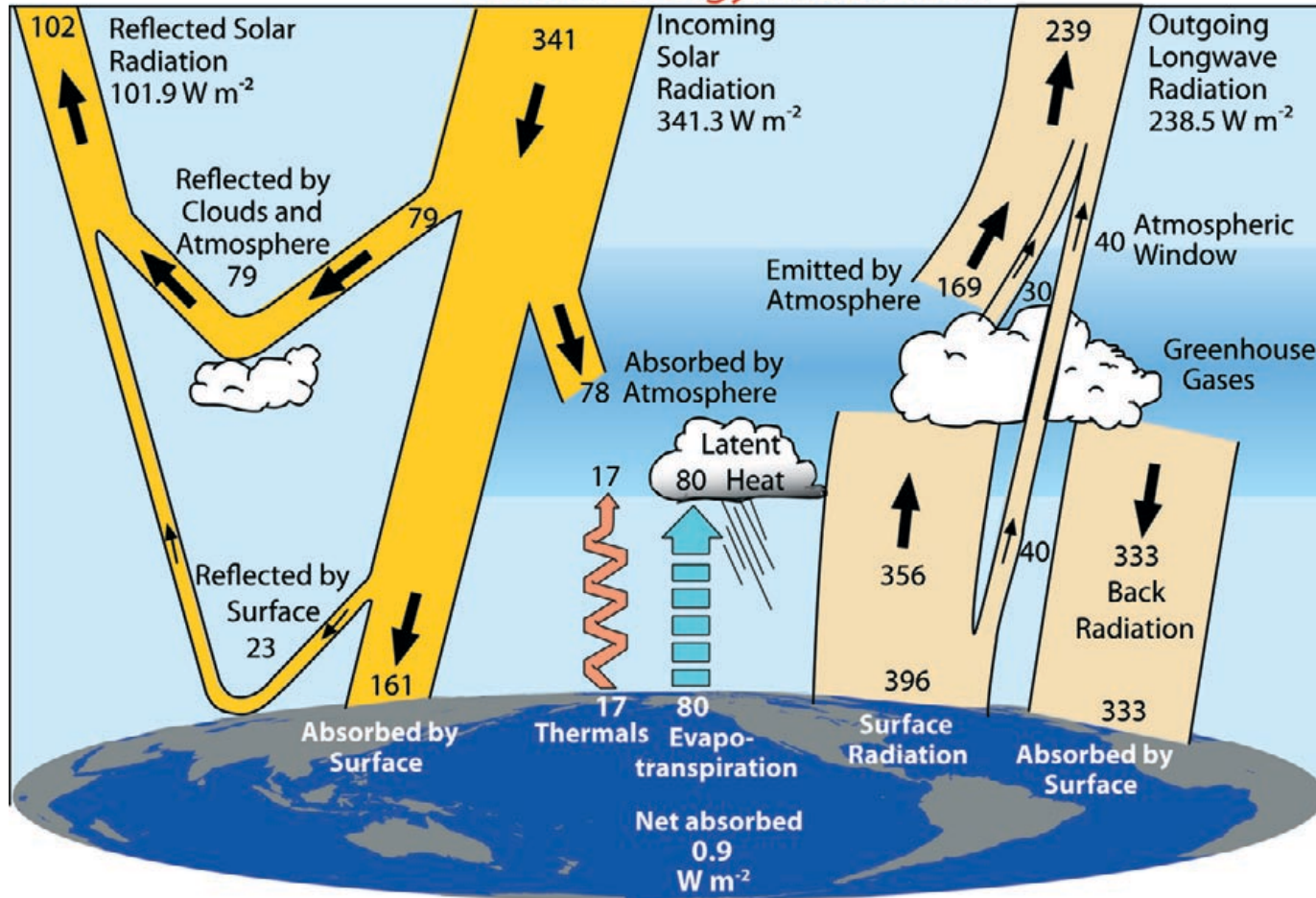


FIG. 1. The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period (W m^{-2}). The broad arrows indicate the schematic flow of energy in proportion to their importance.

Source: Trenberth et al (2009, BAMS)

Fall 2: Die Erde mit höherer Treibhausgaskonzentration

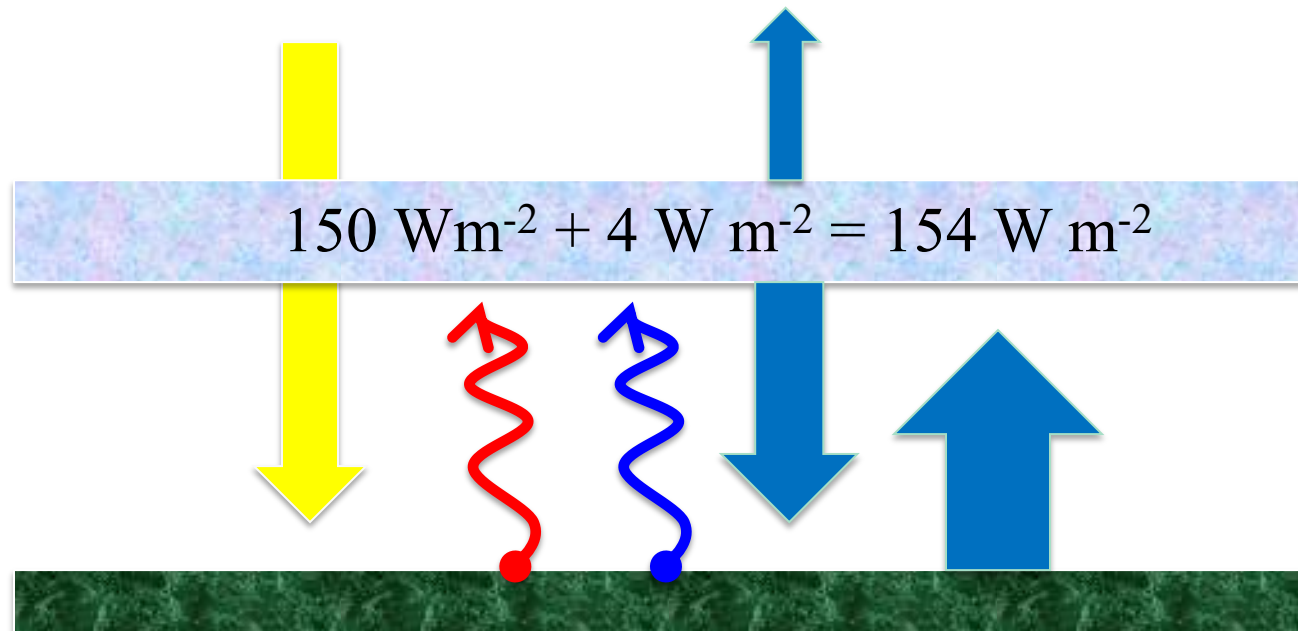
‘Der verstärkte Treibhauseffekt’



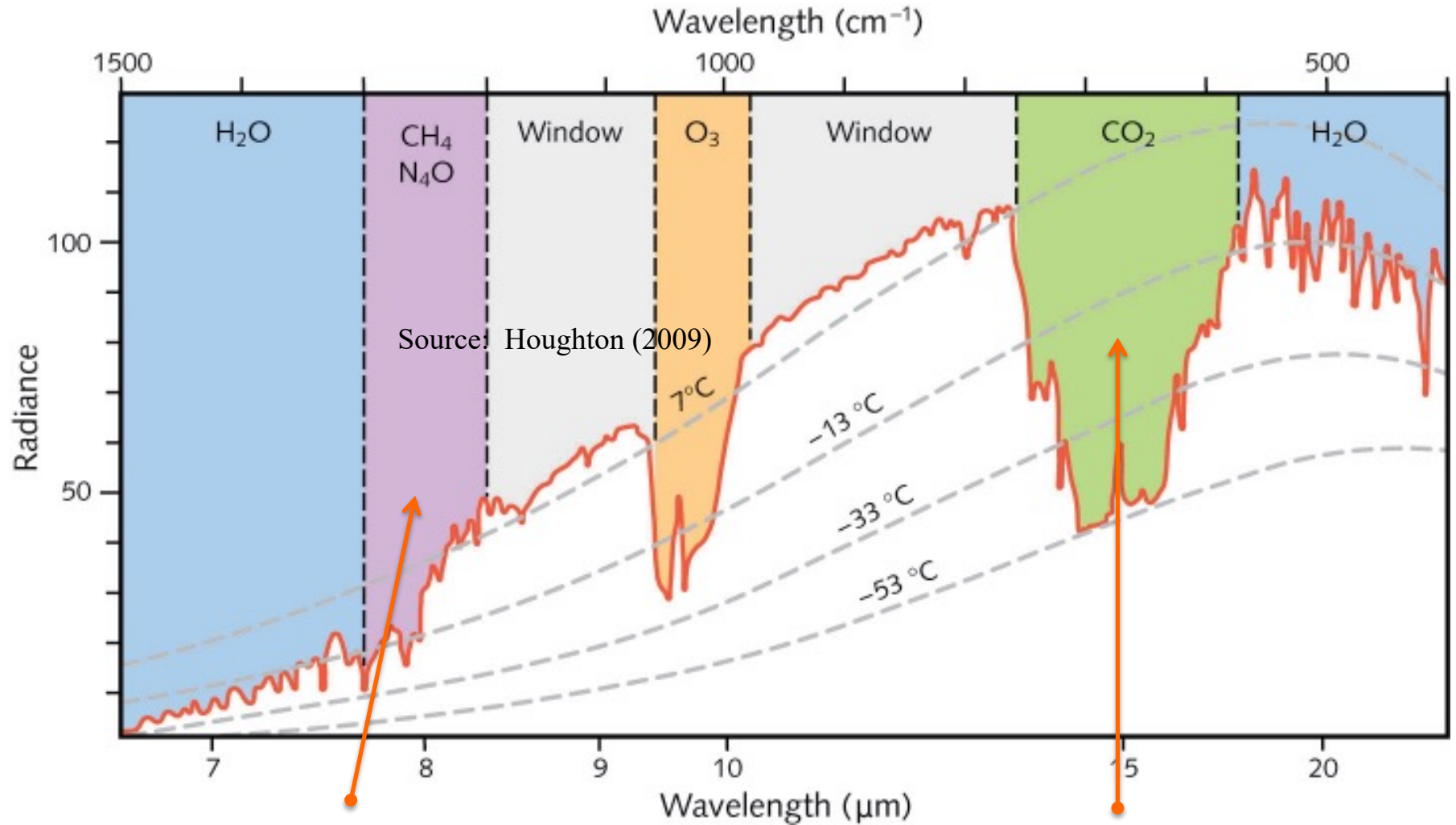
Eine Erhöhung der Treibhauskonzentration
erhöht die optische Dicke der Atmosphäre

Input Solar
 240 W m^{-2}

Output Infrared $240 \text{ W m}^{-2} - 4 \text{ W m}^{-2} =$
 236 W m^{-2}



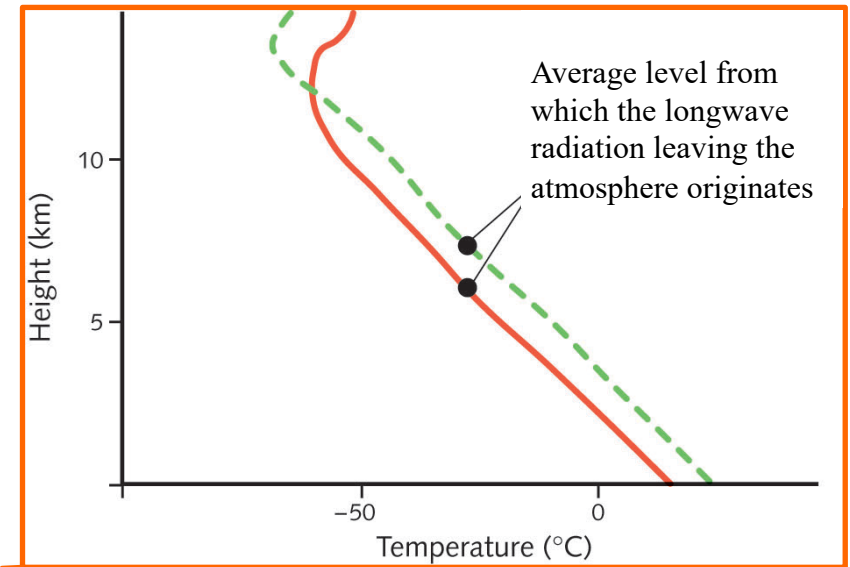
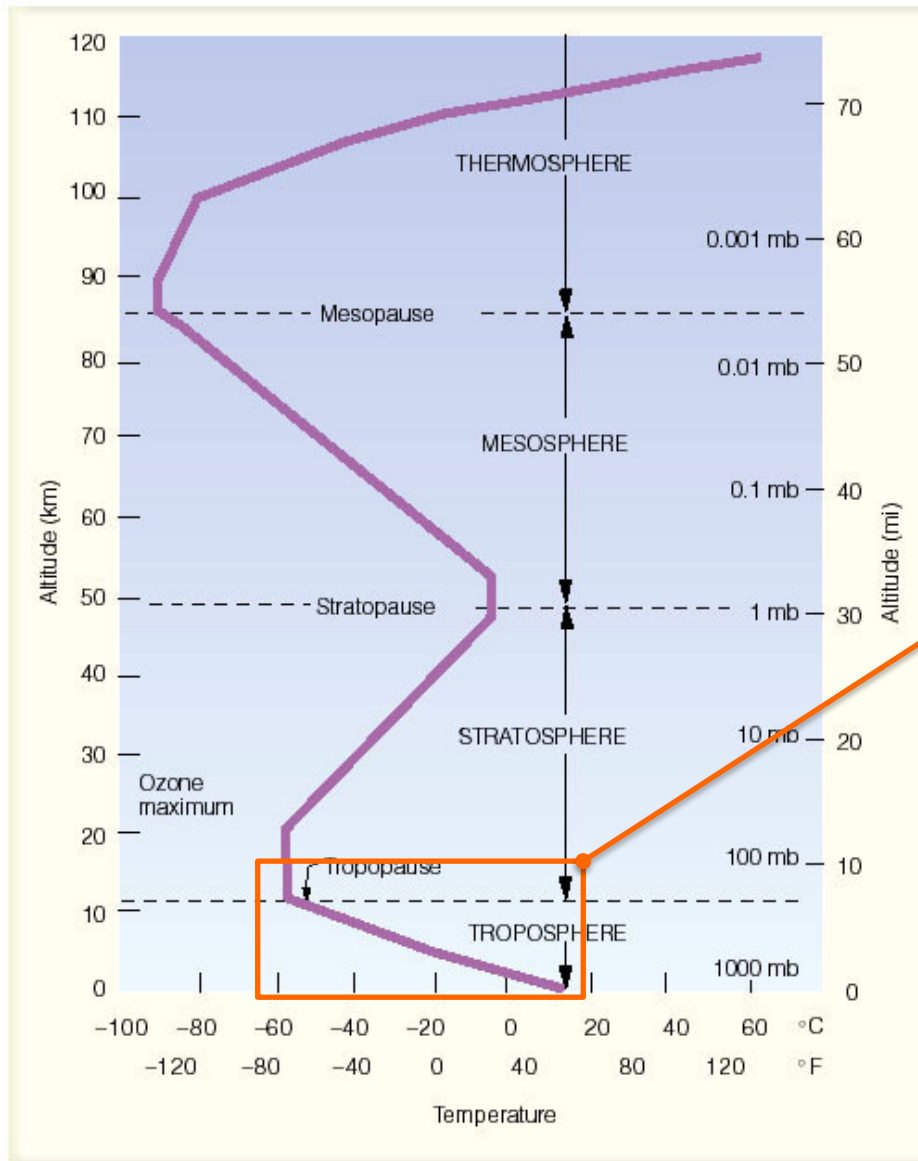
Absorptionsbanden typischer Treibhausgase



Methan und Lachgas

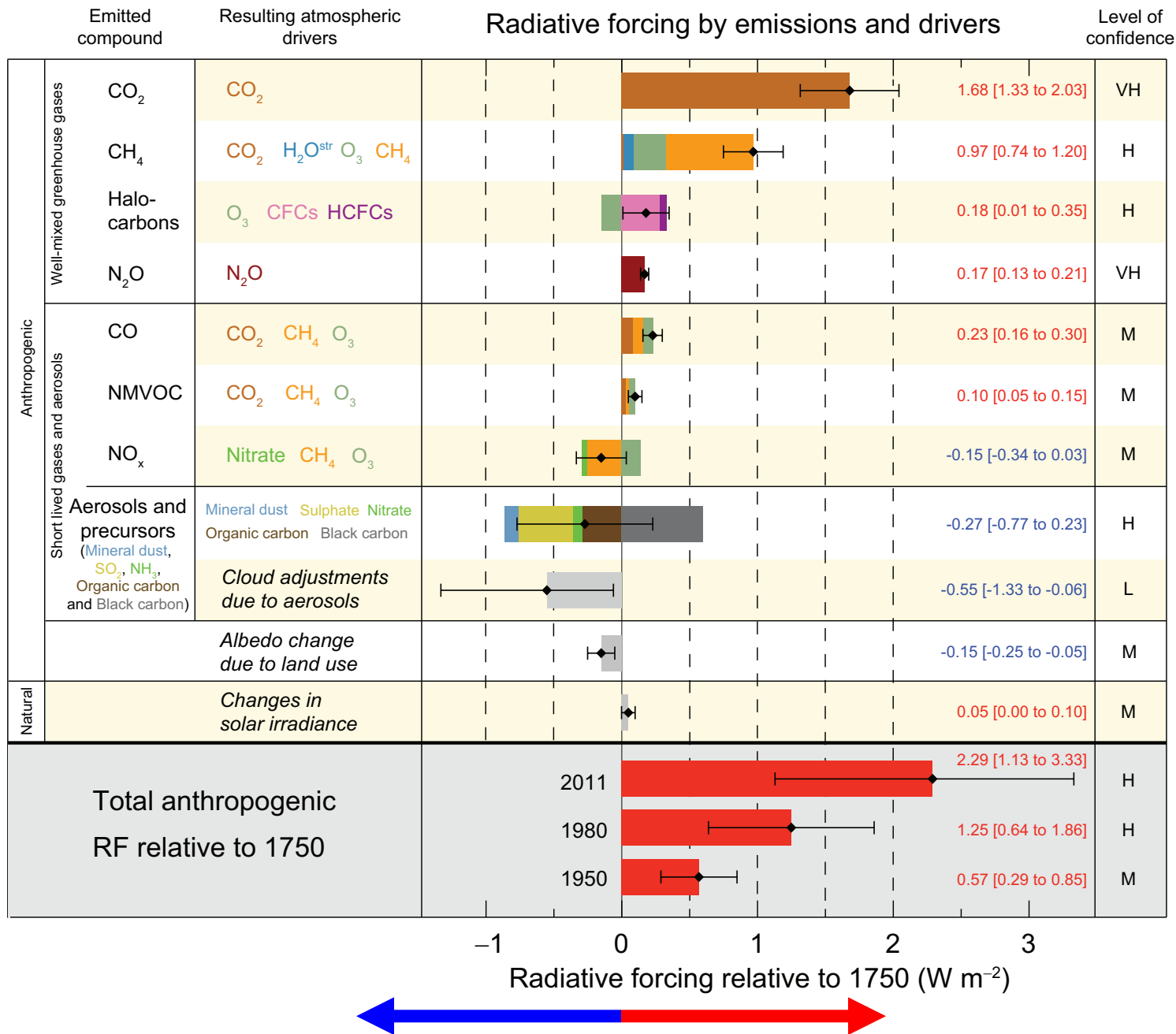
Kohlenstoffdioxid

Vertikalprofil der Atmosphäre



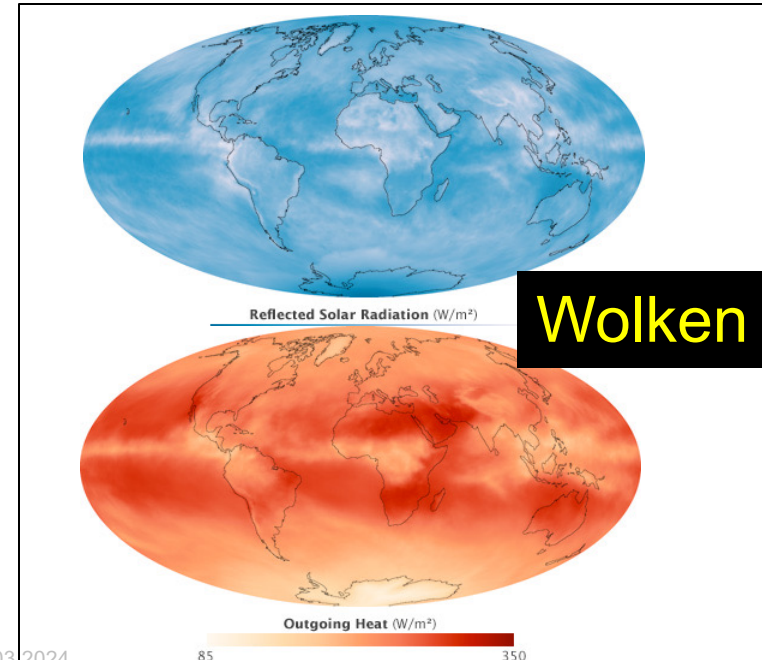
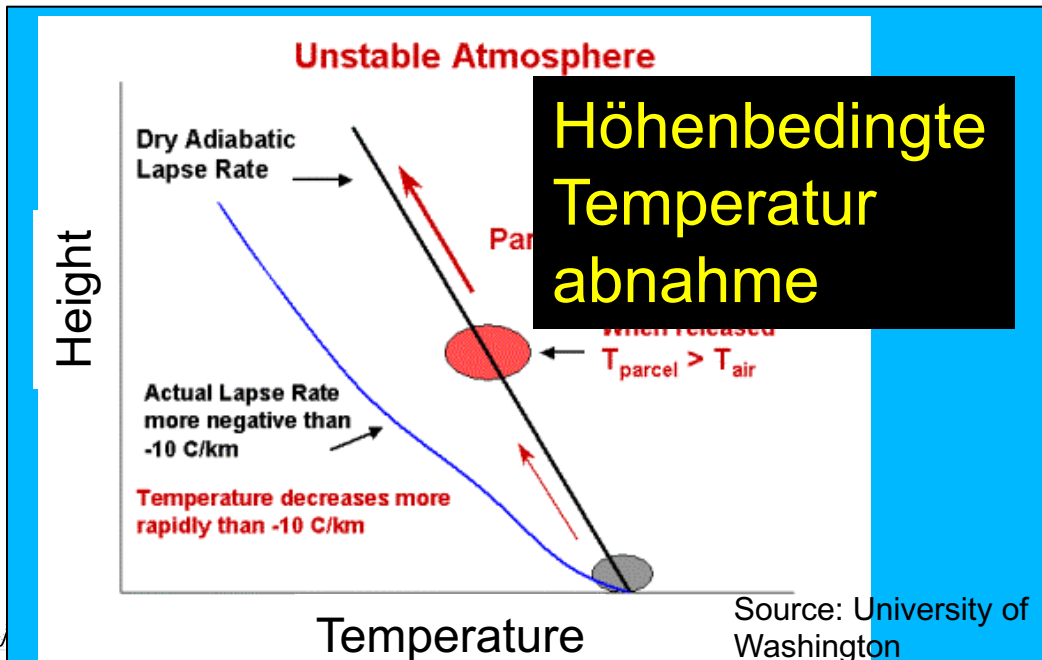
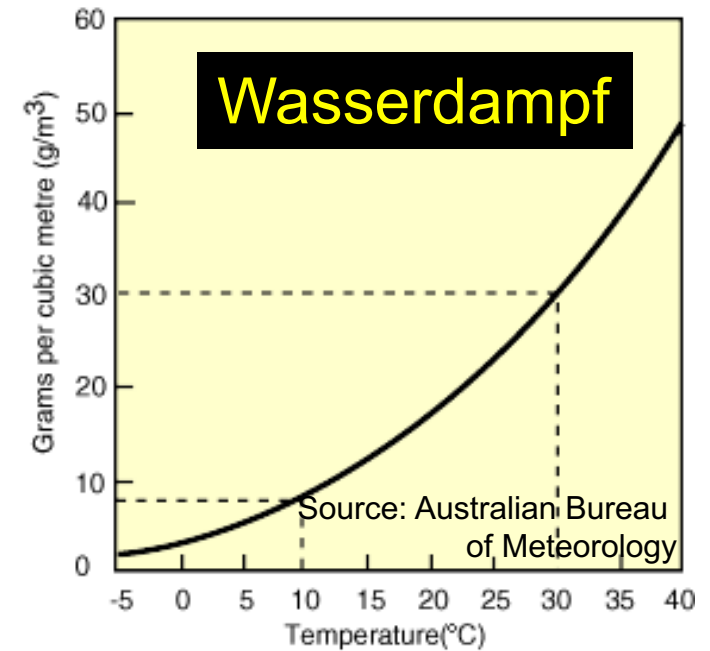
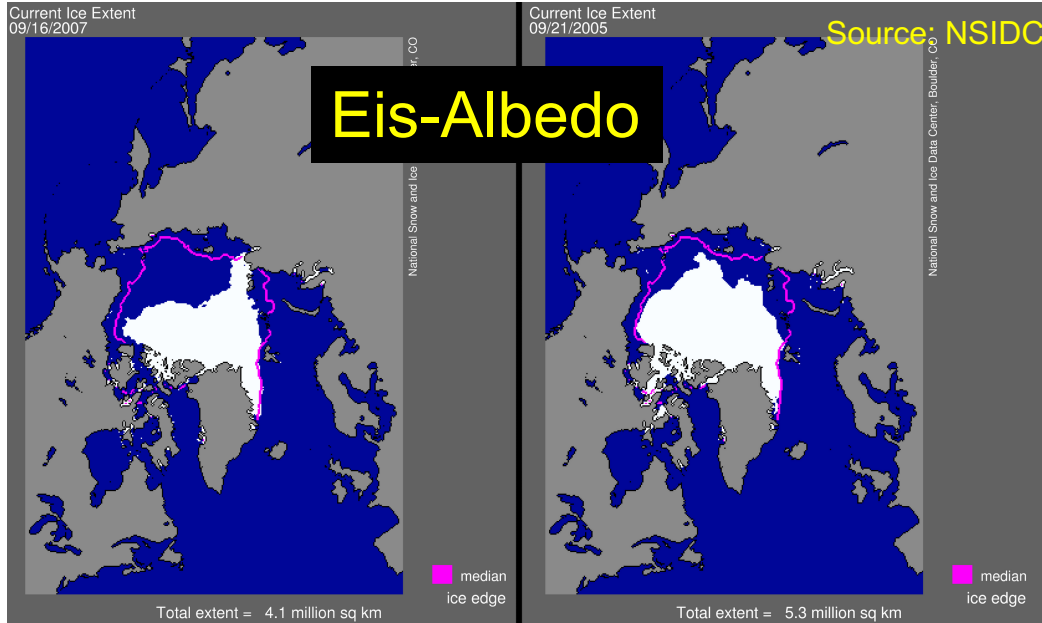
Rot= konvektive Atmosphäre
Grün= mehr Treibhausgase

Source: Houghton (Fig. 2.5)

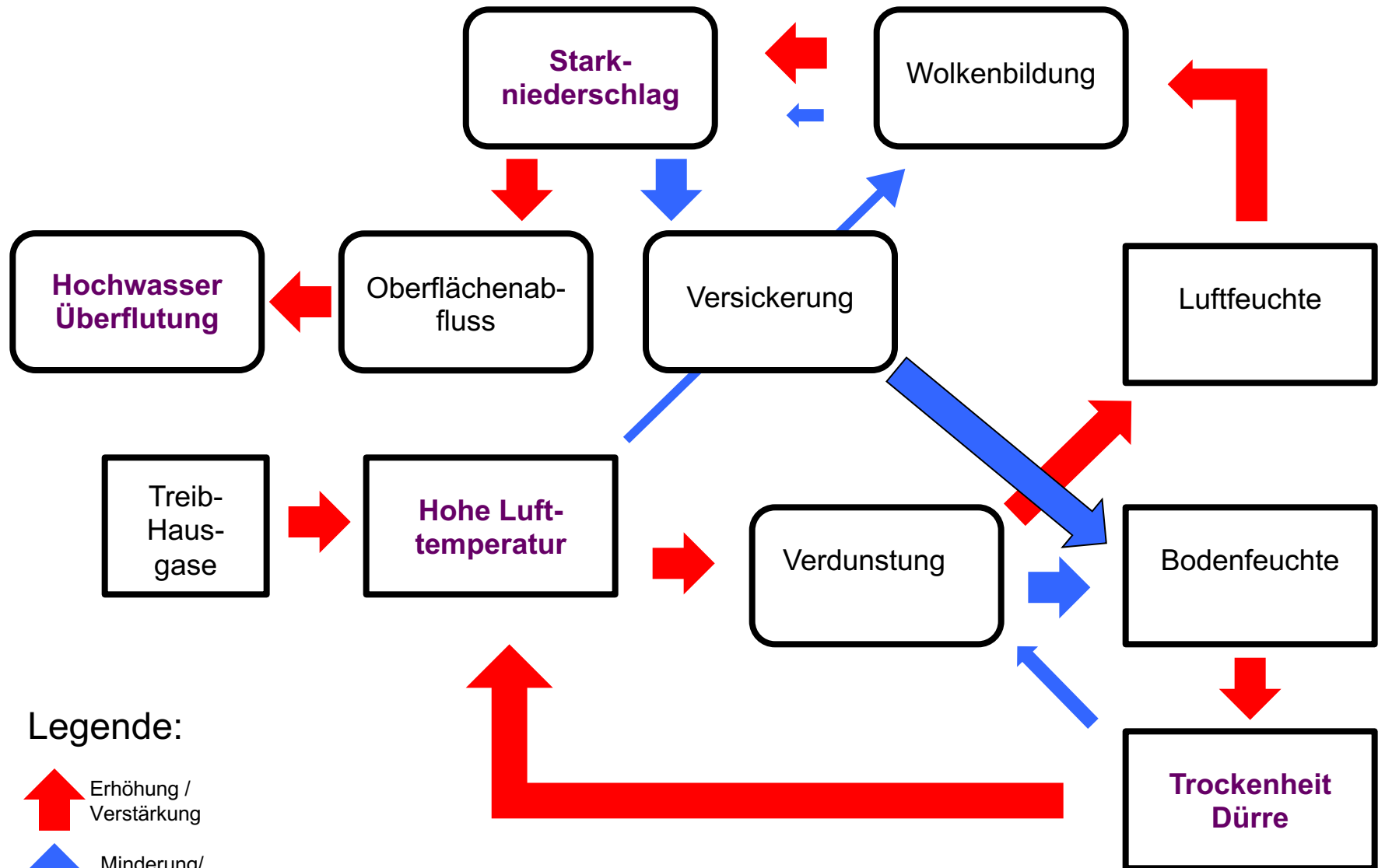


Source: IPCC, 5th (AR5) assessment report, Figure SPM.5
 Summary for Policy Makers
http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

Hauptrückkopplungen im Klimasystem Erde



Niederschlag & Temperatur – Prozessschema Klimawandel



Menschengemachte Verstärkung des Treibhauseffekts

- Der Treibhauseffekt ist eine **physikalische Notwendigkeit** als Resultat von Materialeigenschaften, Lichtaustausch und Konvektion
- Der natürliche Treibhauseffekt **hat Leben auf der Erde erst ermöglicht**
- Zunehmende **Treibhausgaskonzentrationen durch den Menschen** führen zu einer **Verstärkung des Treibhauseffekts** durch Zunahme der optischen Dicke
- Eine **Verdopplung** der Treibhausgaskonzentrationen würde eine Erwärmung von ca. **+1,2 Grad Celsius** nach sich ziehen
- Durch **Rückkopplungen** im Klimasystem Erde ist die Erwärmung aber wesentlich starker, ca. **+3 bis +4,5 Grad Celsius**
- Die einzig sinnvolle Maßnahme im **Klimaschutz ist das Beenden des Anstiegs der Treibhausgaskonzentrationen**, besser wäre sogar eine Reduktion



Dr. Wolfgang Babel



Johann
Schneider



Johannes
Olesch

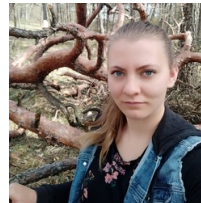
Leyla Sungur



Klimaforschung haben ...



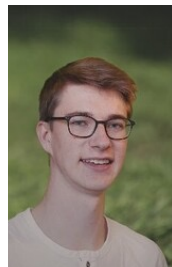
Dr. Johannes Lüers



Franziska
Schwab



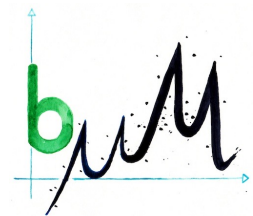
Eva
Späte



Oliver
Schappacher

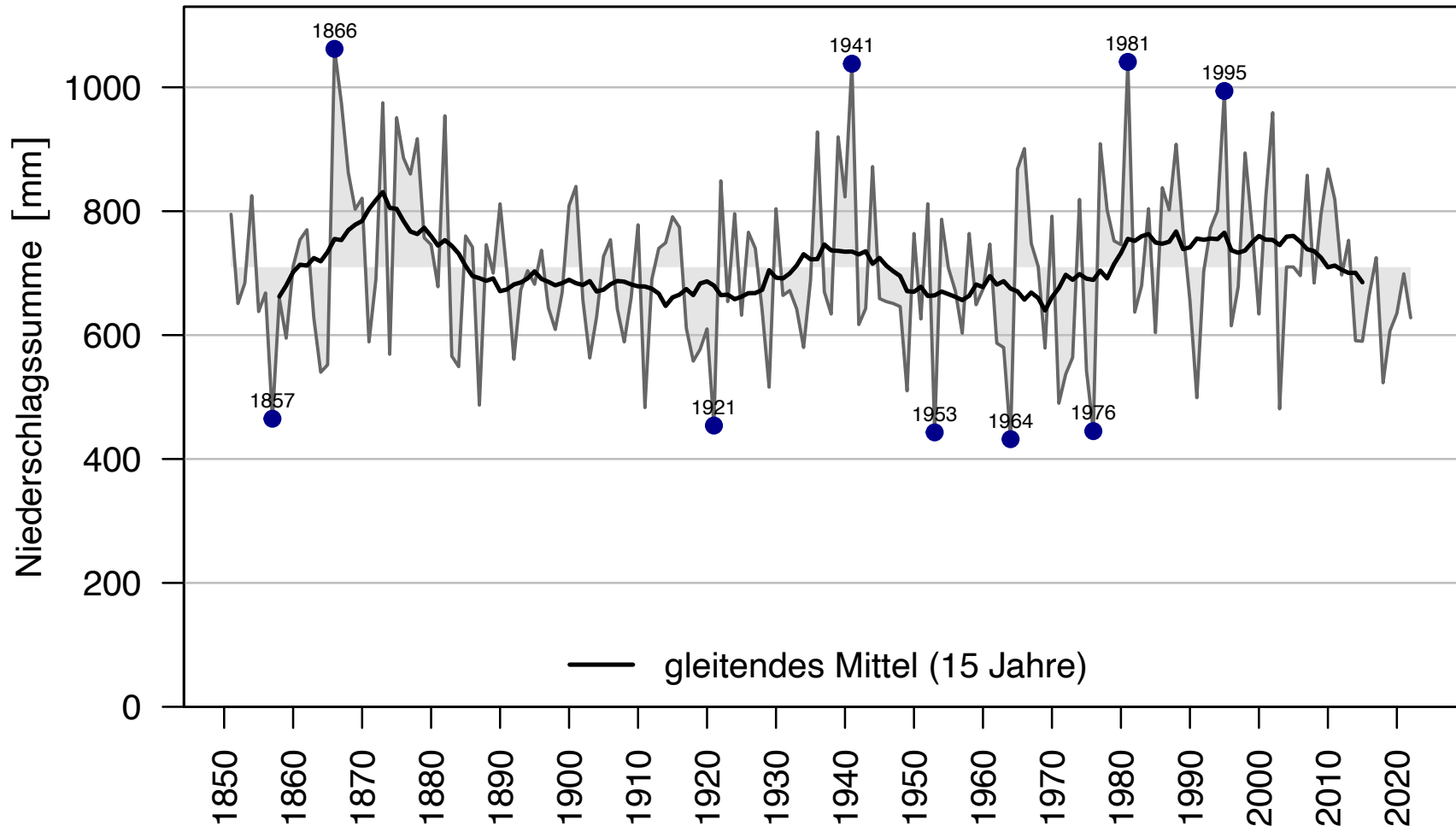


Prof. Dr.
Christoph
Thomas



Klimaentwicklung in Oberfranken - Niederschlag

Die Bayreuther Reihe: 1851 bis heute



Homogenisierte Zeitreihe der Niederschläge in mm, ÖBG Bayreuth, 1851 bis 2022.
Abweichung der jeweiligen Jahressumme vom langjährigen Mittel 1961 bis 1990 (710 mm).

Nach: [Lüers et al., 2014, Arbeitsergebnisse, Mikrometeorologie, Universität Bayreuth](#)

Niederschlag – Was bedeutet das für Oberfranken?

- **Verschiebung des Niederschlags** vom Winter& Frühjahr (nun Verlust) in den Sommer und Herbst (nun Zugewinn)
- **Wassermangel im Frühjahr** verschärft sich zunehmend
- **Starkregenereignisse nehmen** sowohl in der Häufigkeit als auch Intensität **zu**
- Besorgniserregend ist die **Zunahme der Stärkstregenereignisse** im:
 - Jan/Feb: Regen auf eventuell gefrorenen Boden unterbindet die Infiltration und verstärkt den Oberflächenabfluss, **Hochwasser**
 - Sommer: Starkregen verstärkt den Oberflächenabfluss, **keine Milderung der Frühjahrsdürre + Überschwemmungen bei Überlastung der Abflusssysteme >> Infiltration/Wasserrückhalt muss gefördert werden!**
 - Sep/Okt: zunehmender Starkniederschlag und kann bei abgeernteten Feldern **Erosionsschäden und Verlust der Ackerkrume** bewirken
- keine Tendenz zur Zunahme der Trockenheitsandauer, eher schwach abnehmend