



Kraftwerk Erde

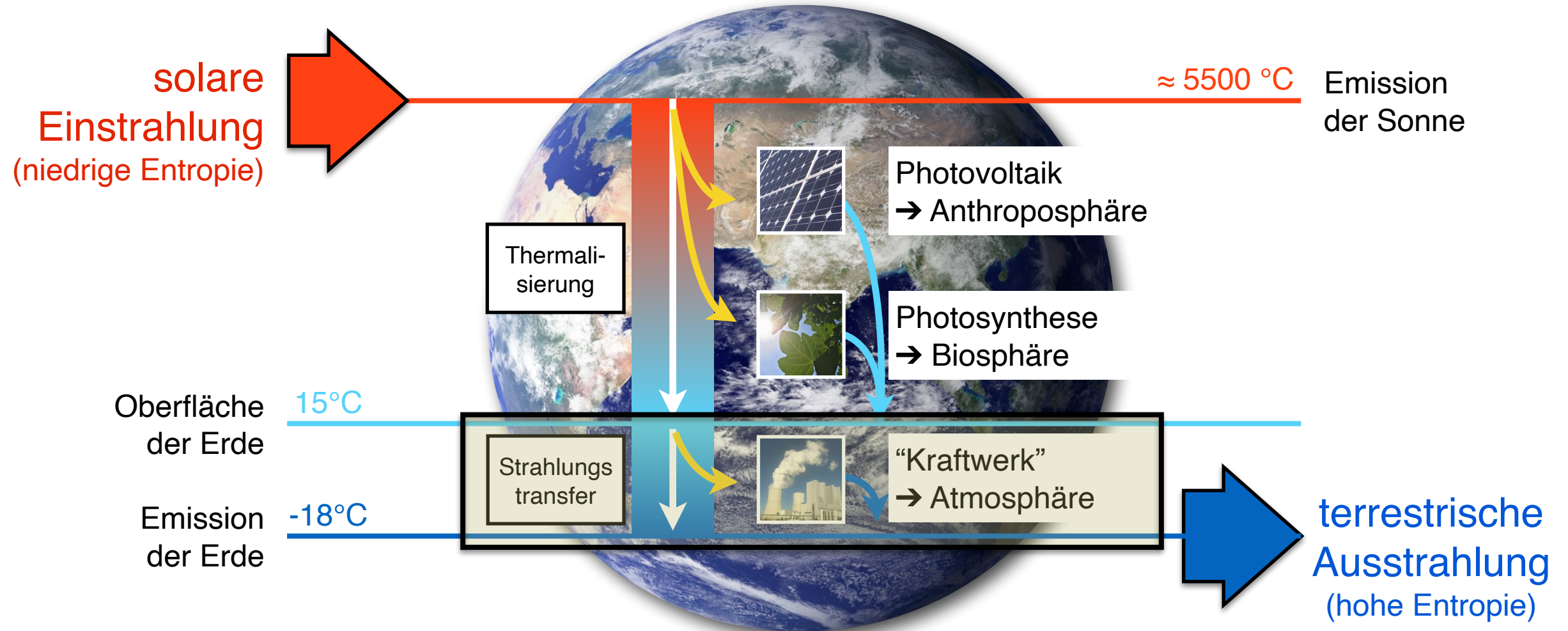
Wie Thermodynamik Temperaturen prägt

Axel Kleidon

Max-Planck-Institut für Biogeochemie

<http://gaia.mpg.de> - akleidon@bgc-jena.mpg.de

Kraftwerk Erde





Kühlung durch Emission

-18°C



$$G = J \cdot \frac{T_s - T_r}{T_s}$$

15°C

Erwärmung durch Absorption

planetare
Energiebilanz

Gesamt-
absorption

Ausstrahlung
ins Weltall

$$R_{s,tot} = R_{l,toa} = \sigma T_r^4$$

-18°C

$$G = J \cdot \frac{T_s - T_r}{T_s}$$



Oberflächen-
energiebilanz

15°C

$$R_s + R_{l,d} = \sigma T_s^4 + H + LE$$

Absorption
Solarstrahlung

Atmosphärische
Gegenstrahlung

Ausstrahlung der
Erdoberfläche

Wärmetransport
durch Auftrieb
und Verdunstung

planetare
Energiebilanz

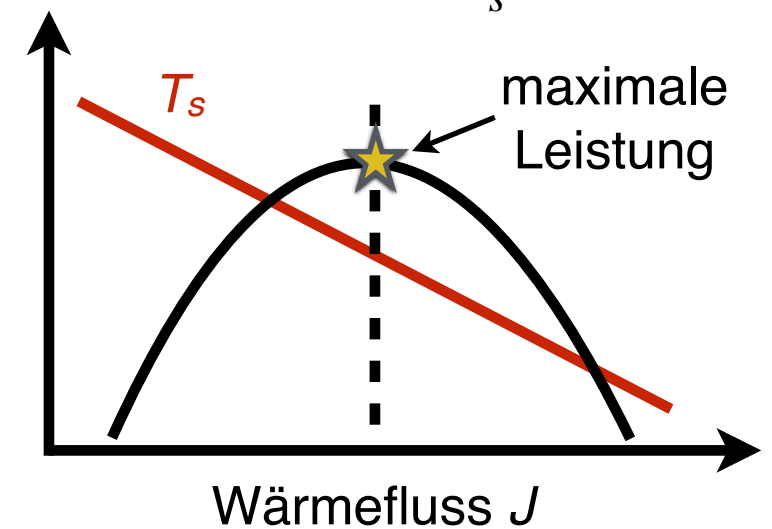
Gesamt-
absorption

Ausstrahlung
ins Weltall

$$R_{s,tot} = R_{l,toa} = \sigma T_r^4$$

-18°C

$$G = J \cdot \frac{T_s - T_r}{T_s}$$



Oberflächen-
energiebilanz

15°C

$$R_s + R_{l,d} = \sigma T_s^4 + H + LE$$

Absorption
Solarstrahlung

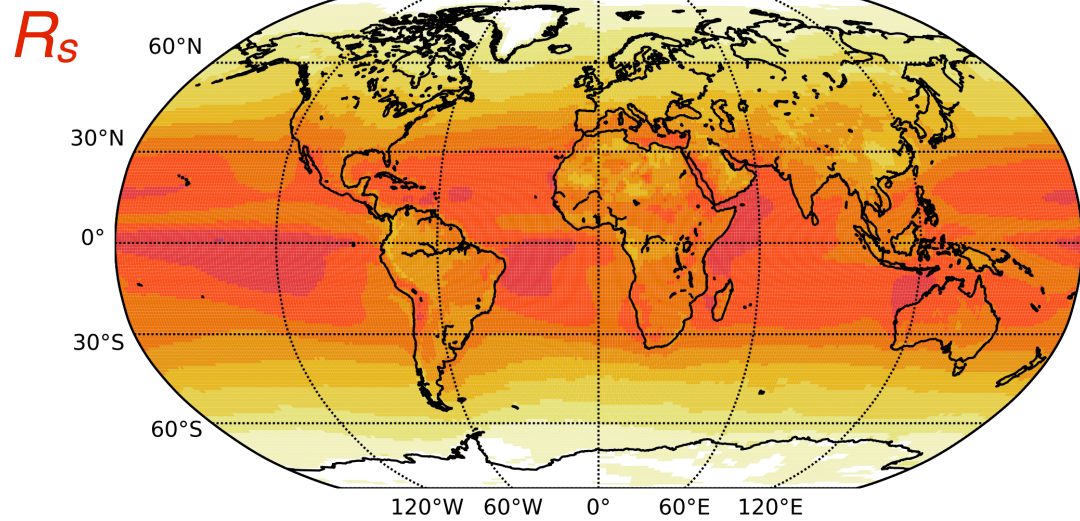
Atmosphärische
Gegenstrahlung

Ausstrahlung der
Erdoberfläche

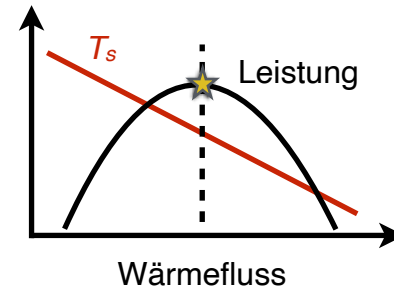
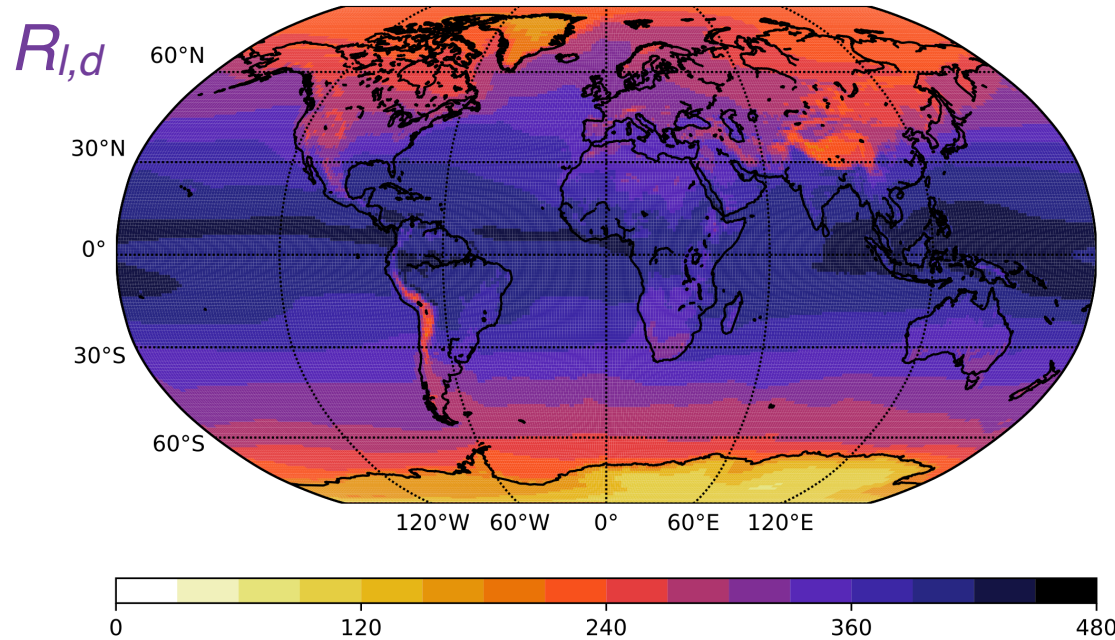
Wärmetransport
durch Auftrieb
und Verdunstung

Erwärmung der Oberfläche durch Strahlung

Solar (W m^{-2})



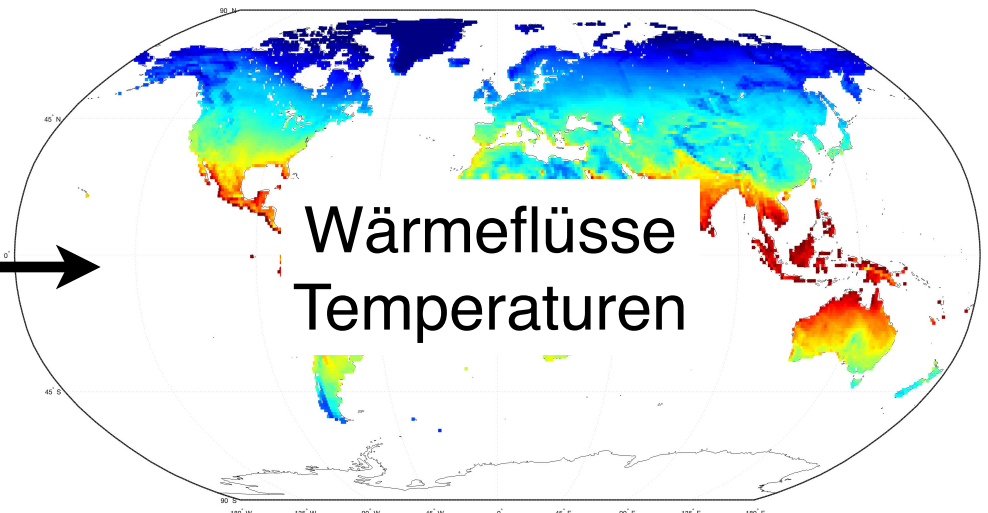
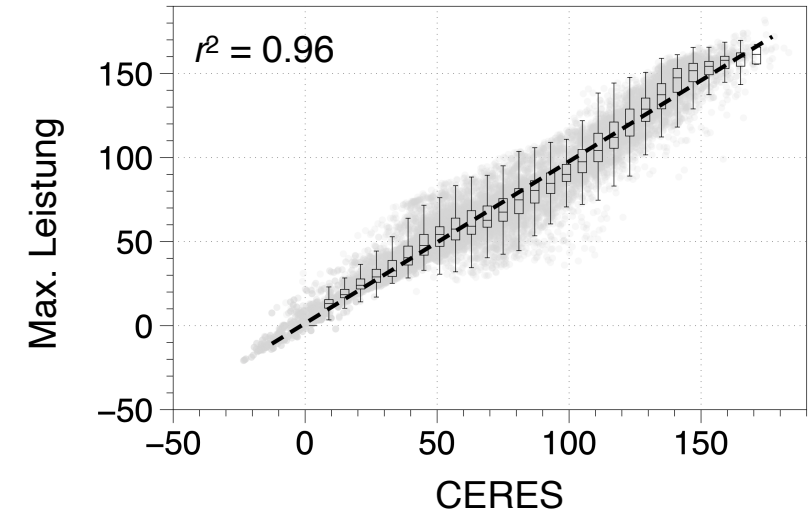
atmosphärische Gegenstrahlung (W m^{-2})



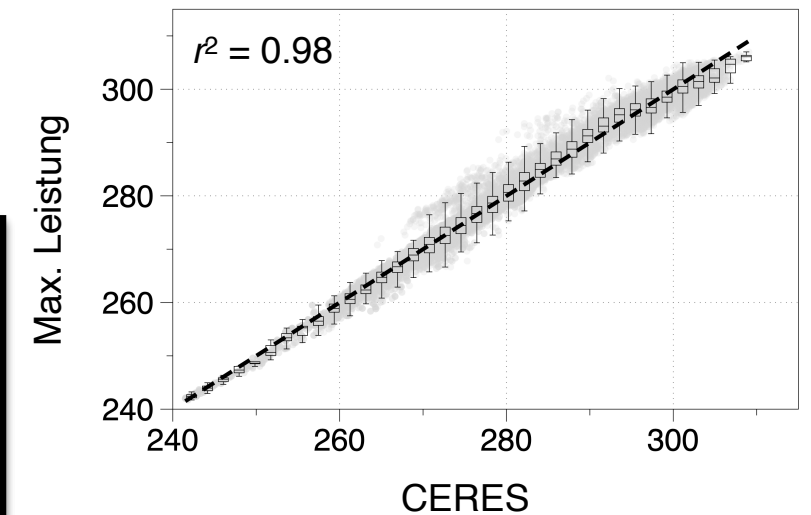
maximale Leistung

Atmosphäre arbeitet so hart wie sie kann!

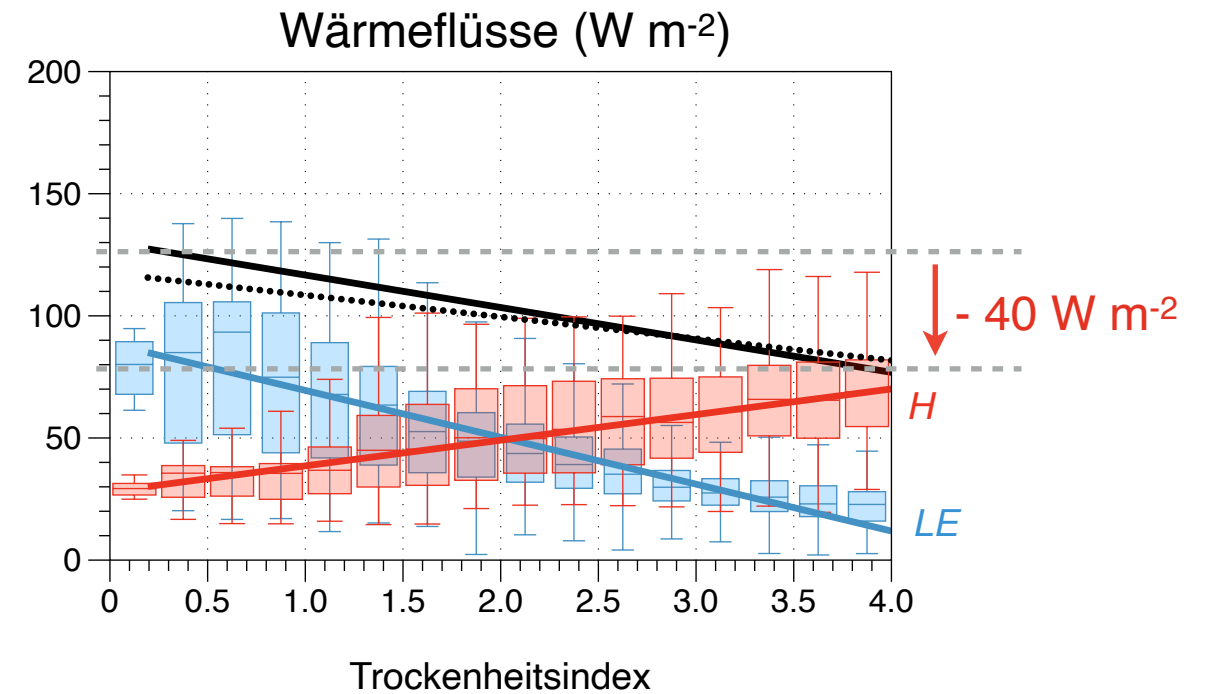
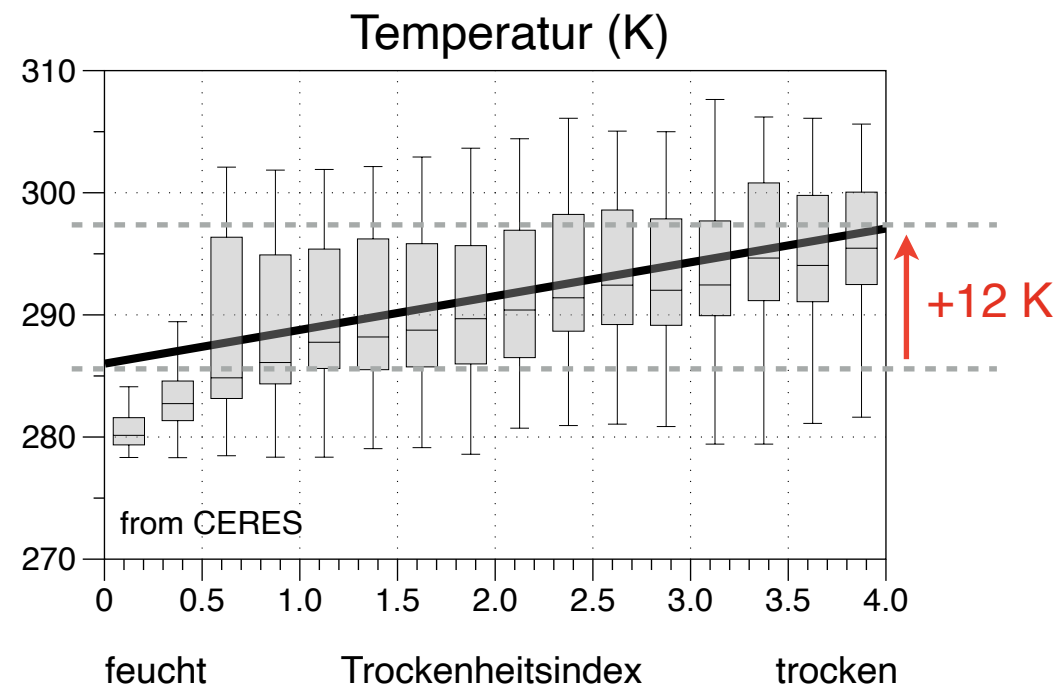
Wärmeflüsse (W m^{-2})



Temperatur (K)



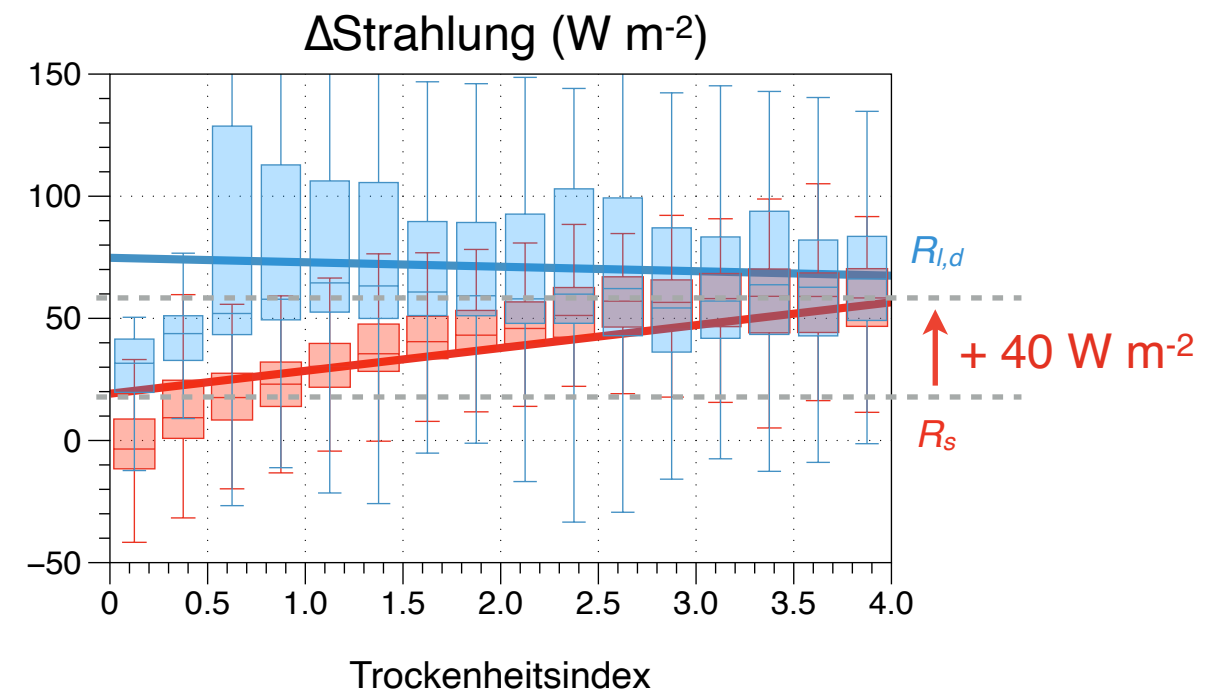
Warum sind Wüsten wärmer?



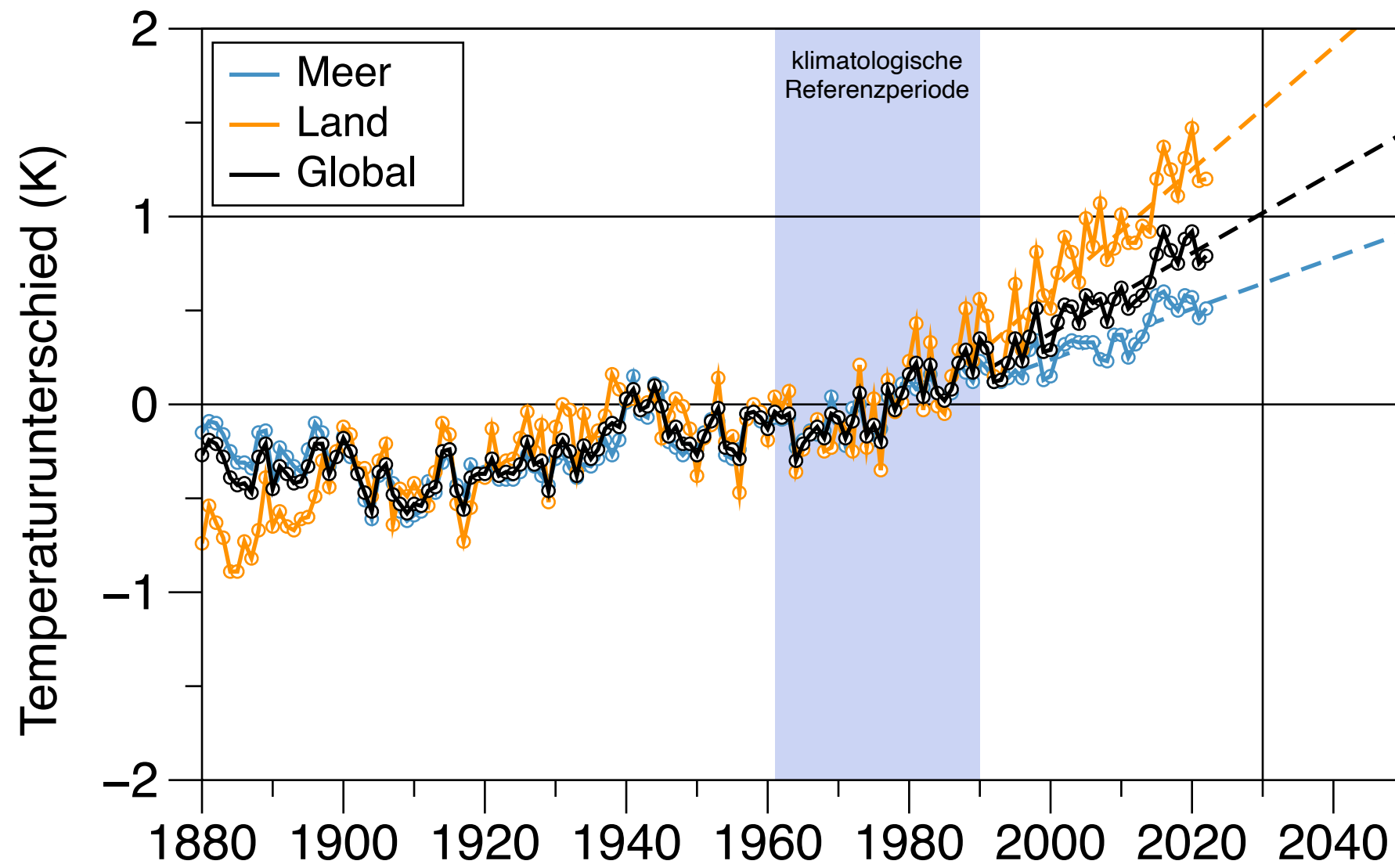
$$\Delta T_s = \frac{\Delta R_s + \Delta R_{l,d} - \Delta LE - \Delta H}{4\sigma T_{s,0}^3}$$

$$\Delta T_s \approx +14 \text{ K}$$

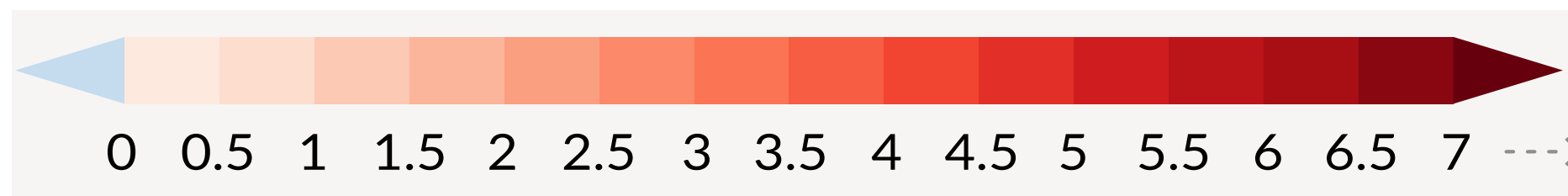
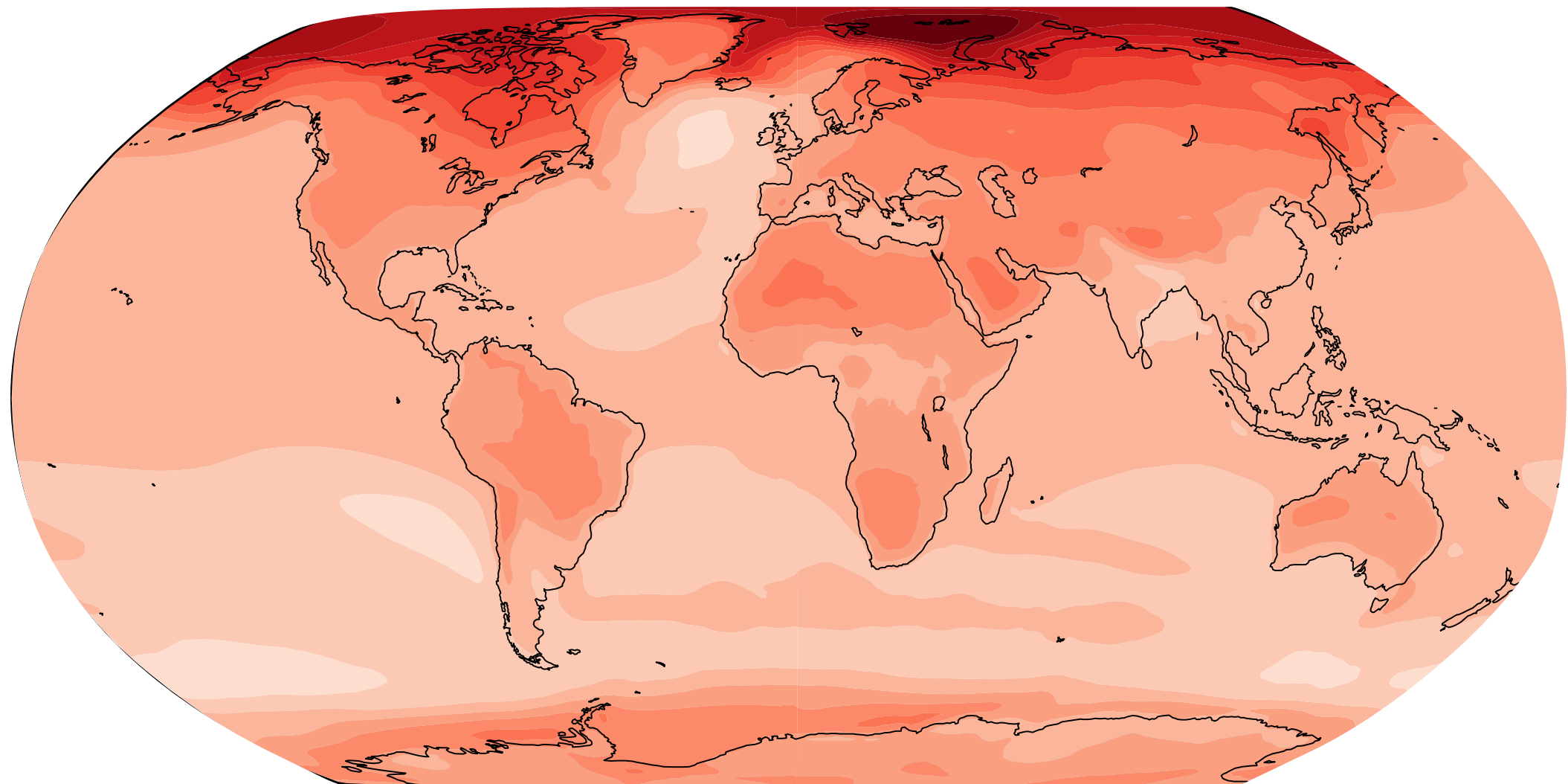
Wüsten sind wärmer weil
(a) mehr Sonne und
(b) schwächeres Kraftwerk!



Der globale Klimawandel



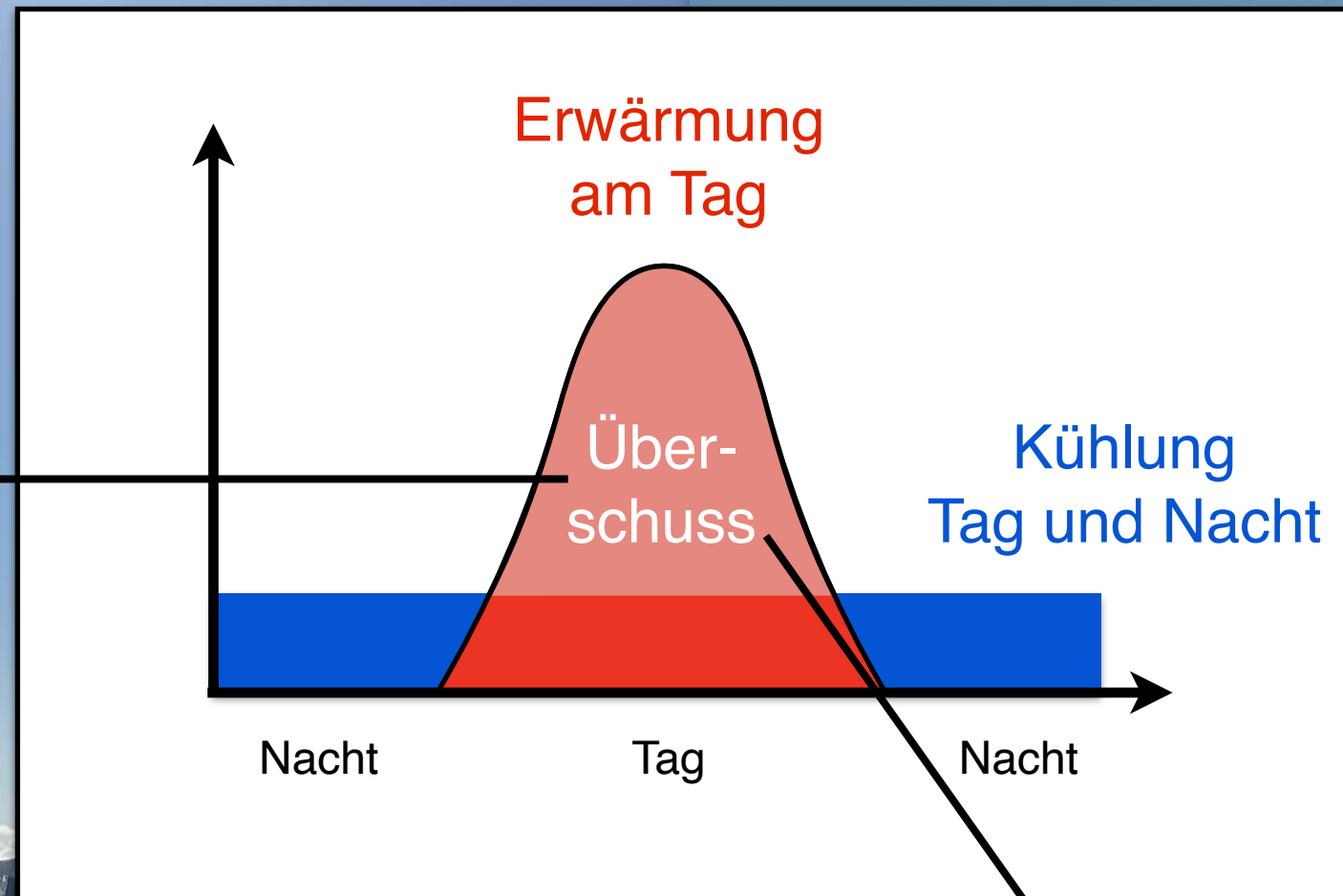
globale Erwärmung bei 2°C (Klimamodelle)



Temperaturdifferenz (K)

Warum erwärmt sich Land stärker als das Meer?

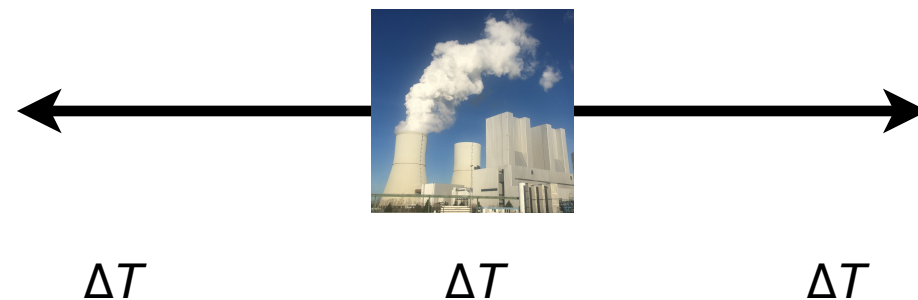
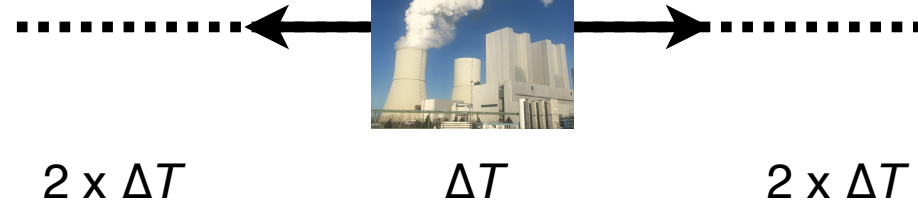
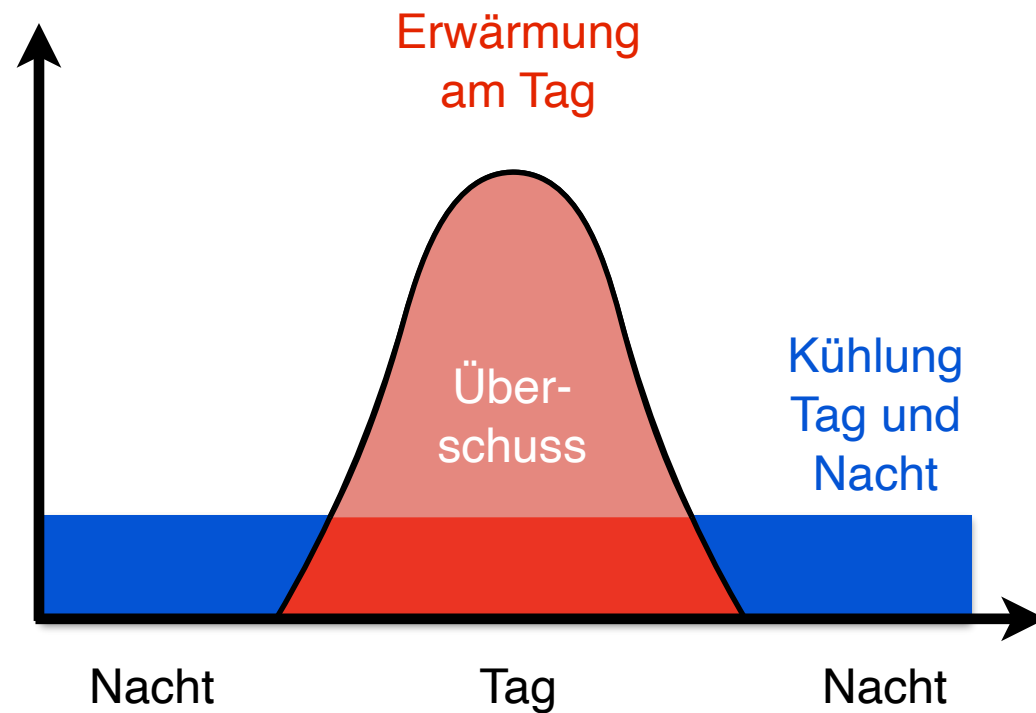
Änderungen der
Wärmespeicherung
über der Oberfläche



Änderungen der
Wärmespeicherung
unter der Oberfläche

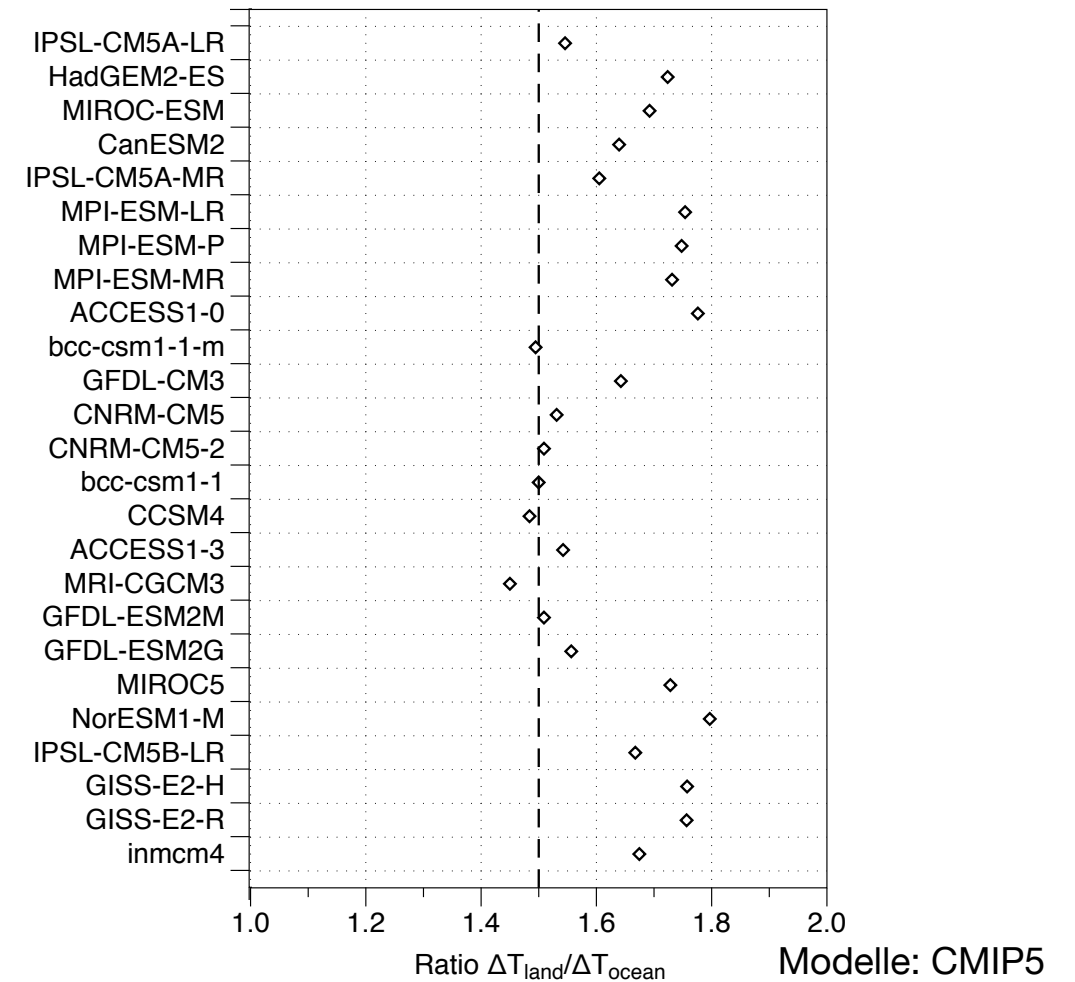
Land

Meer



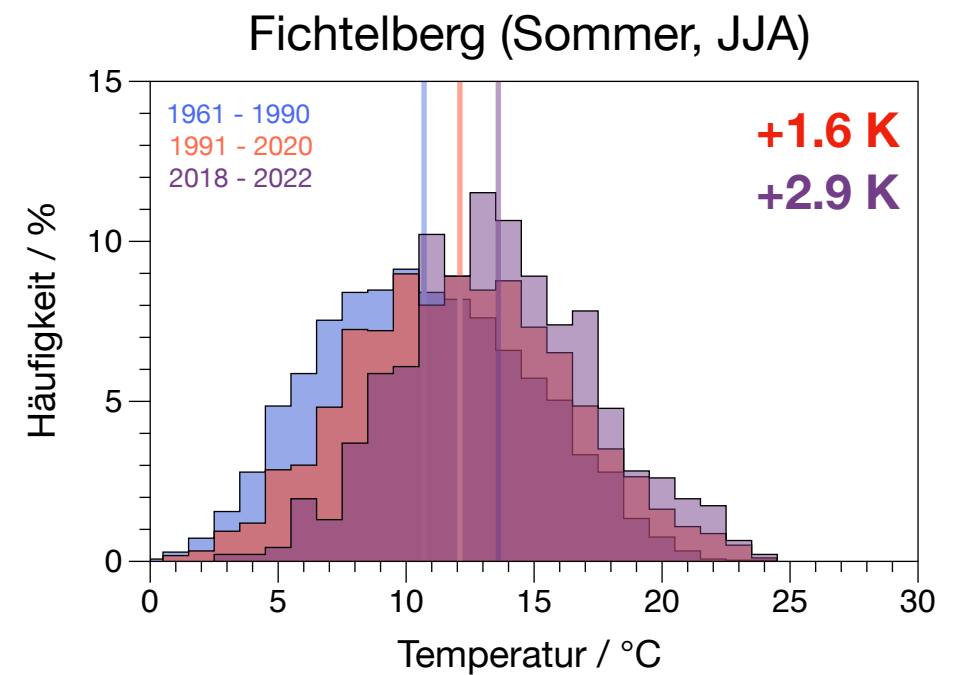
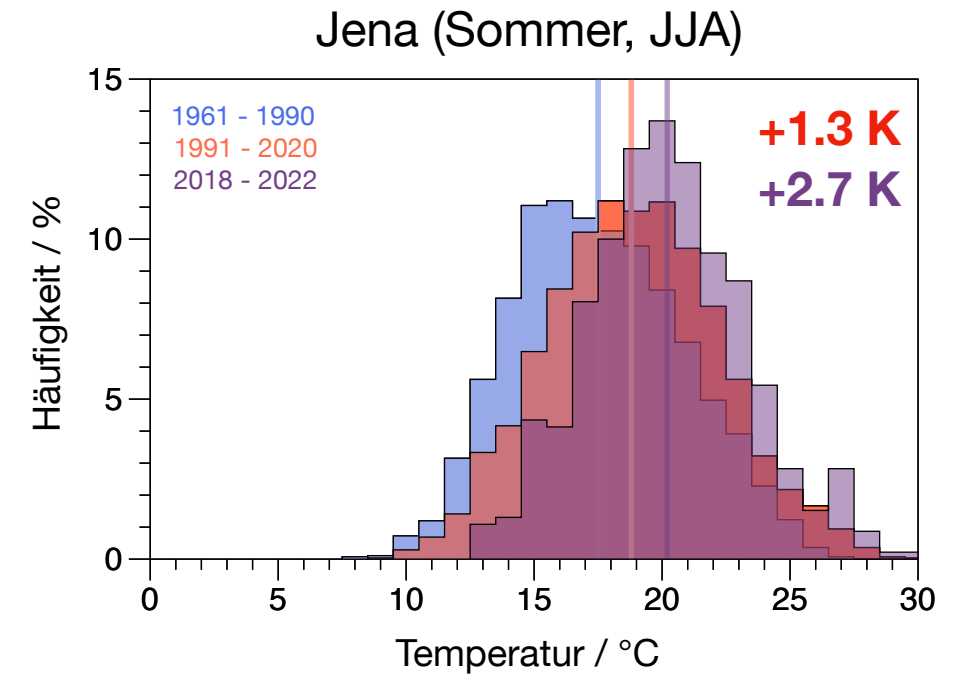
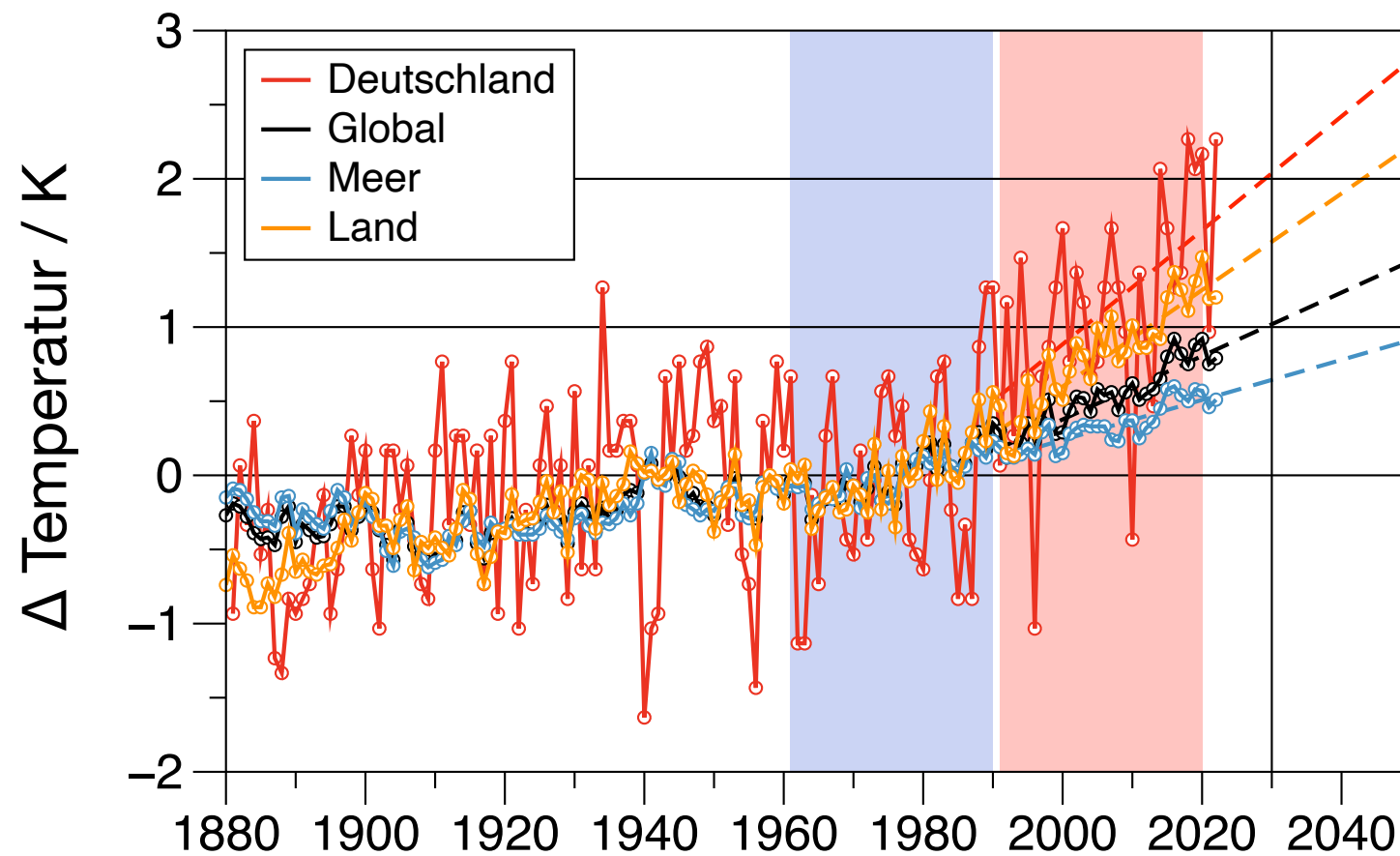
$$\overline{\Delta T_{Land}} \approx 1.5 \cdot \overline{\Delta T_{Meer}}$$

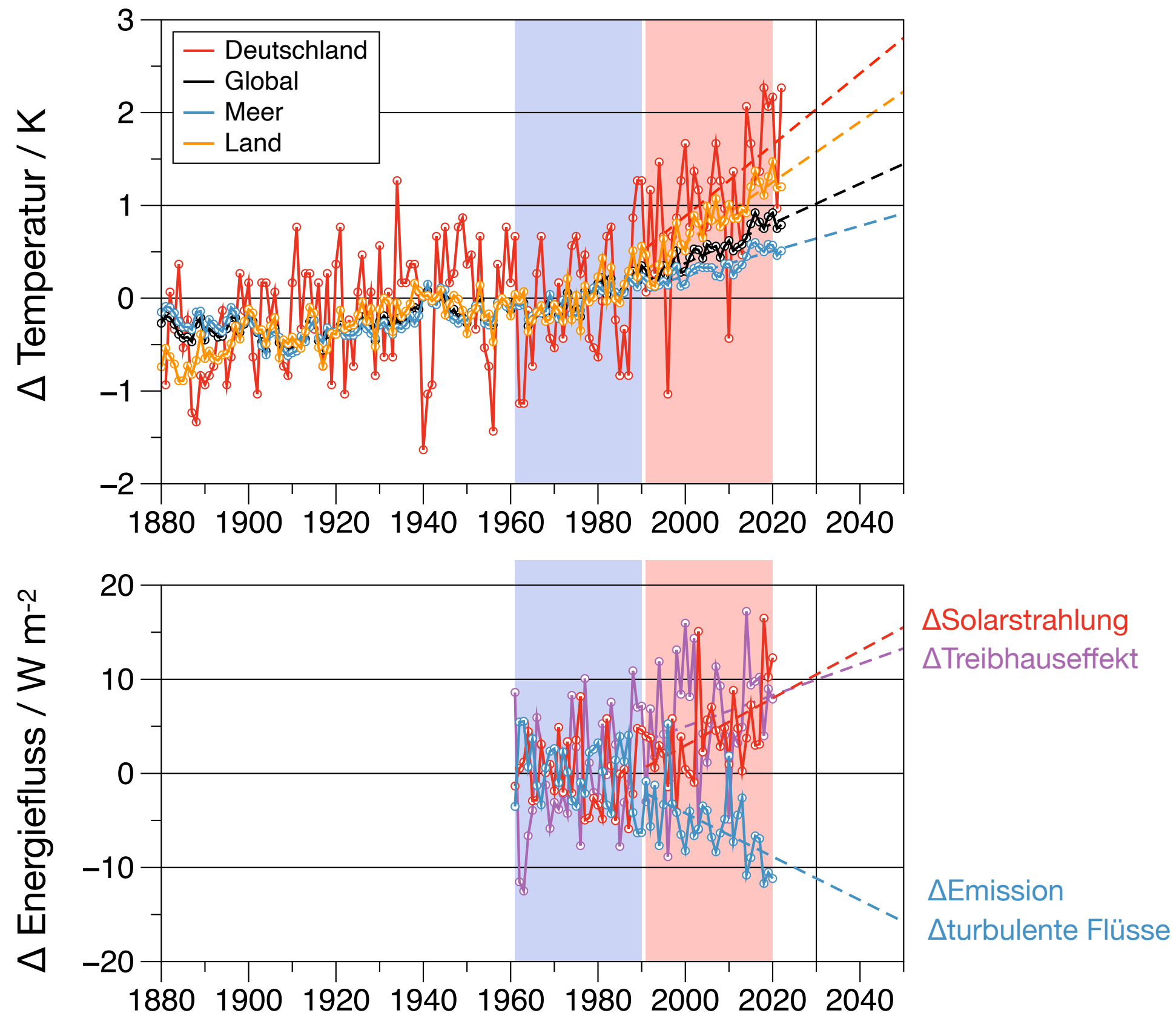
Klimamodellszenarien



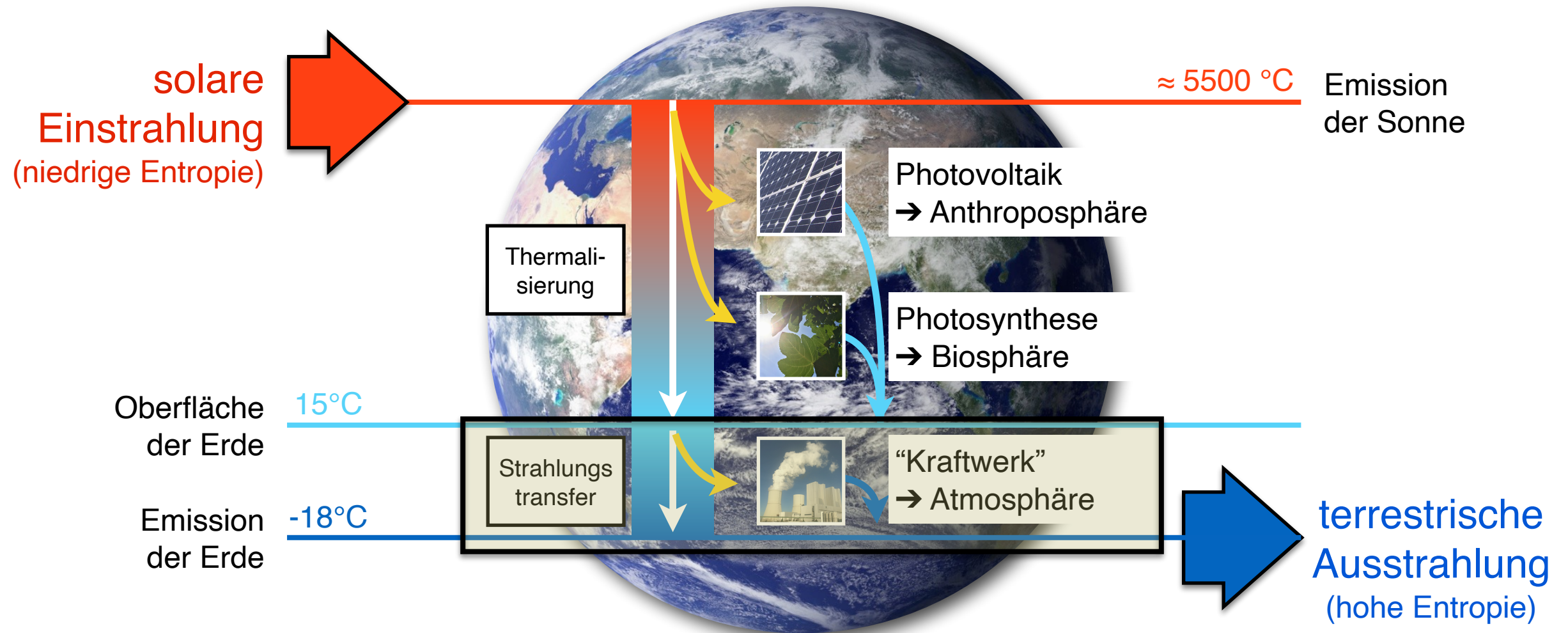
Land erwärmt sich stärker als das Meer weil das Kraftwerk nur tagsüber läuft!

Klimawandel in Deutschland





Kraftwerk Erde



Das “Kraftwerk Atmosphäre” operiert an der Leistungsgrenze

Dies erklärt beobachtete Temperaturen und Änderungen