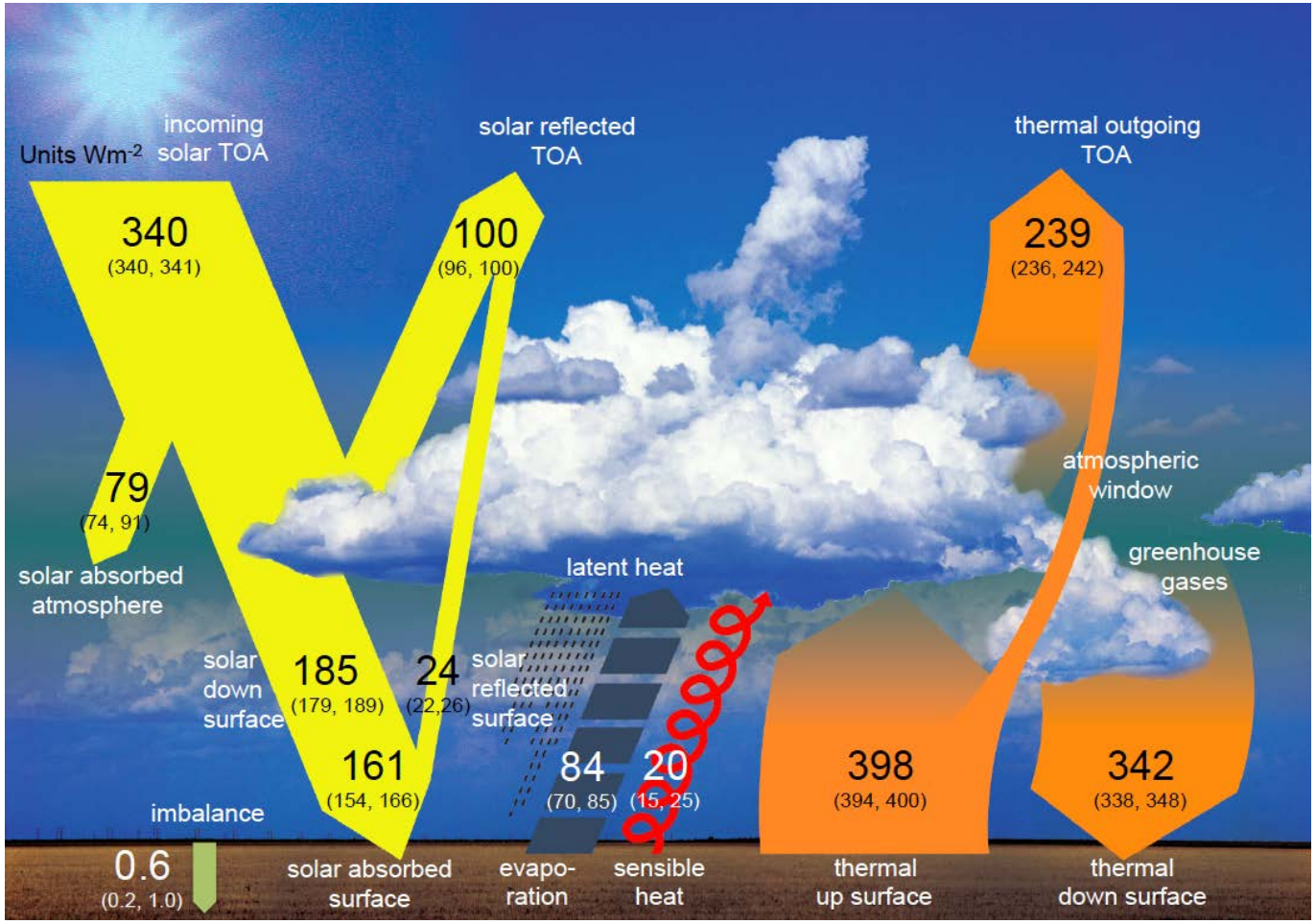
Veränderungen in der Energiebilanz der Erde

Martin Wild

Leitautor Kapitel 2 der IPCC Arbeitsgruppe I

© Yann Arthus-Bertrand / Altitude

Energiebilanz der Erde

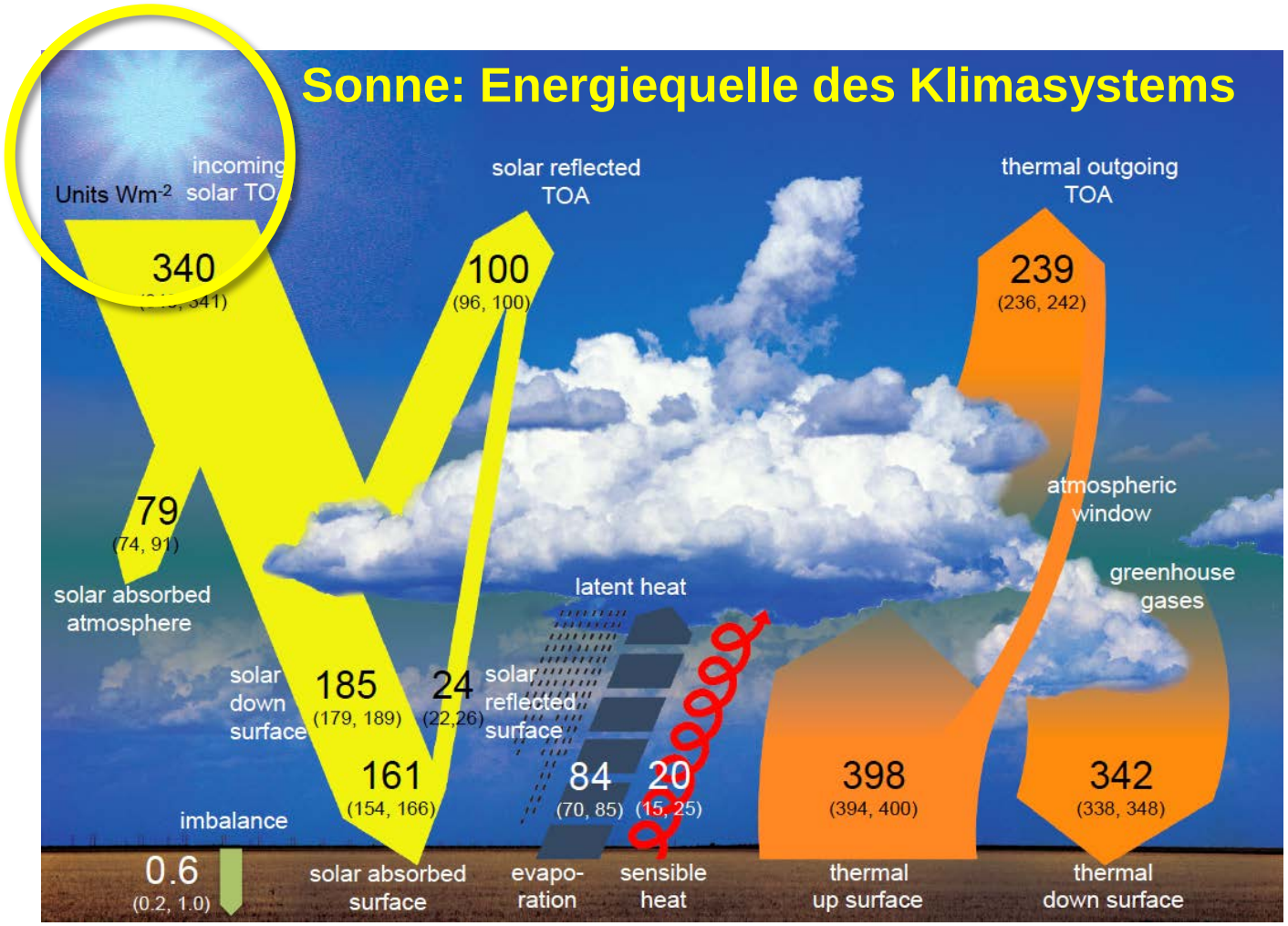


Einheit: Wm^{-2}

IPCC AR5, Fig. 2.11

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

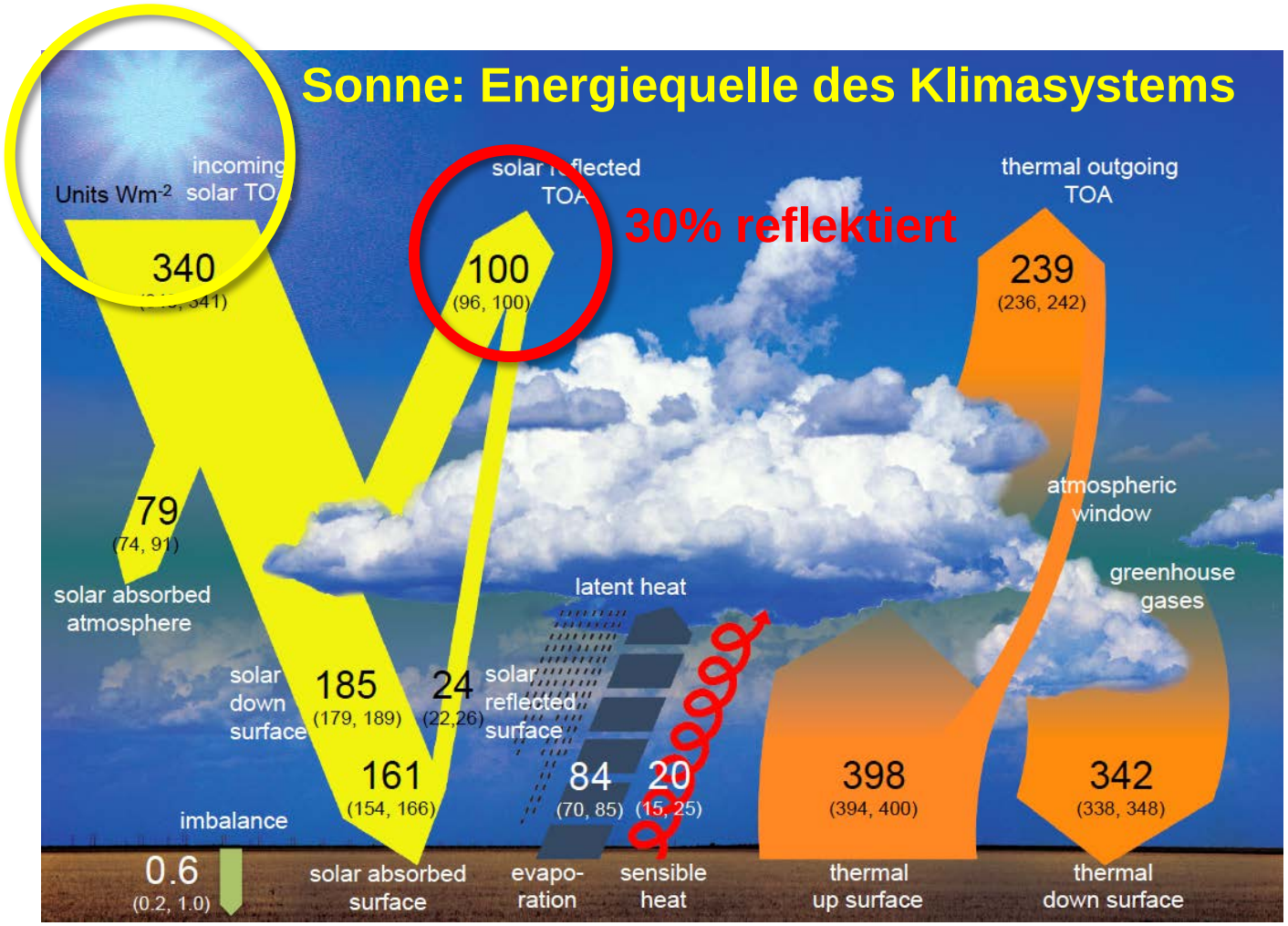


Einheit: Wm^{-2}

IPCC AR5, Fig. 2.11

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

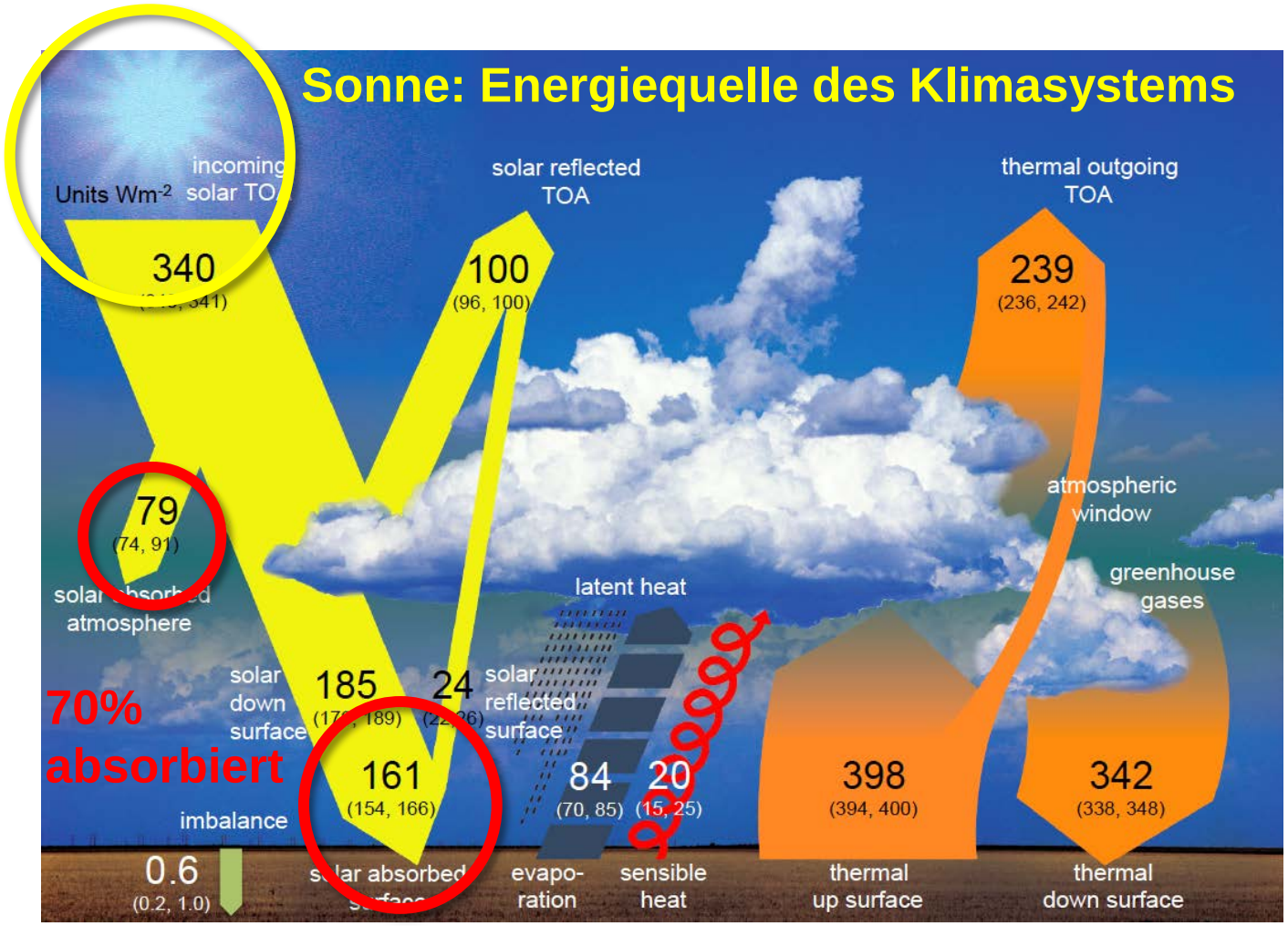


Einheit: Wm^{-2}

IPCC AR5, Fig. 2.11

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

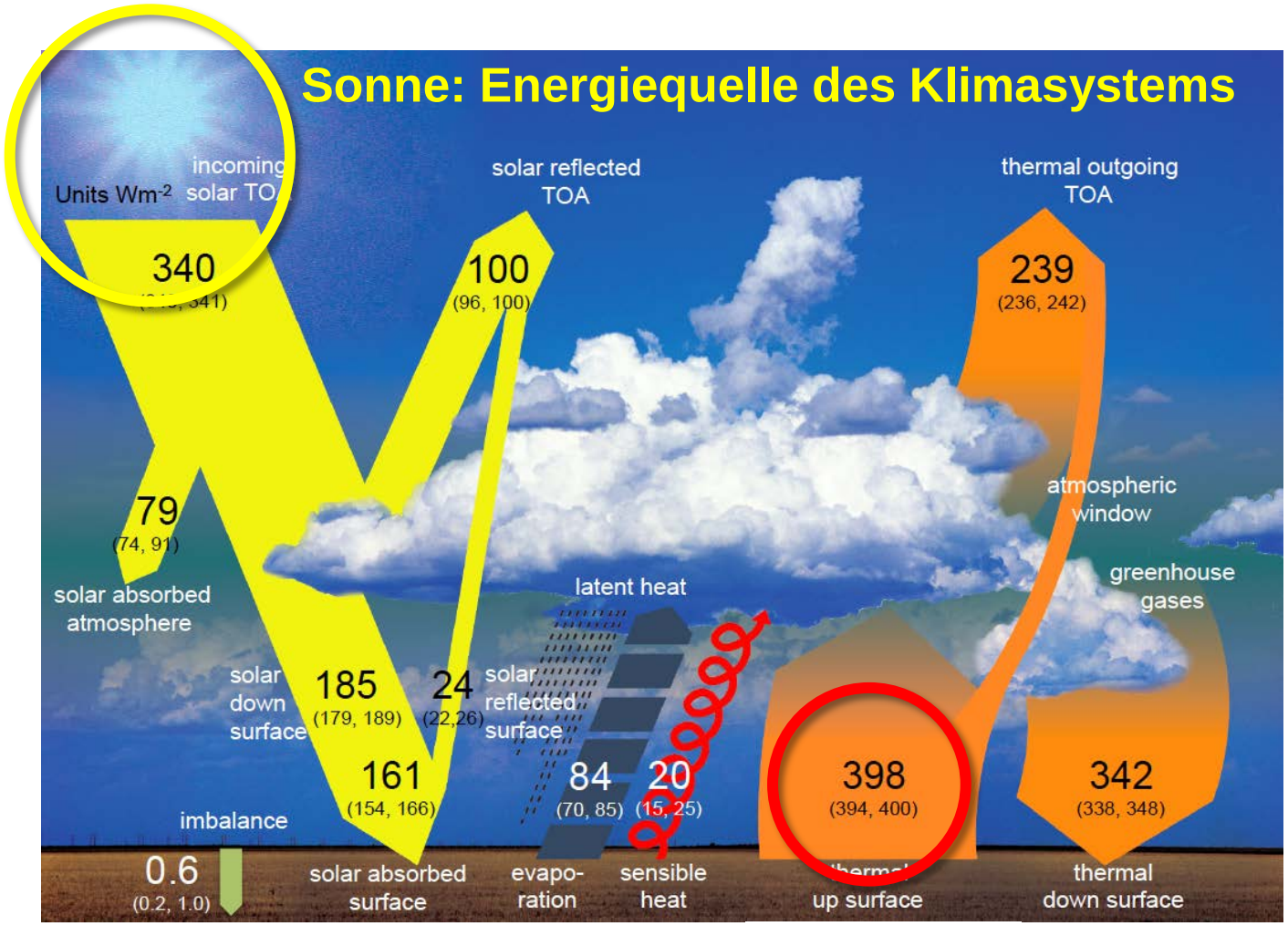


Einheit: Wm^{-2}

IPCC AR5, Fig. 2.11

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

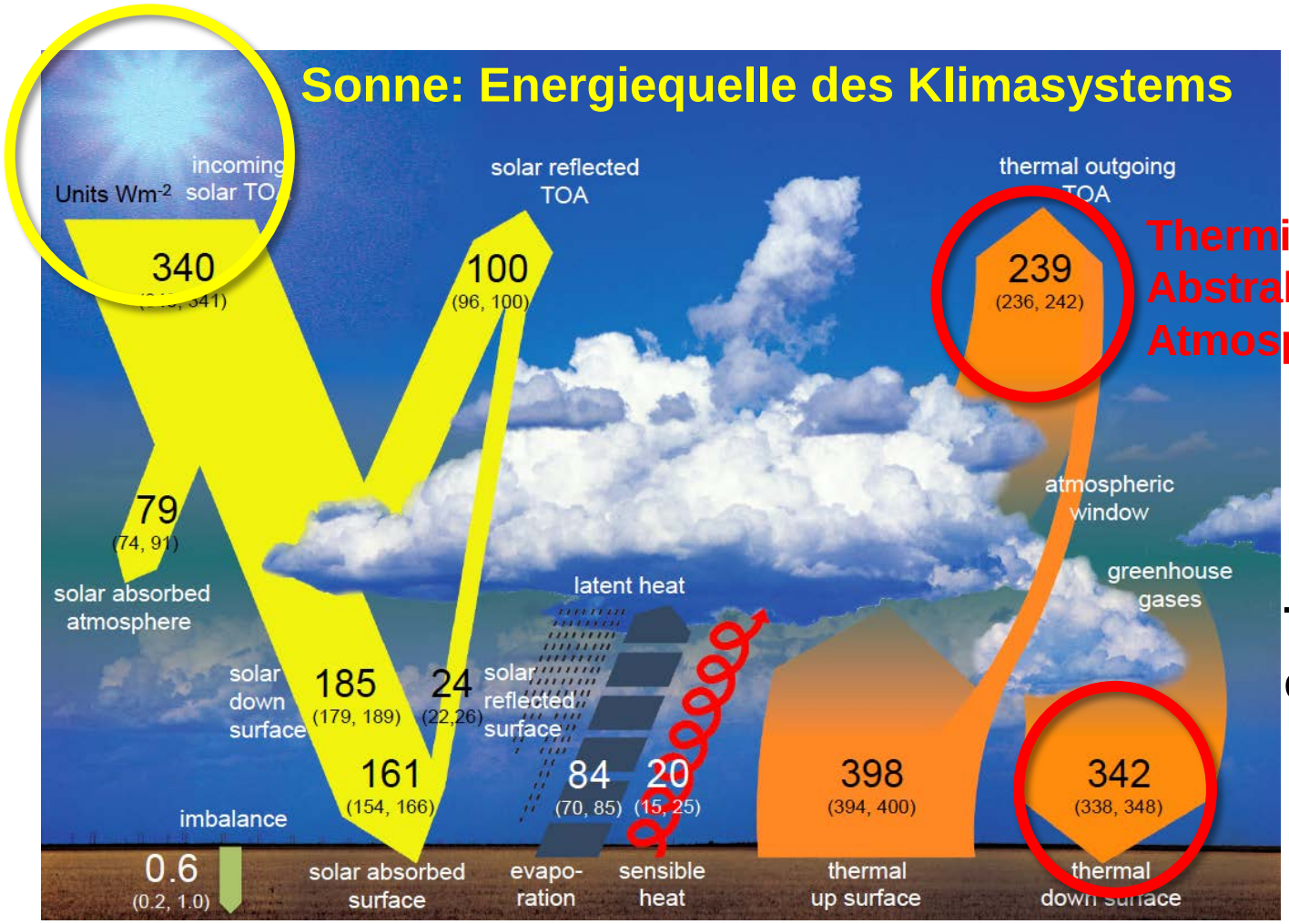


Einheit: Wm^{-2}

Thermische Abstrahlung vom Boden

AR5, Fig. 2.11

Energiebilanz der Erde



Thermische Abstrahlung Atmosphäre

Treibhaus effekt

Einheit: Wm^{-2}

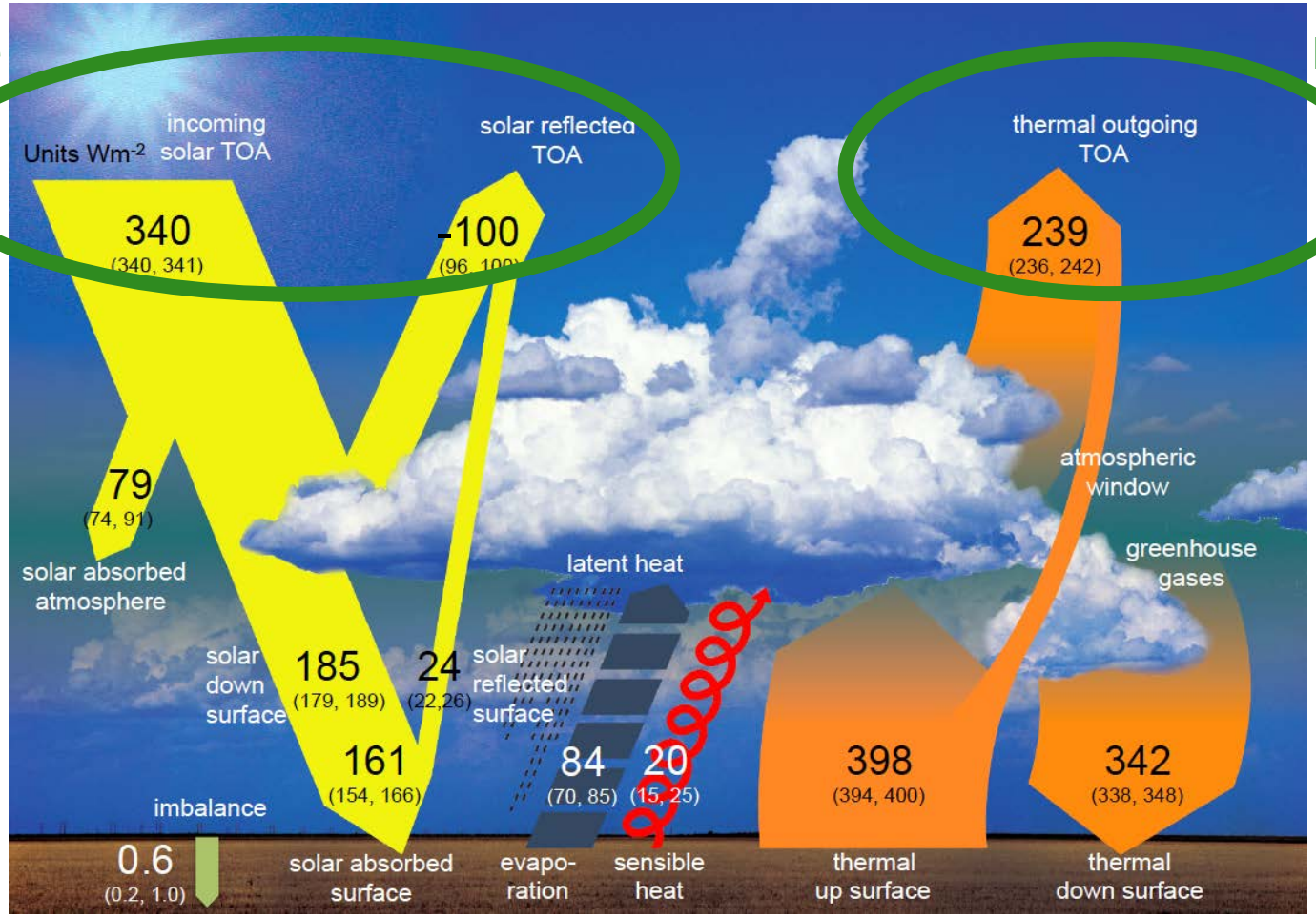
Thermische Rückstrahlung

Energiebilanz der Erde

Strahlungsbilanz am Atmosphärenoberrand:
reguliert Energiegehalt des Klimasystems

Absorbierte Energie

Emittierte Energie



Einheit: Wm^{-2}

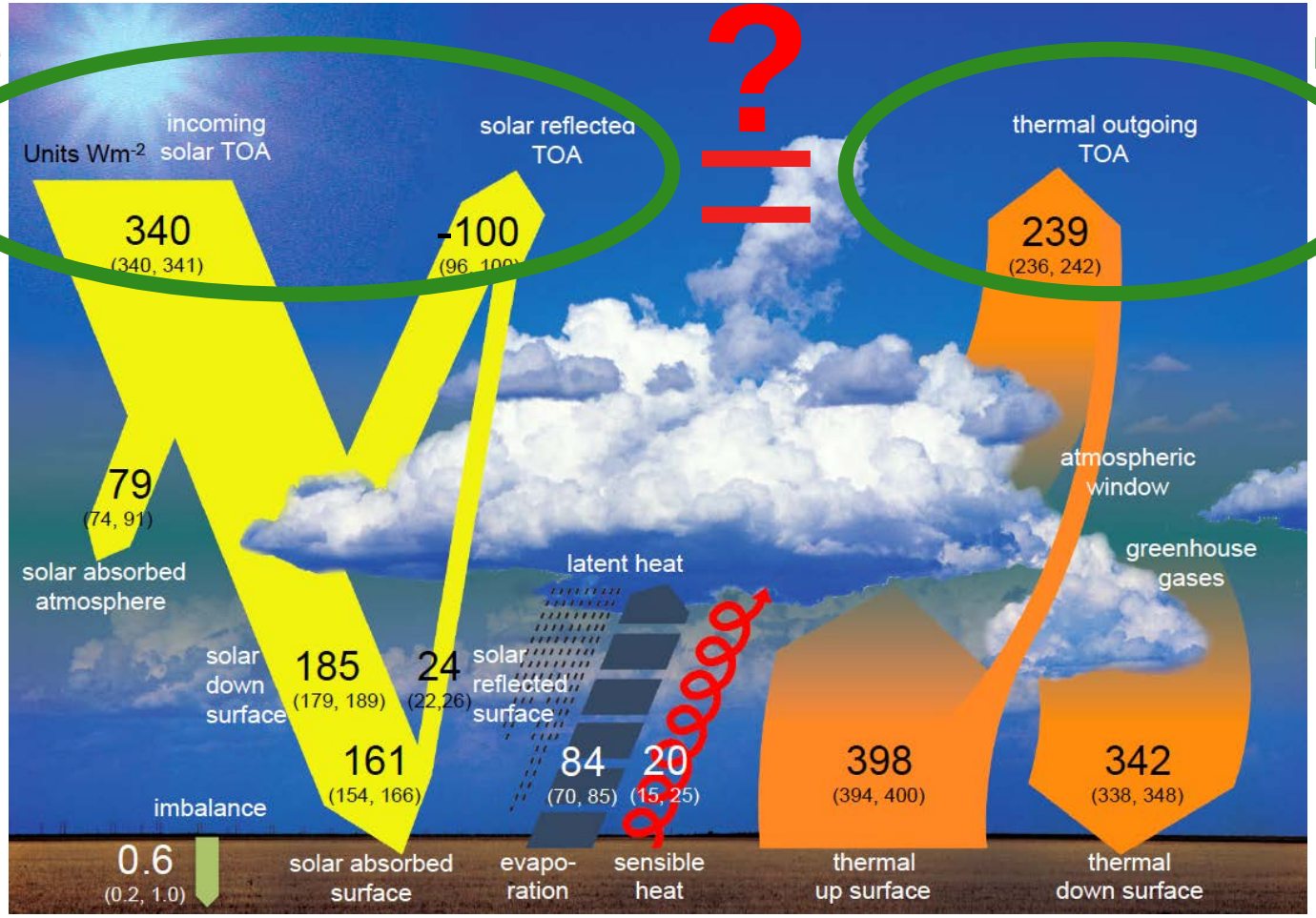
IPCC AR5, Fig. 2.11

Energiebilanz der Erde

Strahlungsbilanz am Atmosphärenoberrand:
reguliert Energiegehalt des Klimasystems

Absorbierte Energie

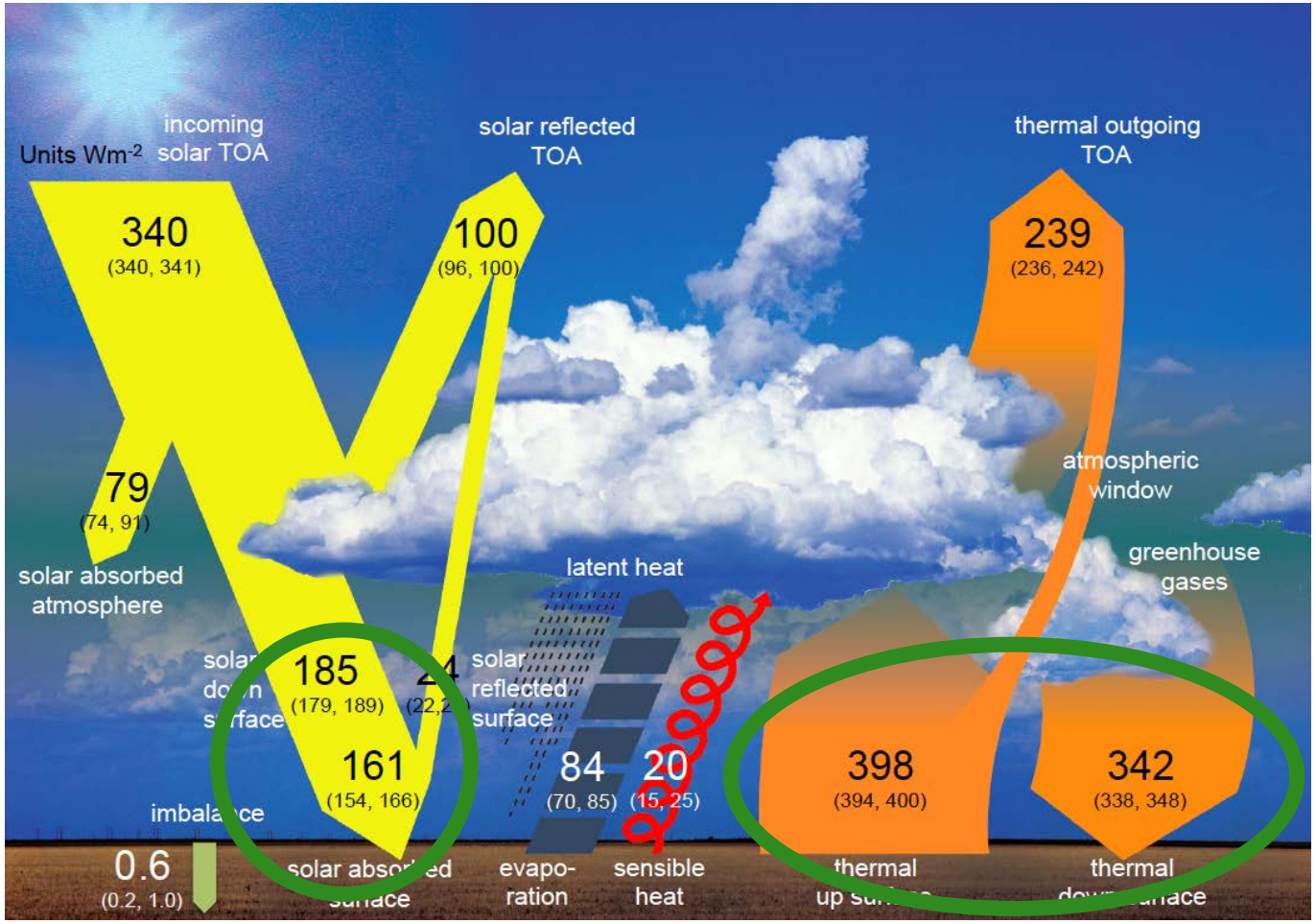
Emittierte Energie



Einheit: Wm^{-2}

IPCC AR5, Fig. 2.11

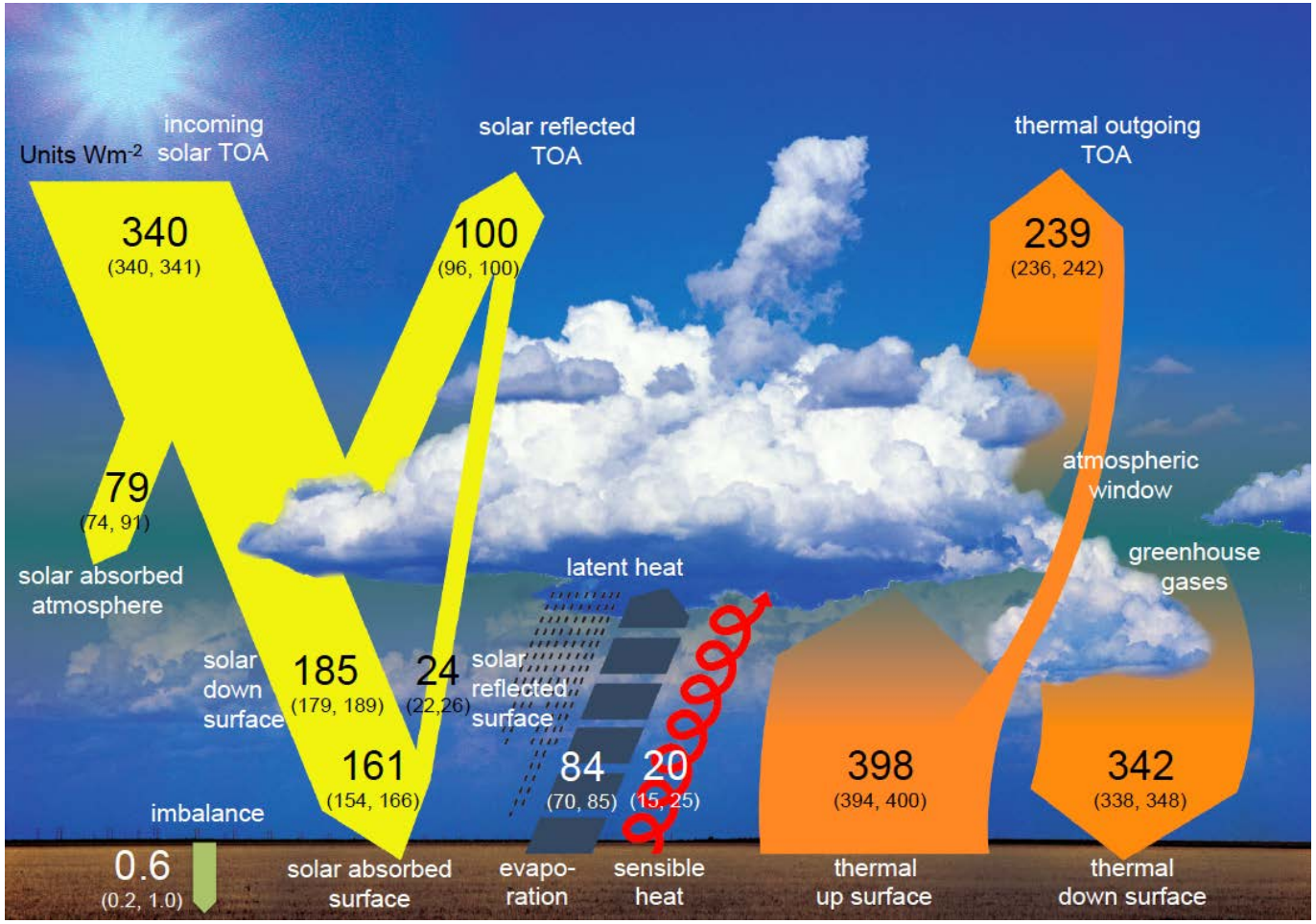
Energiebilanz der Erde



Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche: reguliert bodennahes Klima

Energiebilanz der Erde

Verbesserte Quantifizierung der Energieflüsse seit AR4

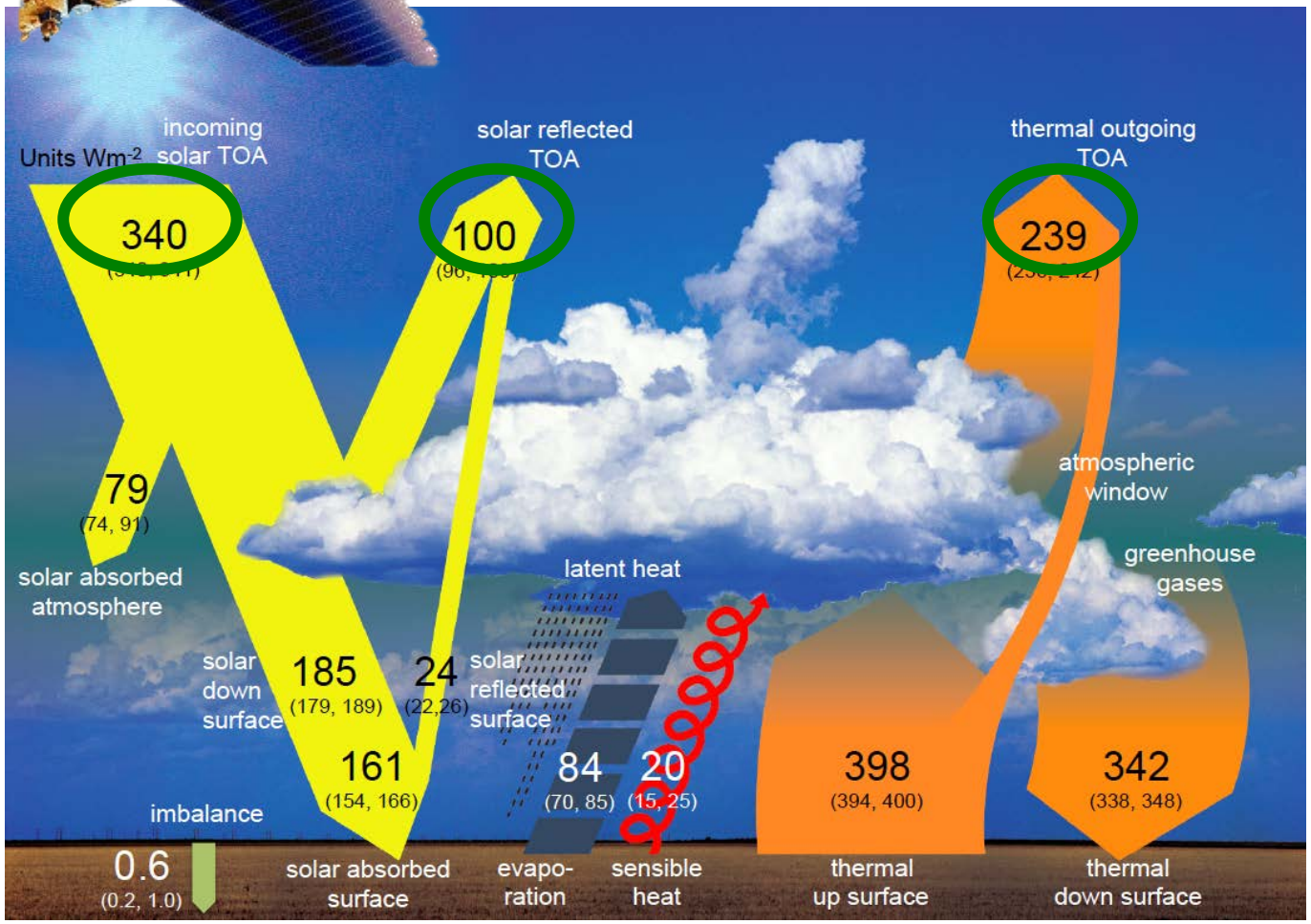


Einheit: Wm^{-2}

Energiebilanz der Erde

Satellitenmessungen

Verbesserte Quantifizierung der Energieflüsse seit AR4

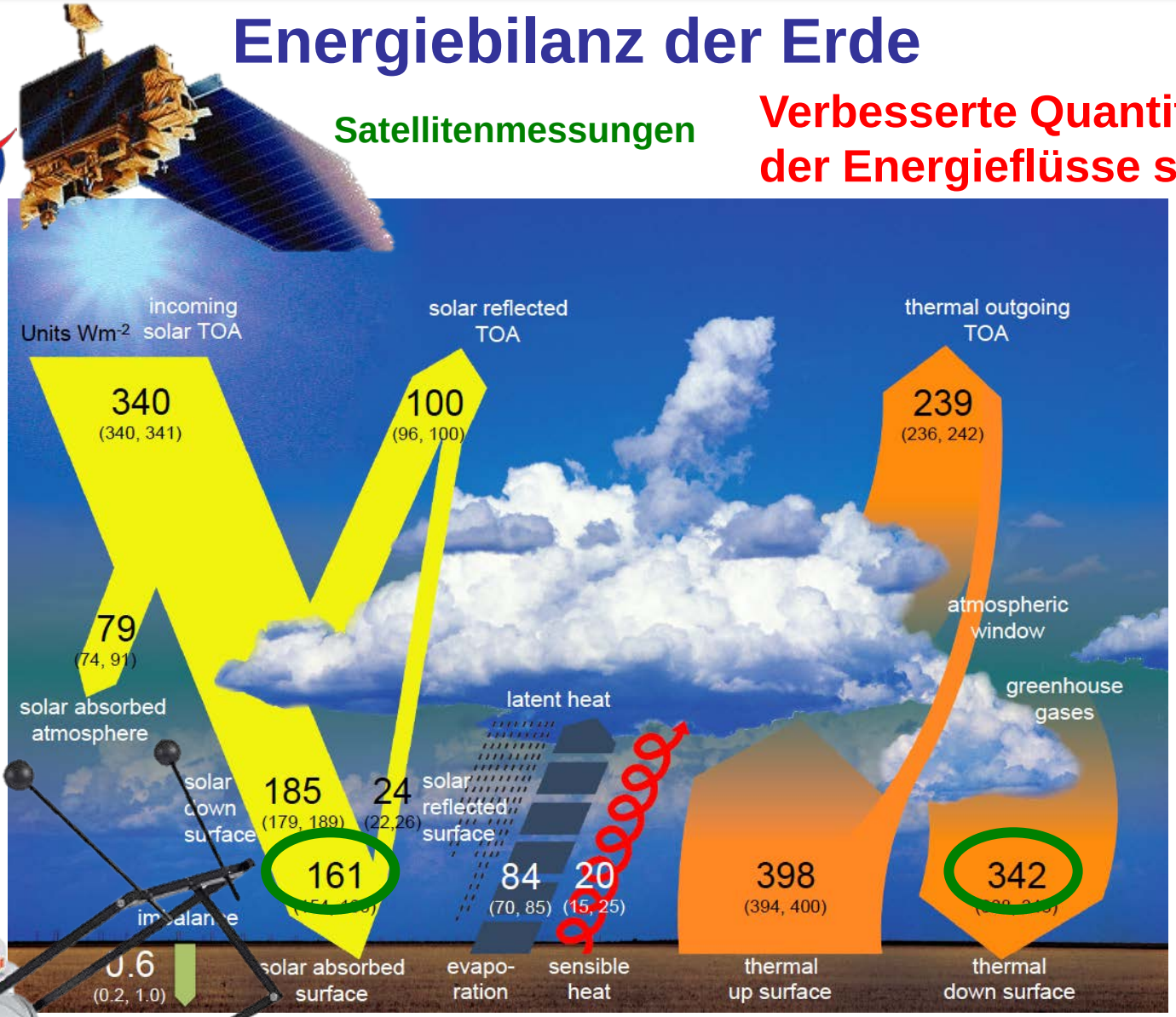


Einheit: Wm^{-2}

Energiebilanz der Erde

Satellitenmessungen

Verbesserte Quantifizierung der Energieflüsse seit AR4

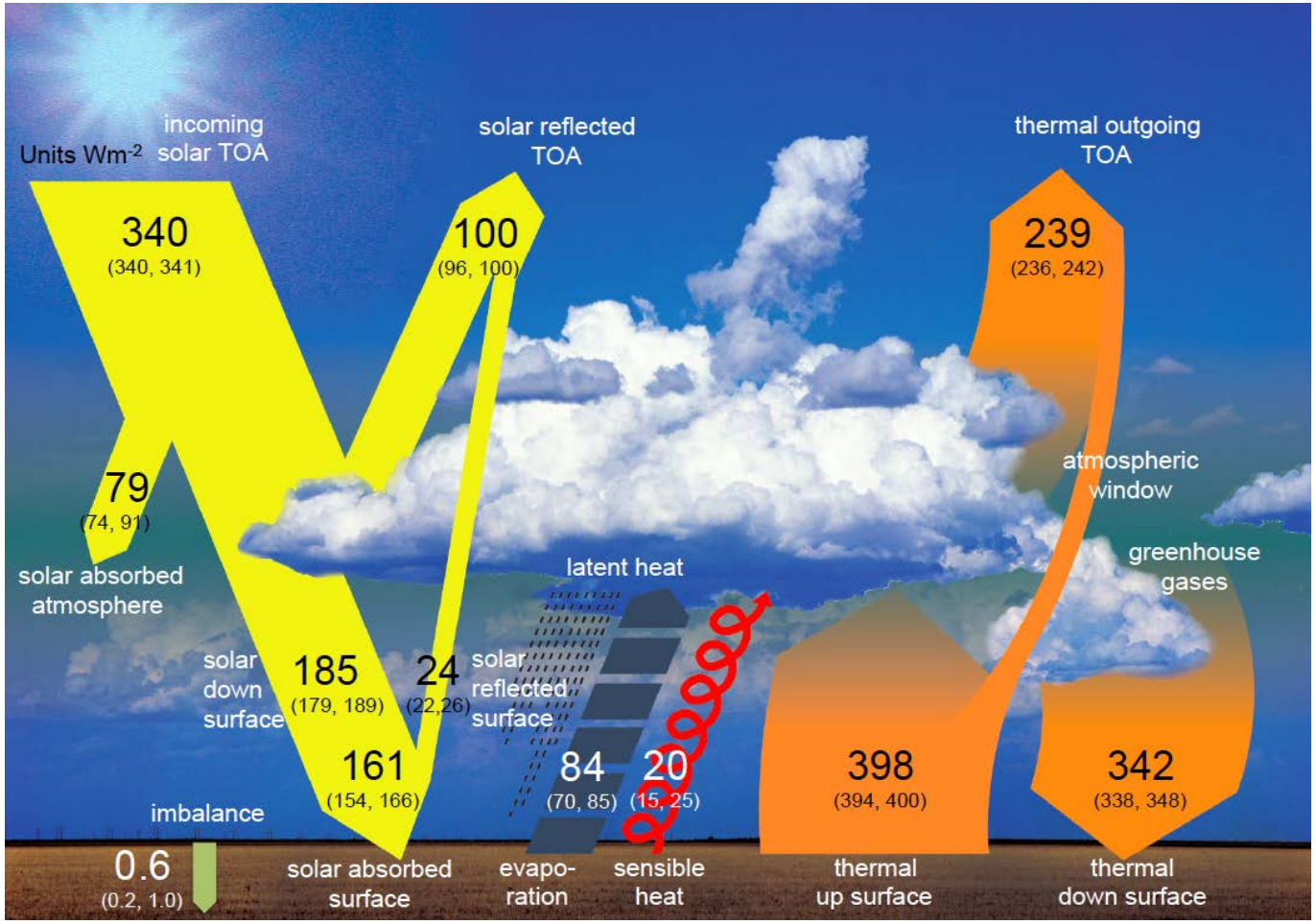


Strahlungsmessungen am Boden

BSRN

Energiebilanz der Erde

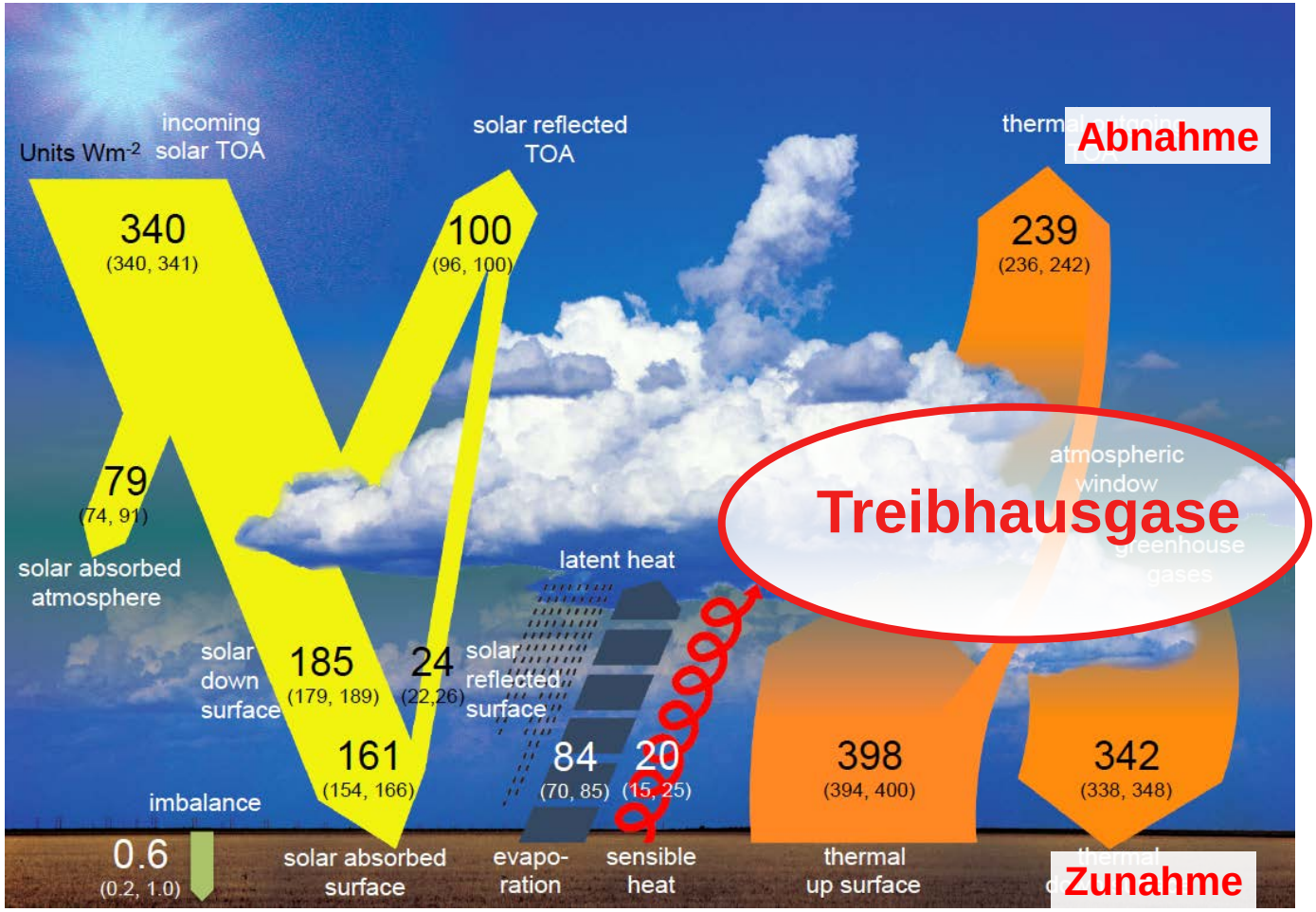
Menschliche Eingriffe in den Energiehaushalt der Erde



ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

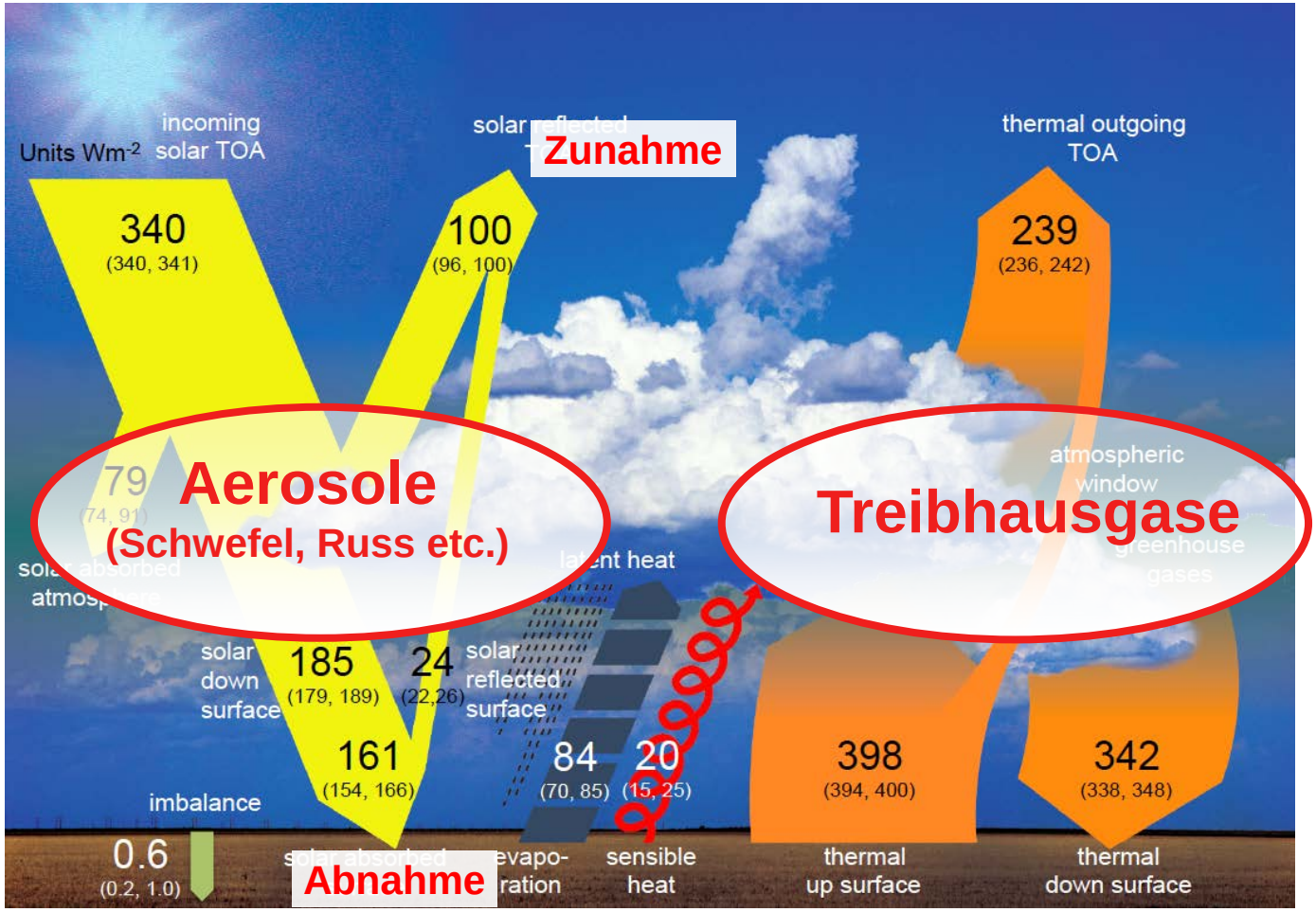
Menschliche Eingriffe in den Energiehaushalt der Erde



ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

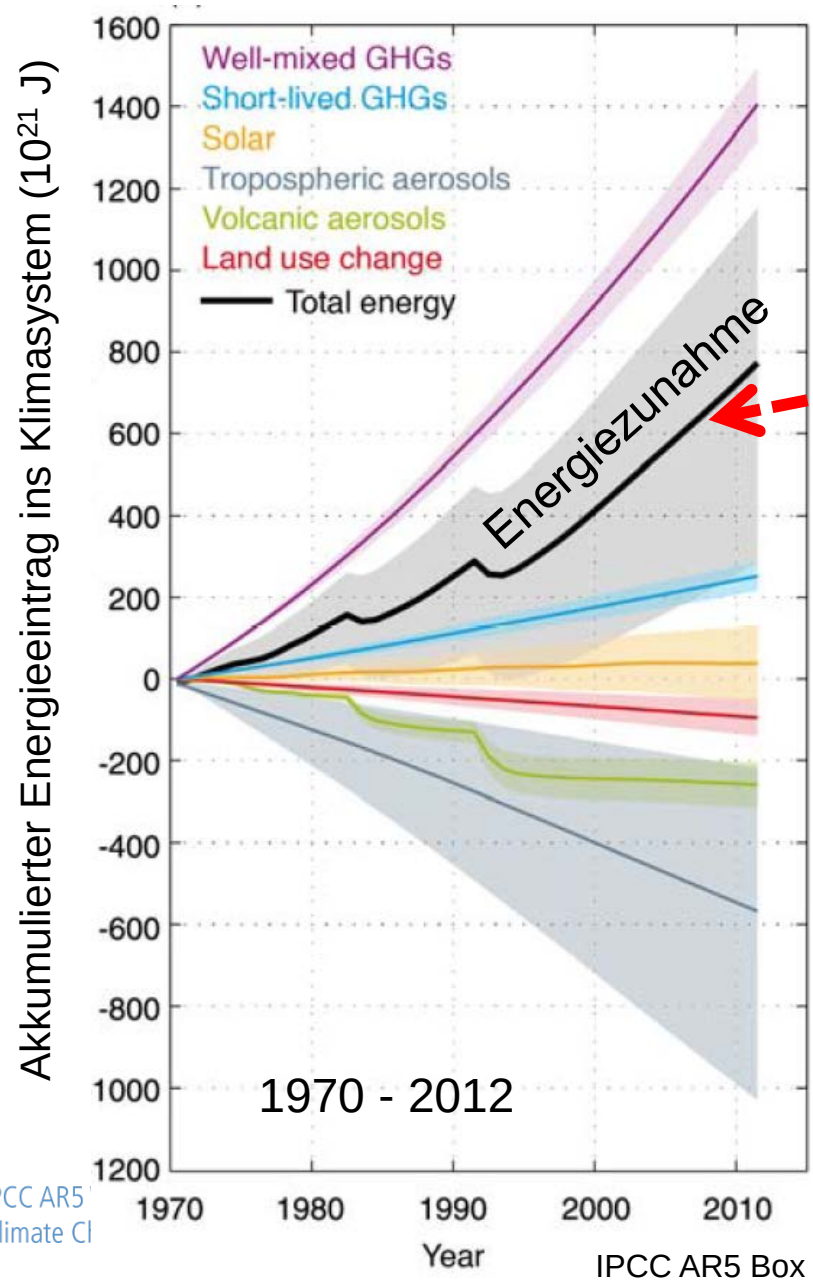
Energiebilanz der Erde

Menschliche Eingriffe in den Energiehaushalt der Erde

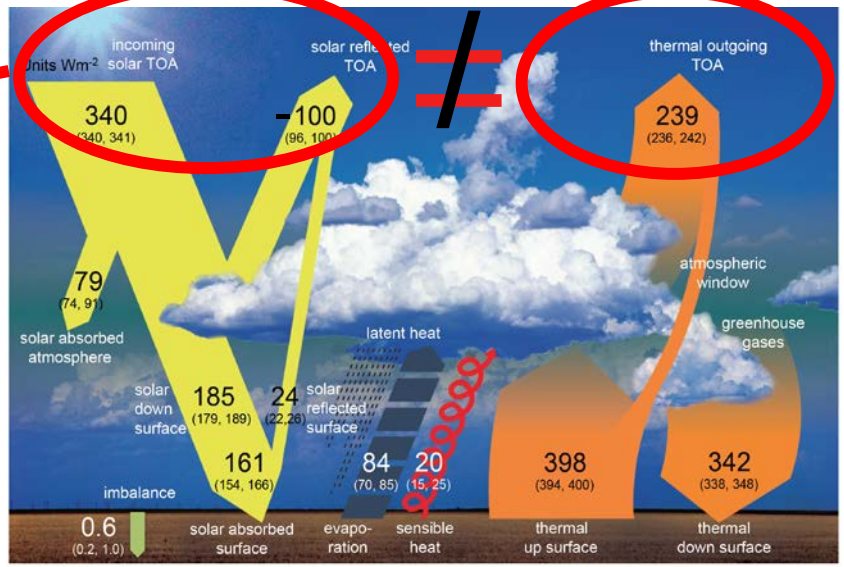


ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Zunehmende Energie im Klimasystem



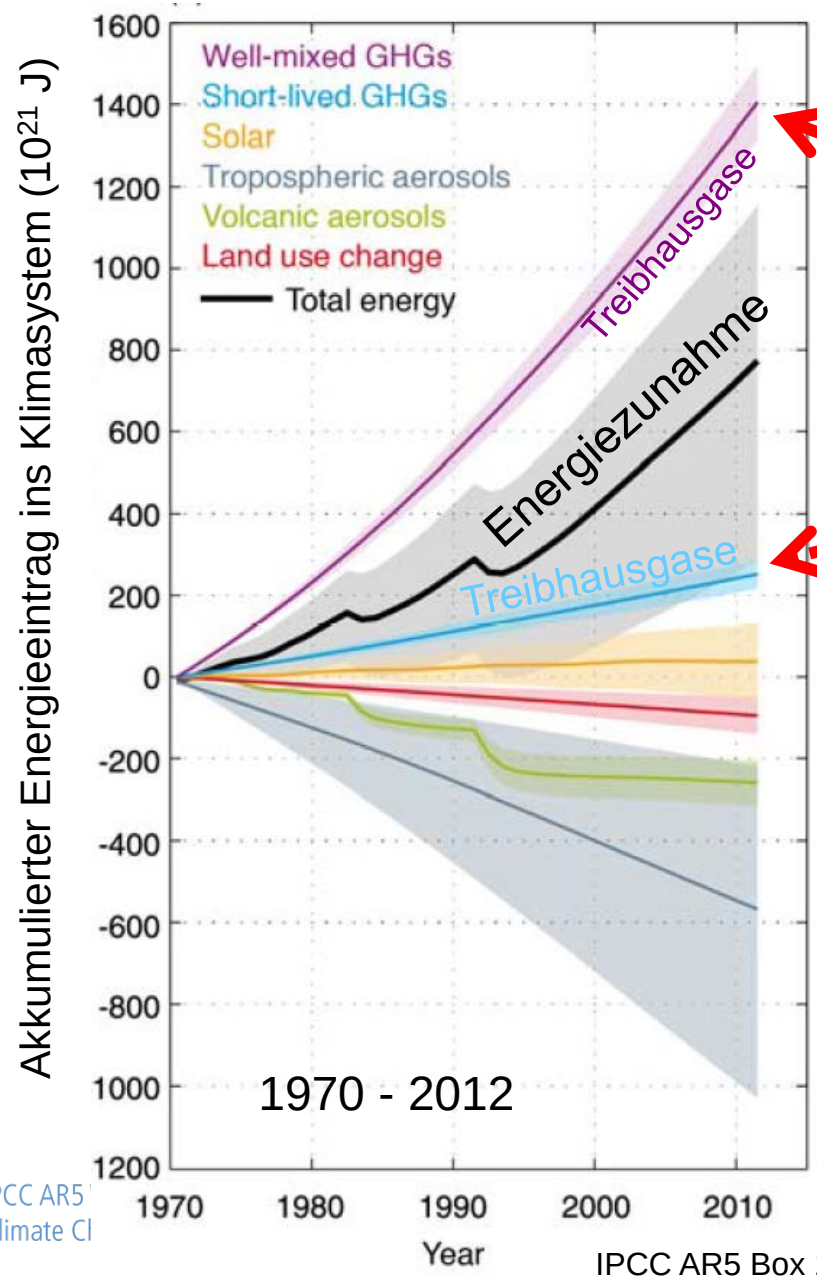
Ungleichgewicht:
Weniger Energie abgestrahlt als absorbiert



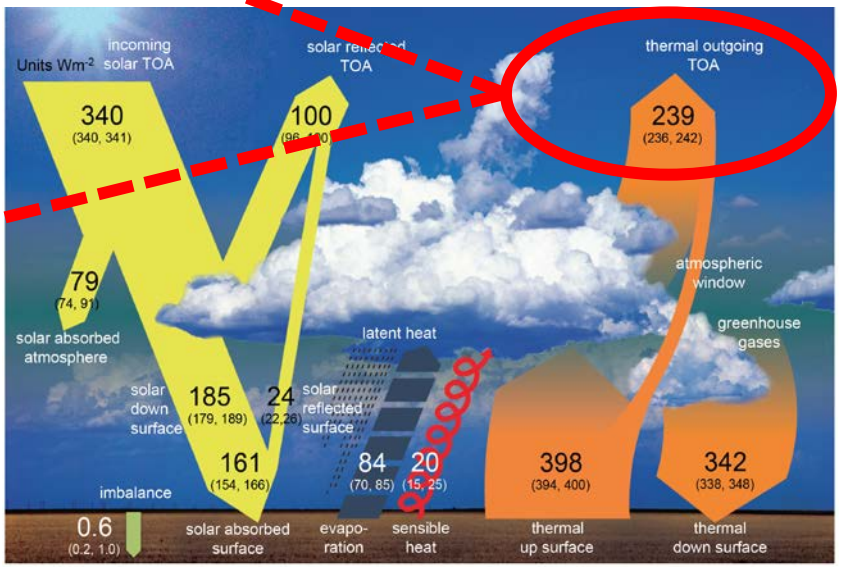
IPCC AR5 Box 13.1 / TFE.4

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Zunehmende Energie im Klimasystem



Reduktion Thermische Abstrahlung

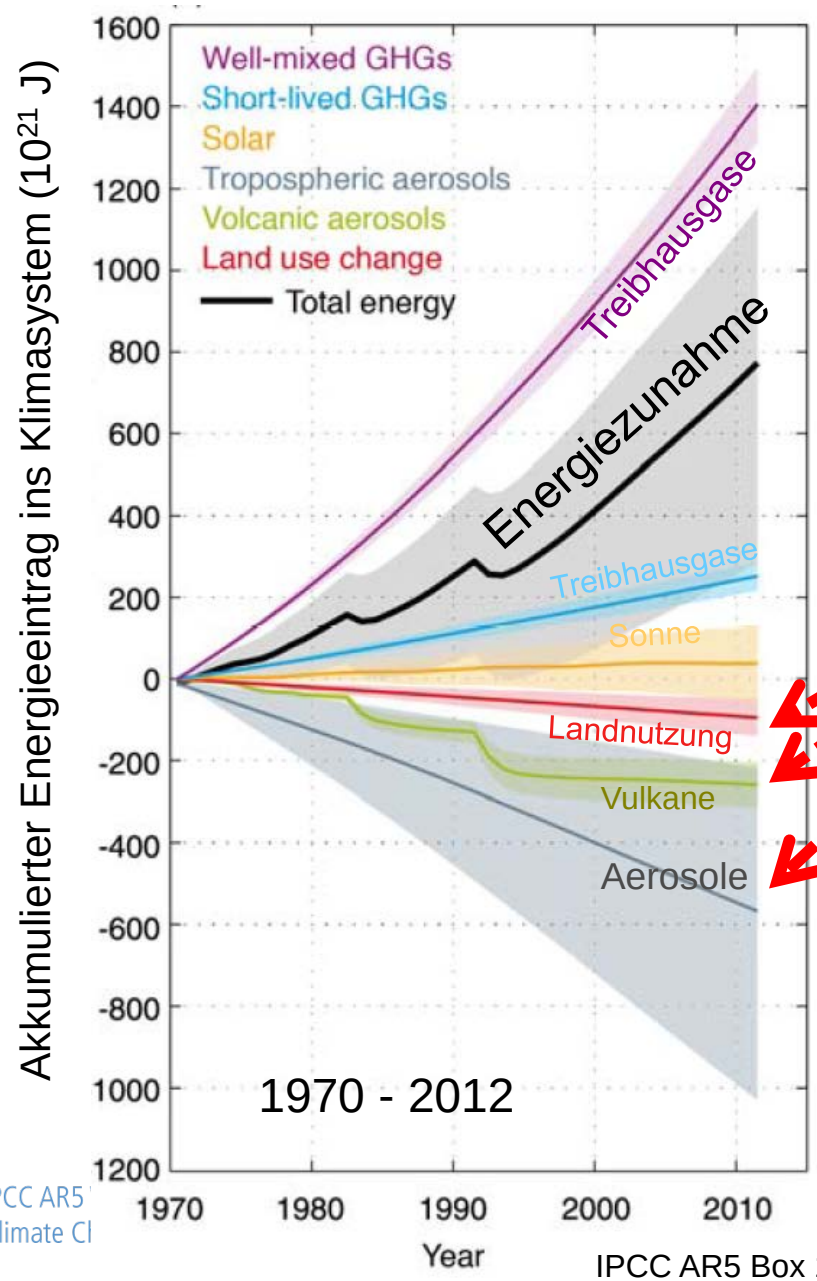


=> Energiegewinn

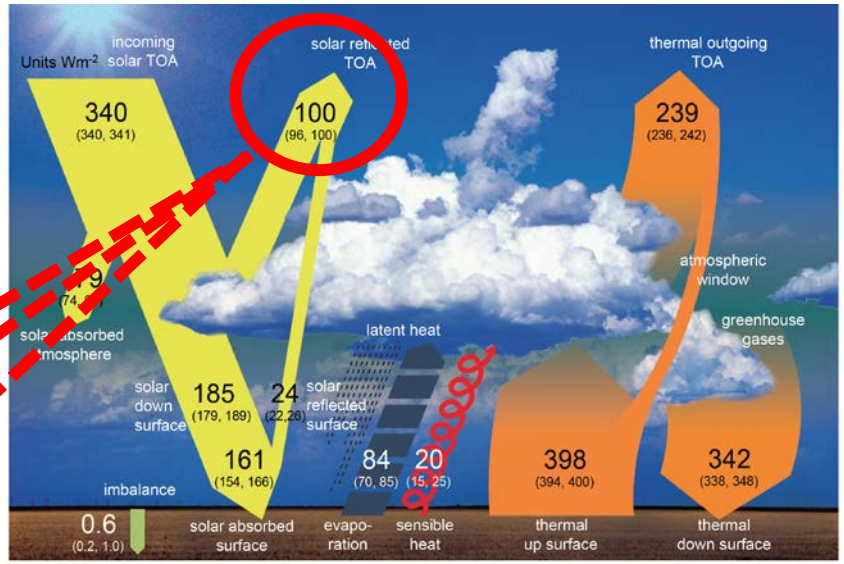
IPCC AR5 Box 13.1 / TFE.4

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Zunehmende Energie im Klimasystem



Verstärkte Reflexion des Sonnenlichts

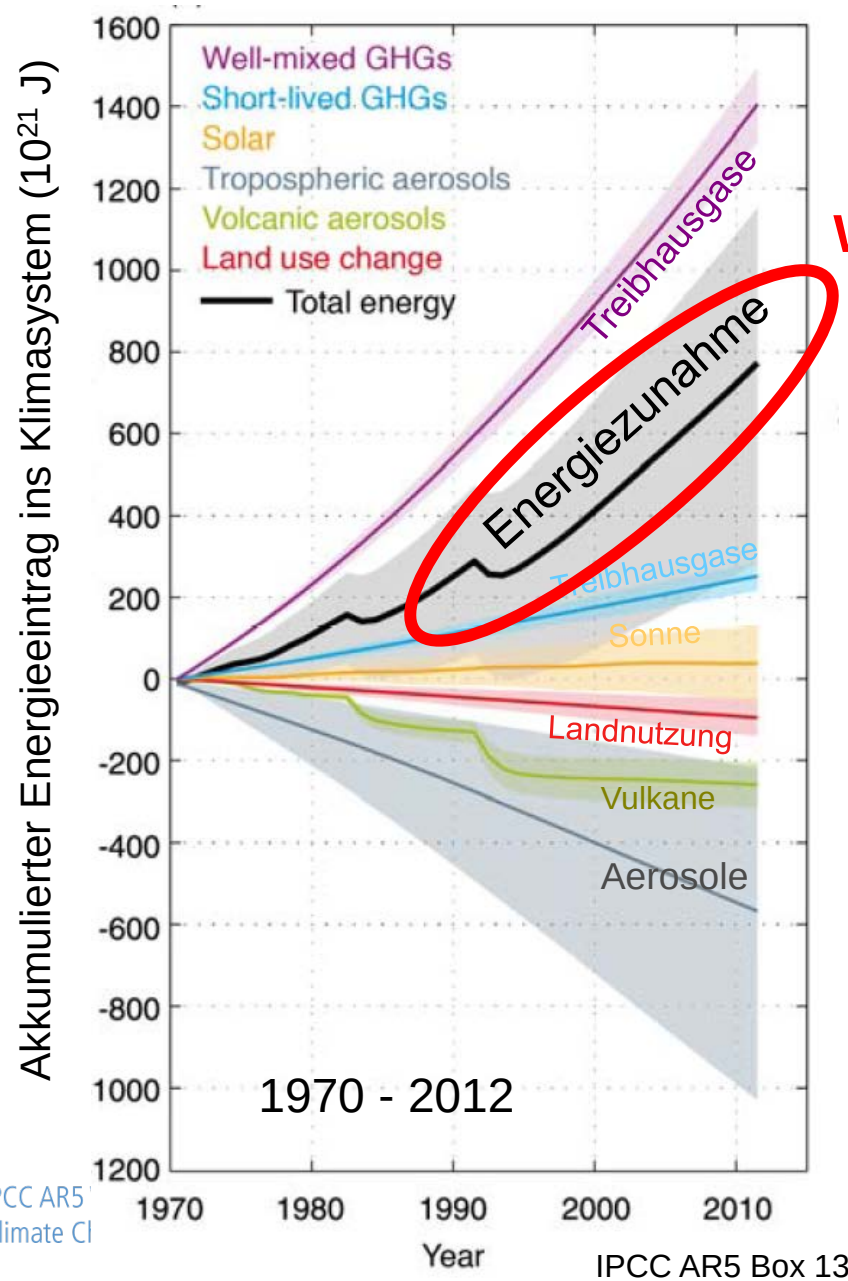


=> Energieverlust

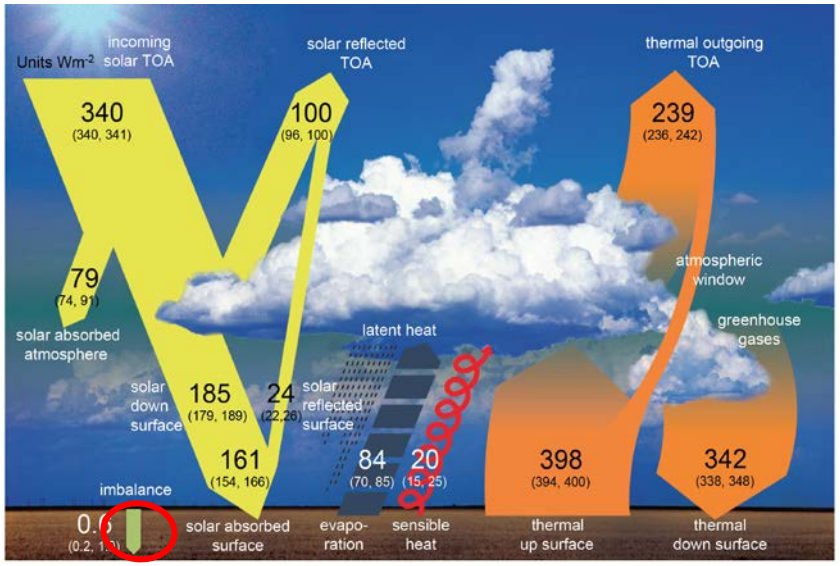
IPCC AR5 Box 13.1 / TFE.4

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Zunehmende Energie im Klimasystem



Wohin geht die Energie?



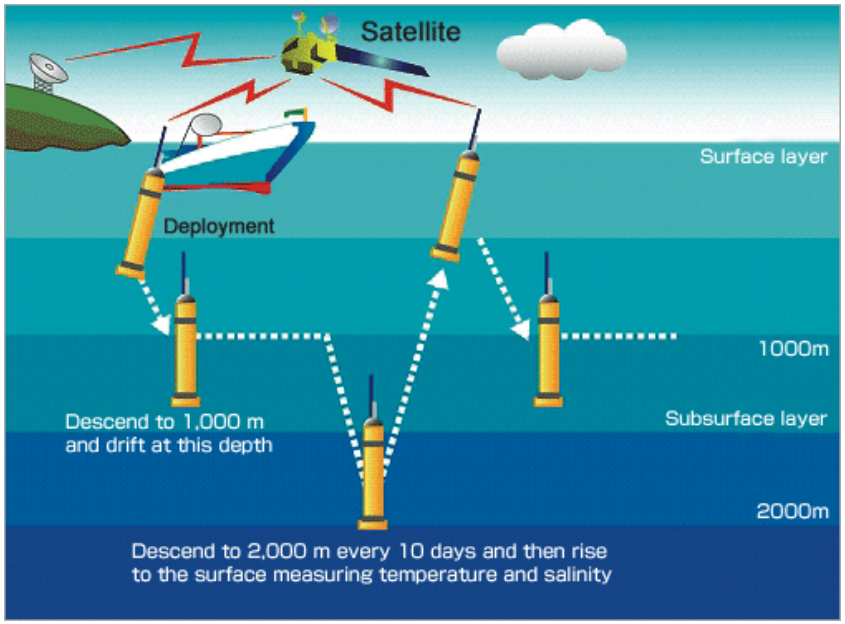
IPCC AR5 Box 13.1 / TFE.4

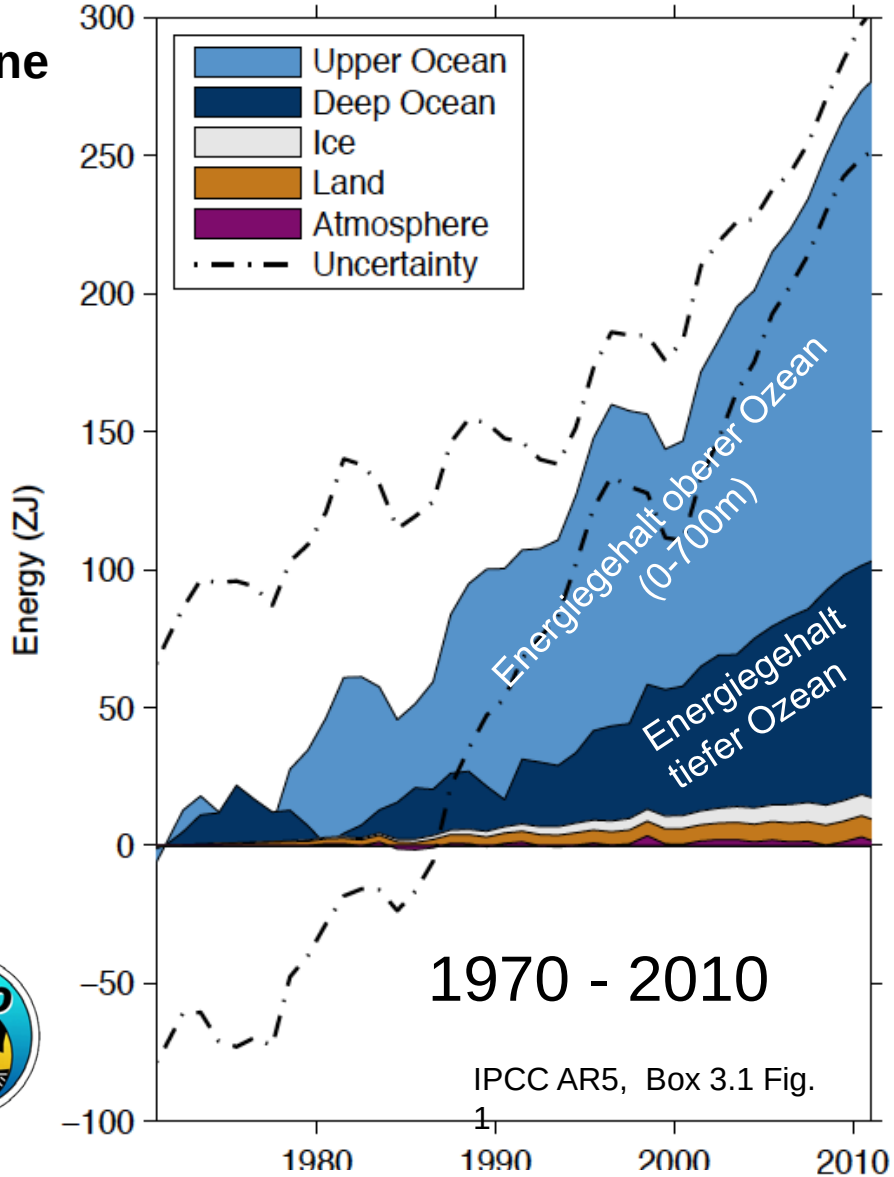
ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Zunehmender Energiegehalt in Ozeanen

93% der Überschussenergie geht in Ozeane

Weltweites Messnetz von Temperatursonden in Ozeanen



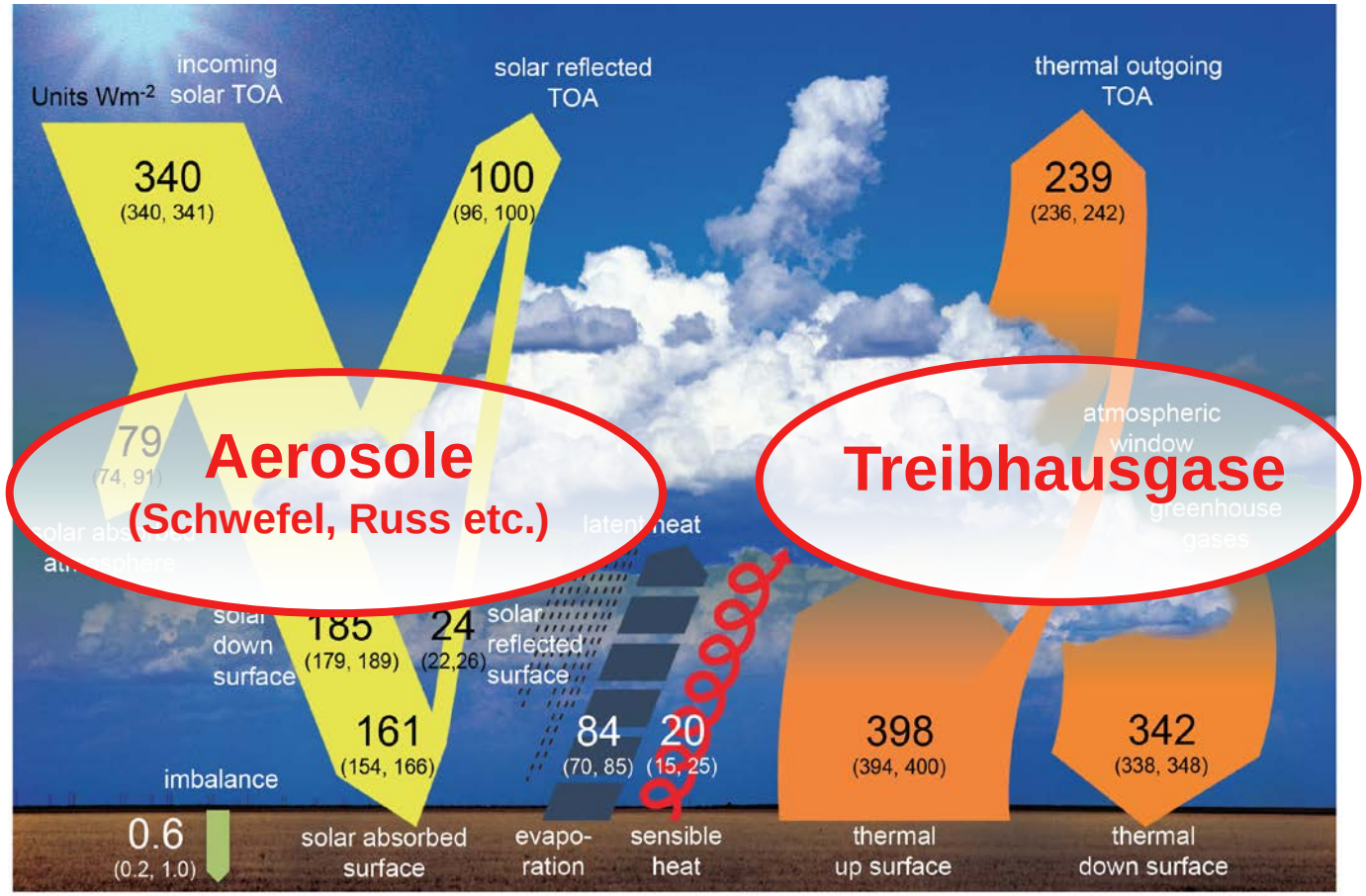


IPCC AR5, Box 3.1 Fig. 1

AR5: verbesserte Rekonstruktion des Energiegehalts im Ozean

Energiebilanz der Erde

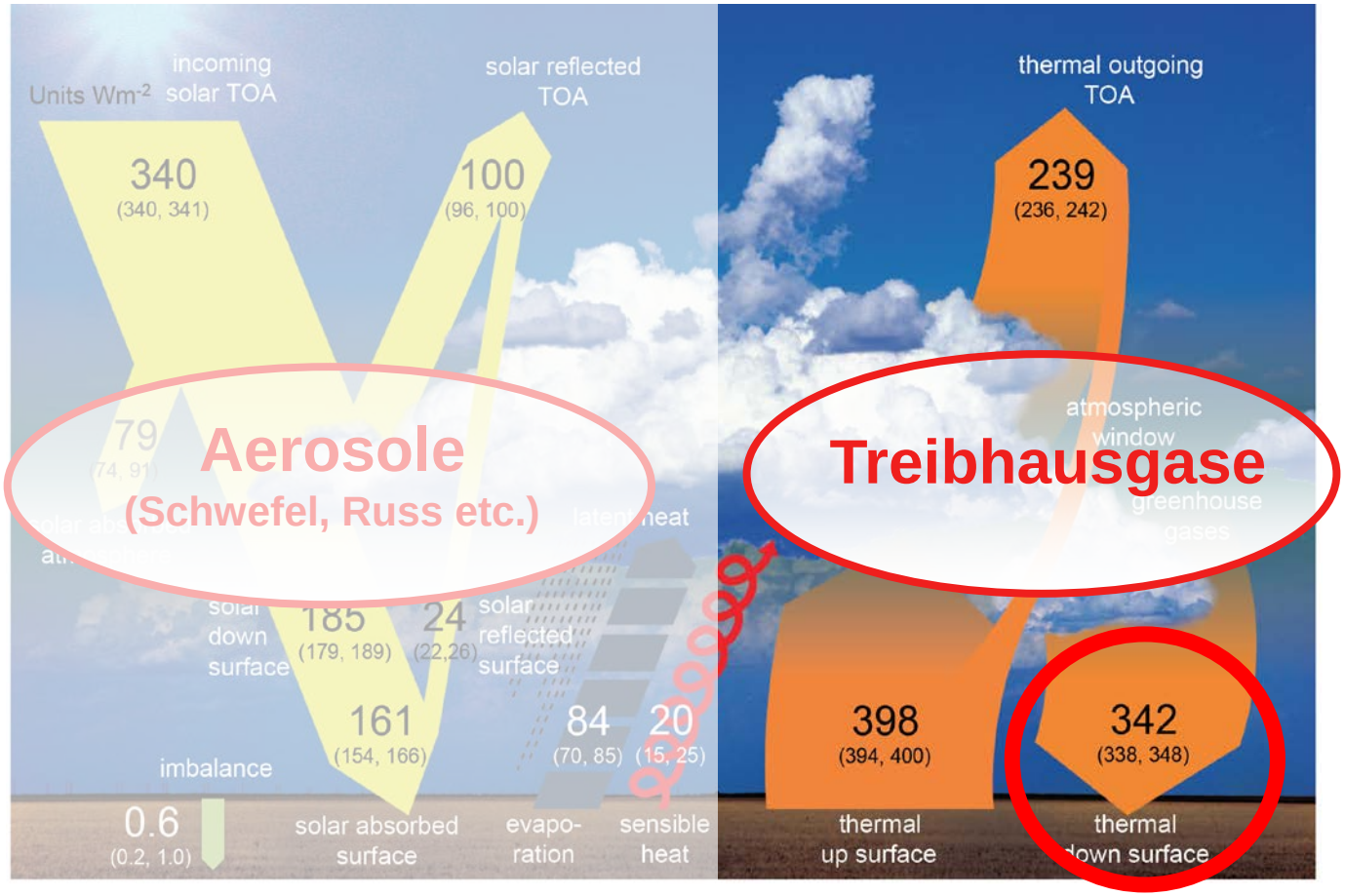
Messbare Änderungen an der Erdoberfläche



ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

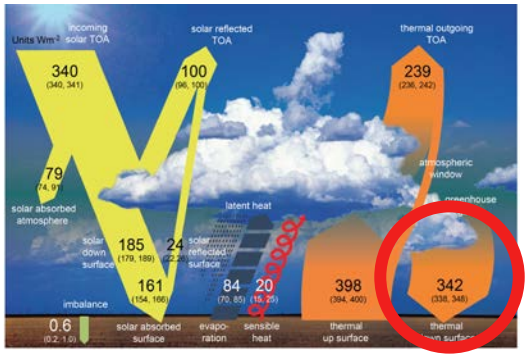
Messbare Änderungen an der Erdoberfläche



Thermische Rückstrahlung

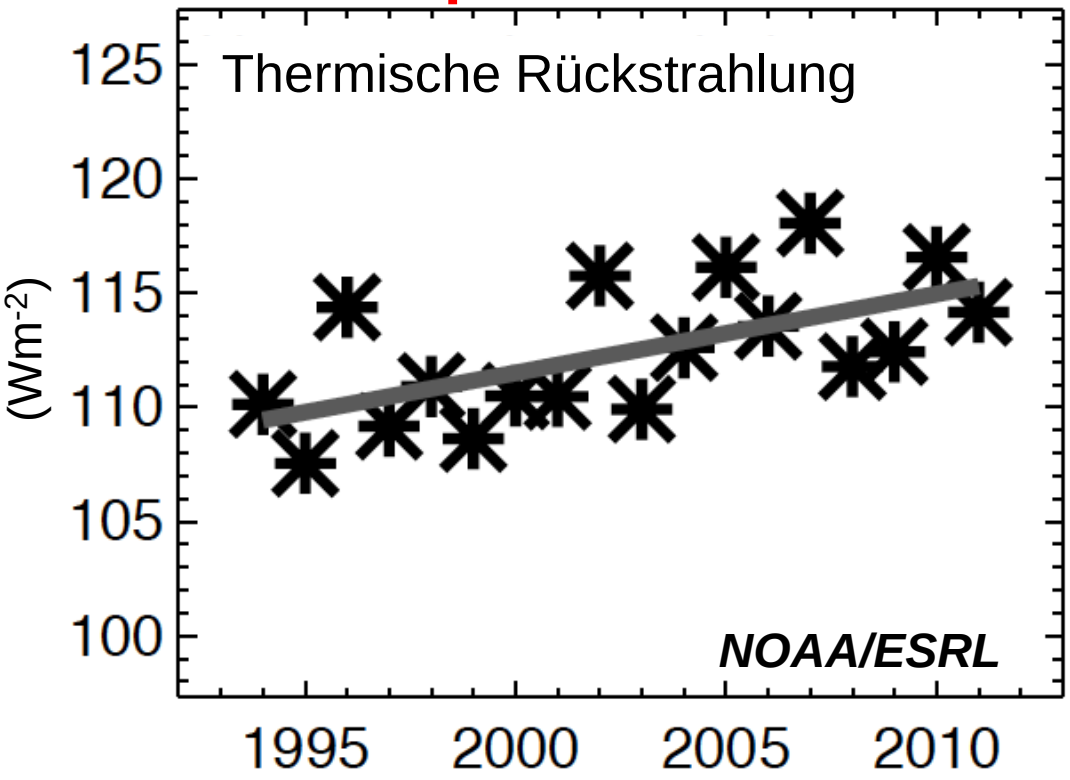
"Treibhauseffekt am Erdboden"

Treibhauseffekt an der Erdoberfläche: Messungen



Messungen der Thermischen Rückstrahlung

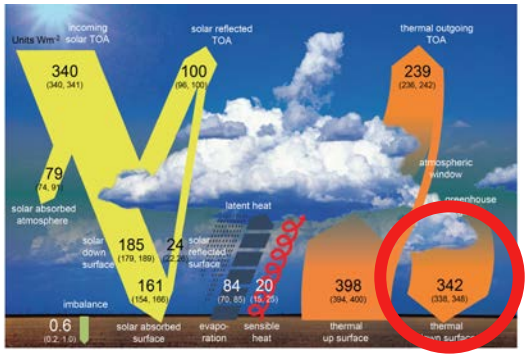
Südpol 1994 - 2011



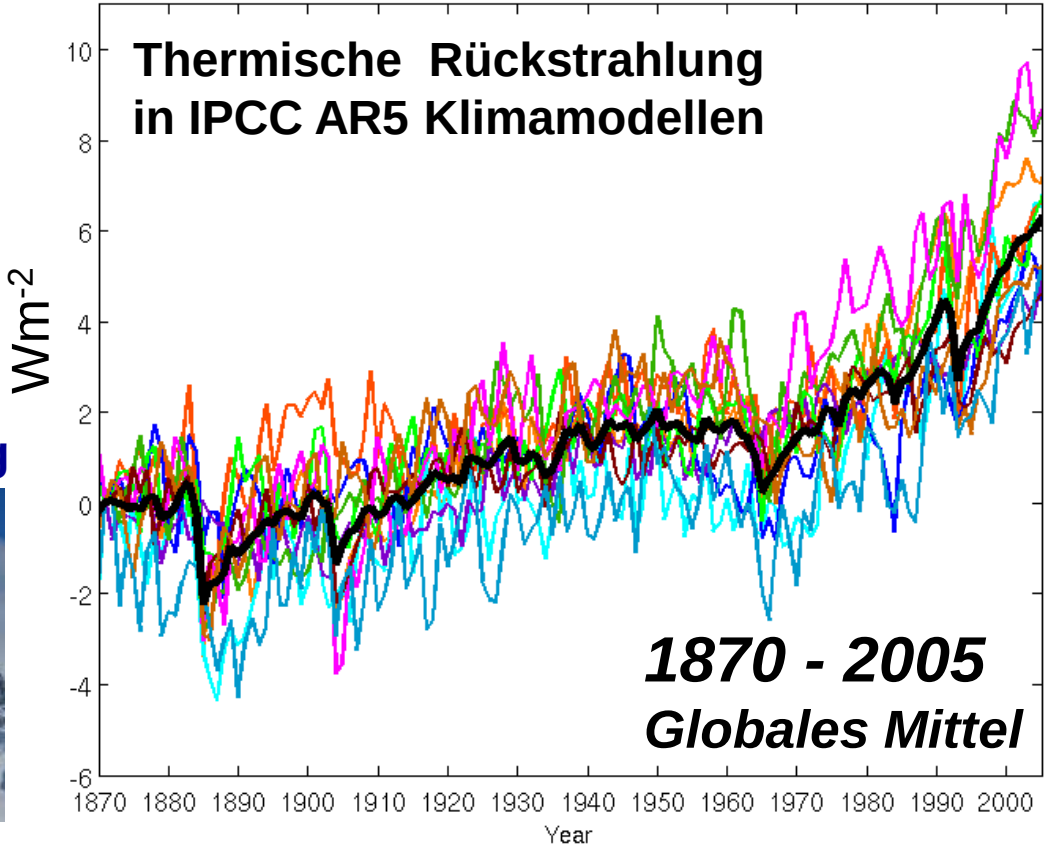
Anstieg an weltweiten Messstationen seit 1992: **+2 Wm^{-2} pro Jahrzehnt**

Anstieg auch messbar im Alpenraum

Treibhauseffekt an der Erdoberfläche: Modelle



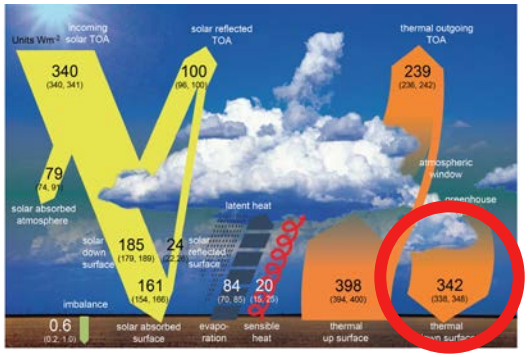
Messungen der Thermischen Rückstrahlung



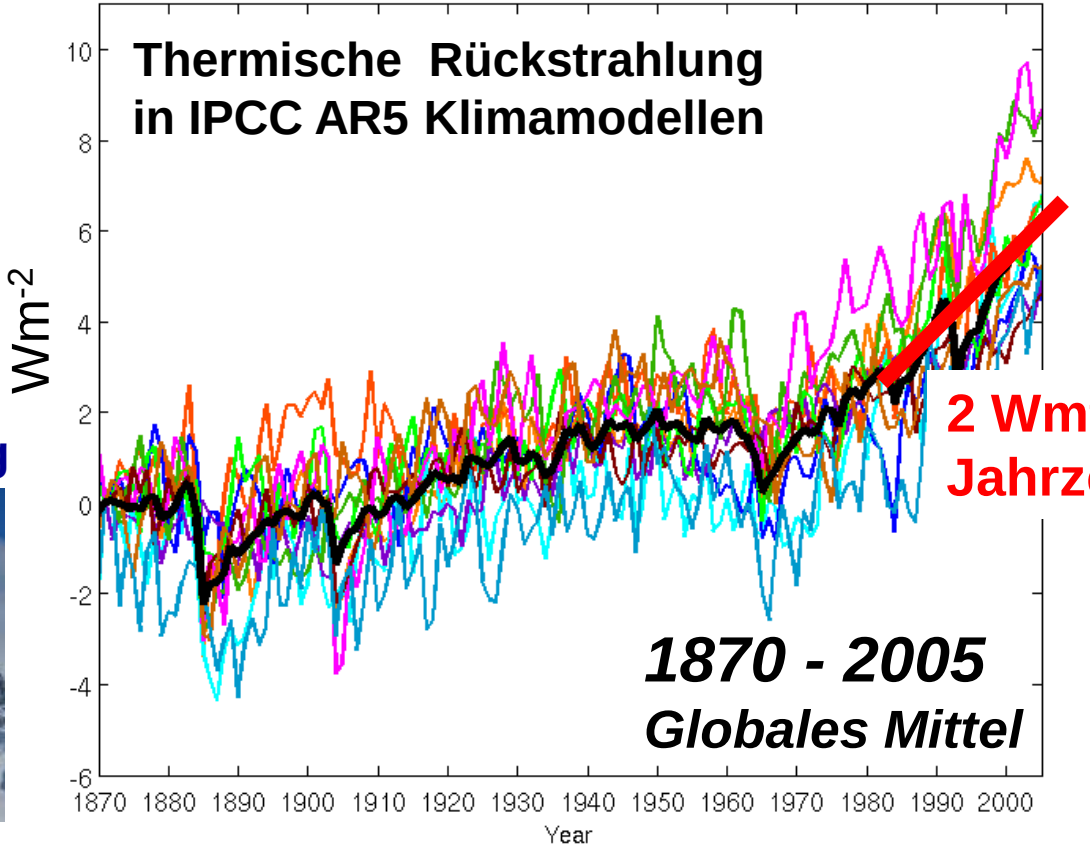
Anstieg an weltweiten Messstationen seit 1992: **+2 Wm^{-2} pro Jahrzehnt**

Anstieg auch messbar im Alpenraum

Treibhauseffekt an der Erdoberfläche: Modelle



Messungen der Thermischen Rückstrahlung



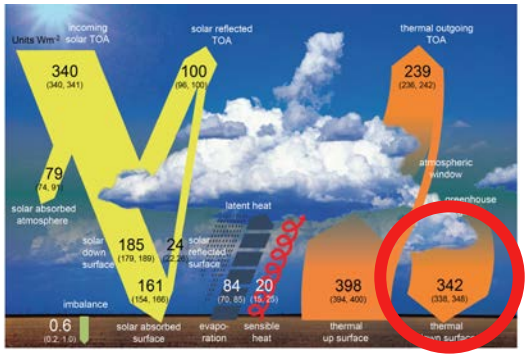
2 Wm^{-2} pro Jahrzehnt

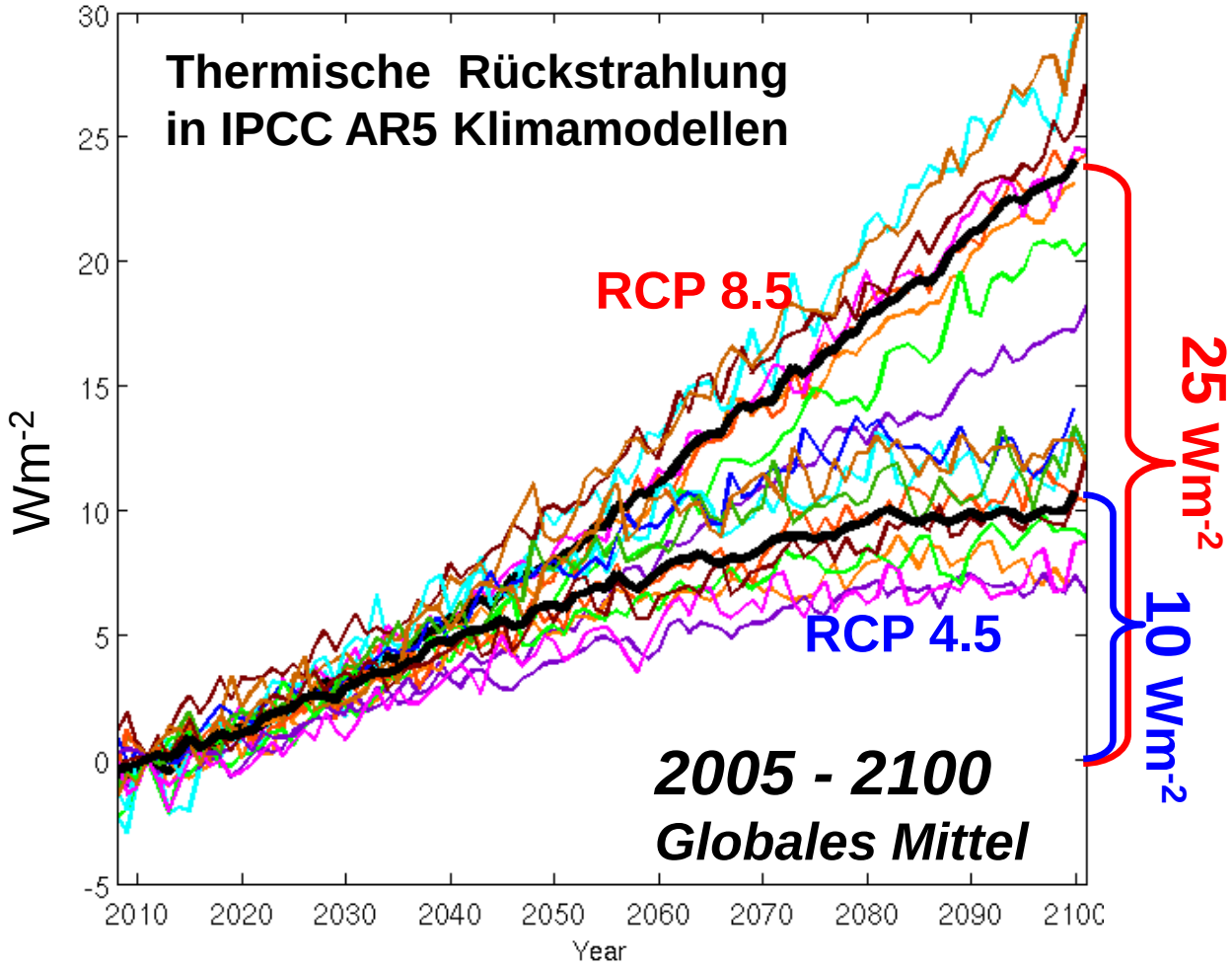
Anstieg an weltweiten Messstationen seit 1992: **+2 Wm^{-2} pro Jahrzehnt**

Anstieg auch messbar im Alpenraum

=> In Einklang mit Modell-prognostiziertem Treibhauseffekt

Treibhauseffekt an der Erdoberfläche: Szenarien

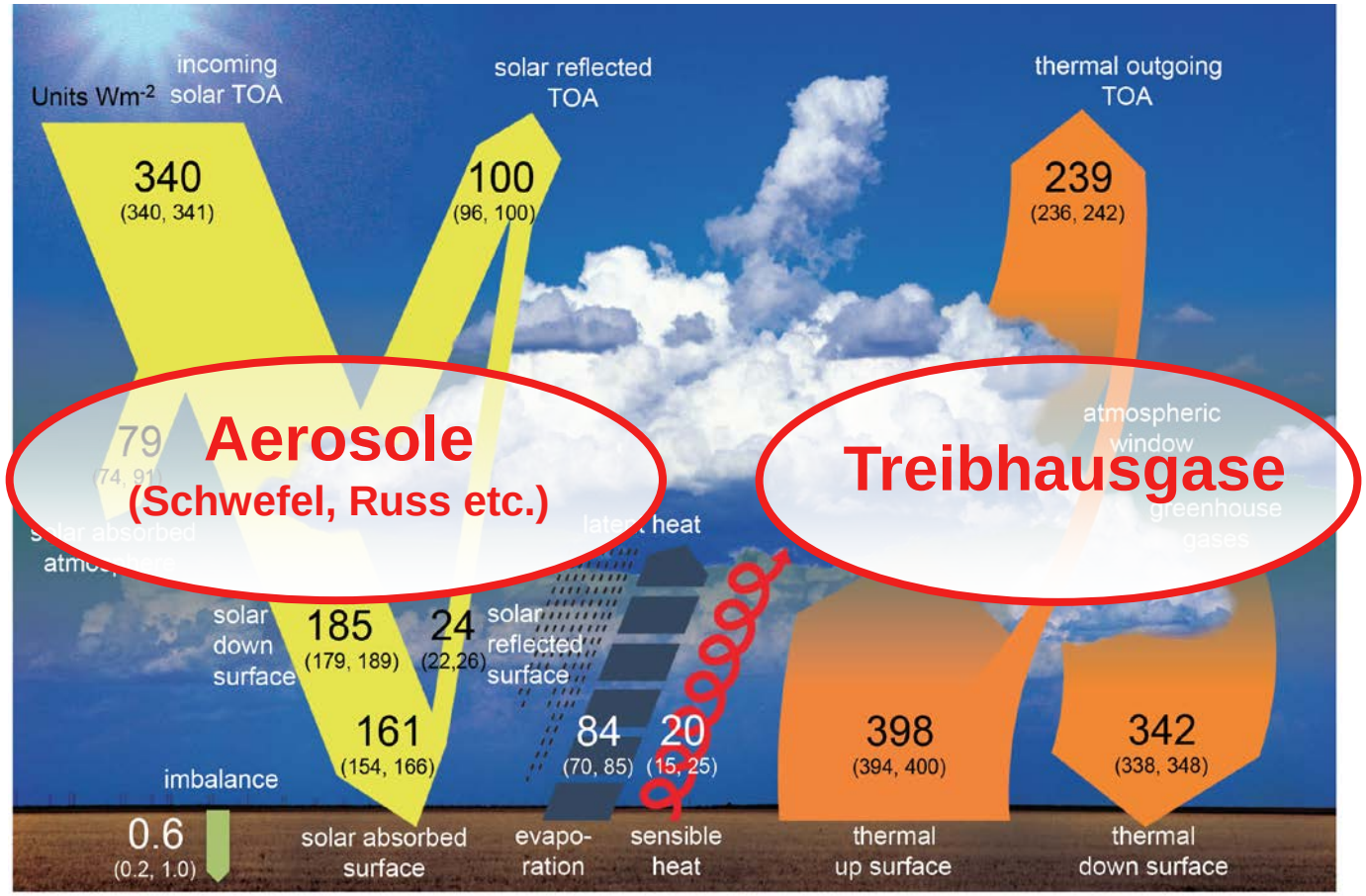




=> Grösste erwartete Aenderung aller Energieflüsse

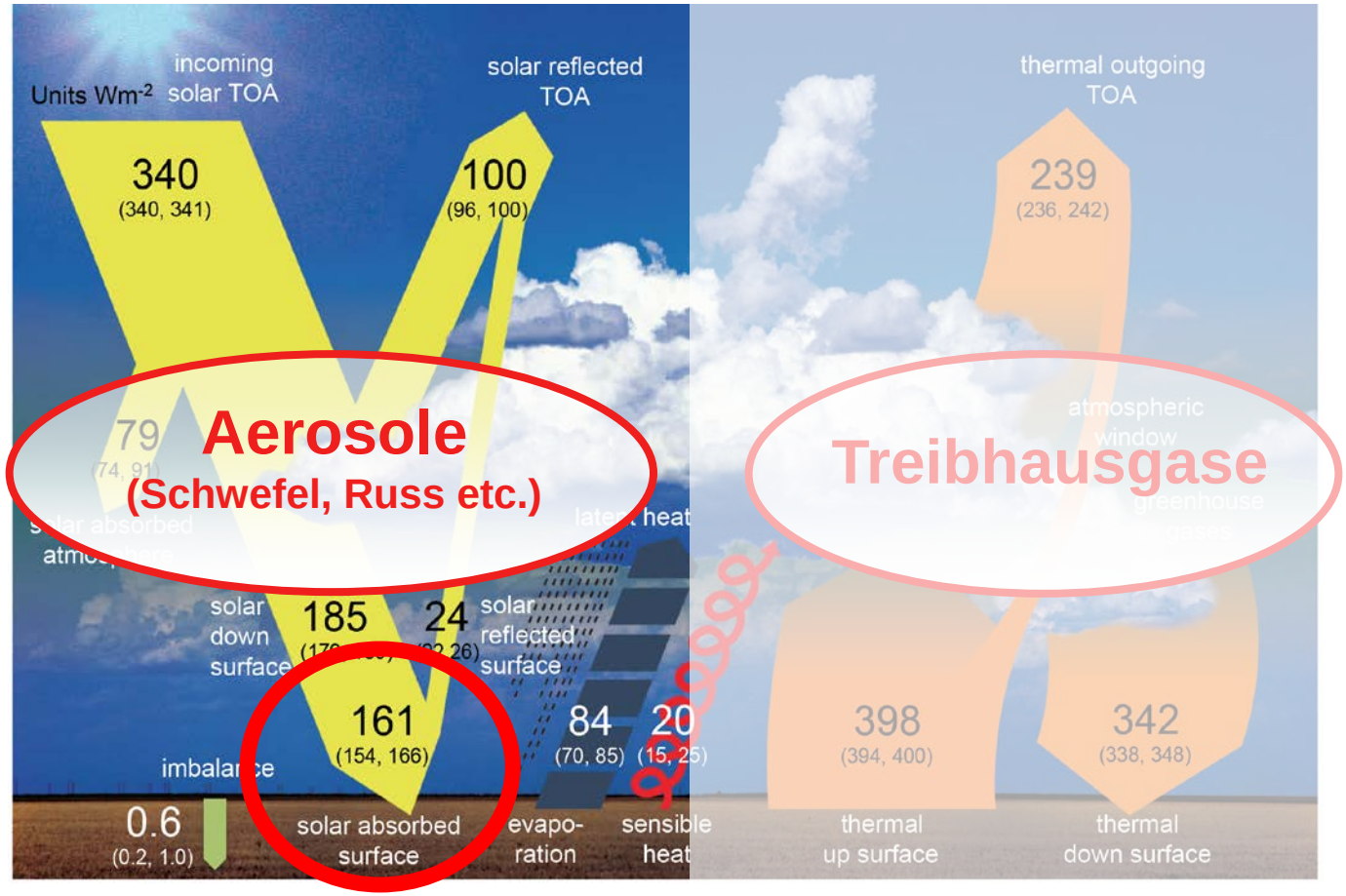
Energiebilanz der Erde

Messbare Änderungen an der Erdoberfläche



Energiebilanz der Erde

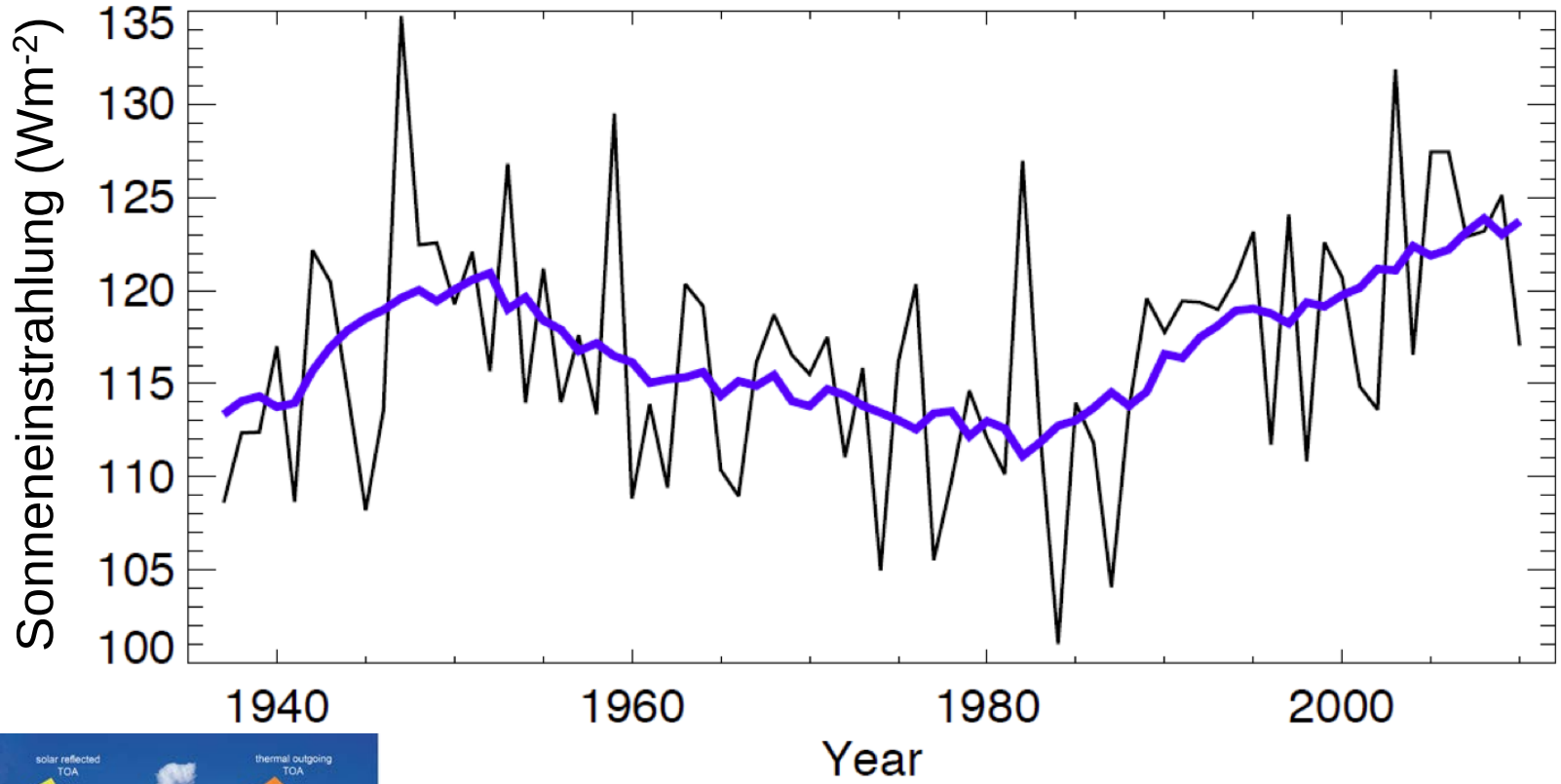
Messbare Änderungen an der Erdoberfläche

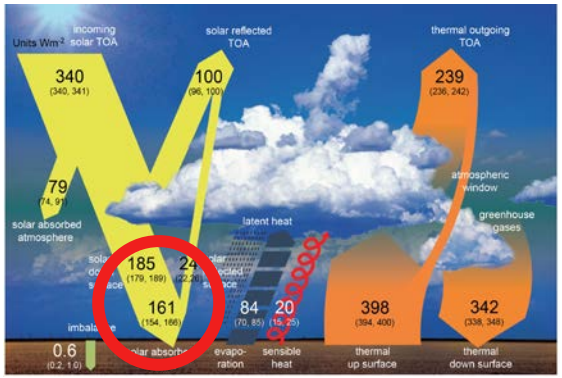


Sonneneinstrahlung am Erdboden

Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche

Potsdam, Deutschland, 1937 – 2010



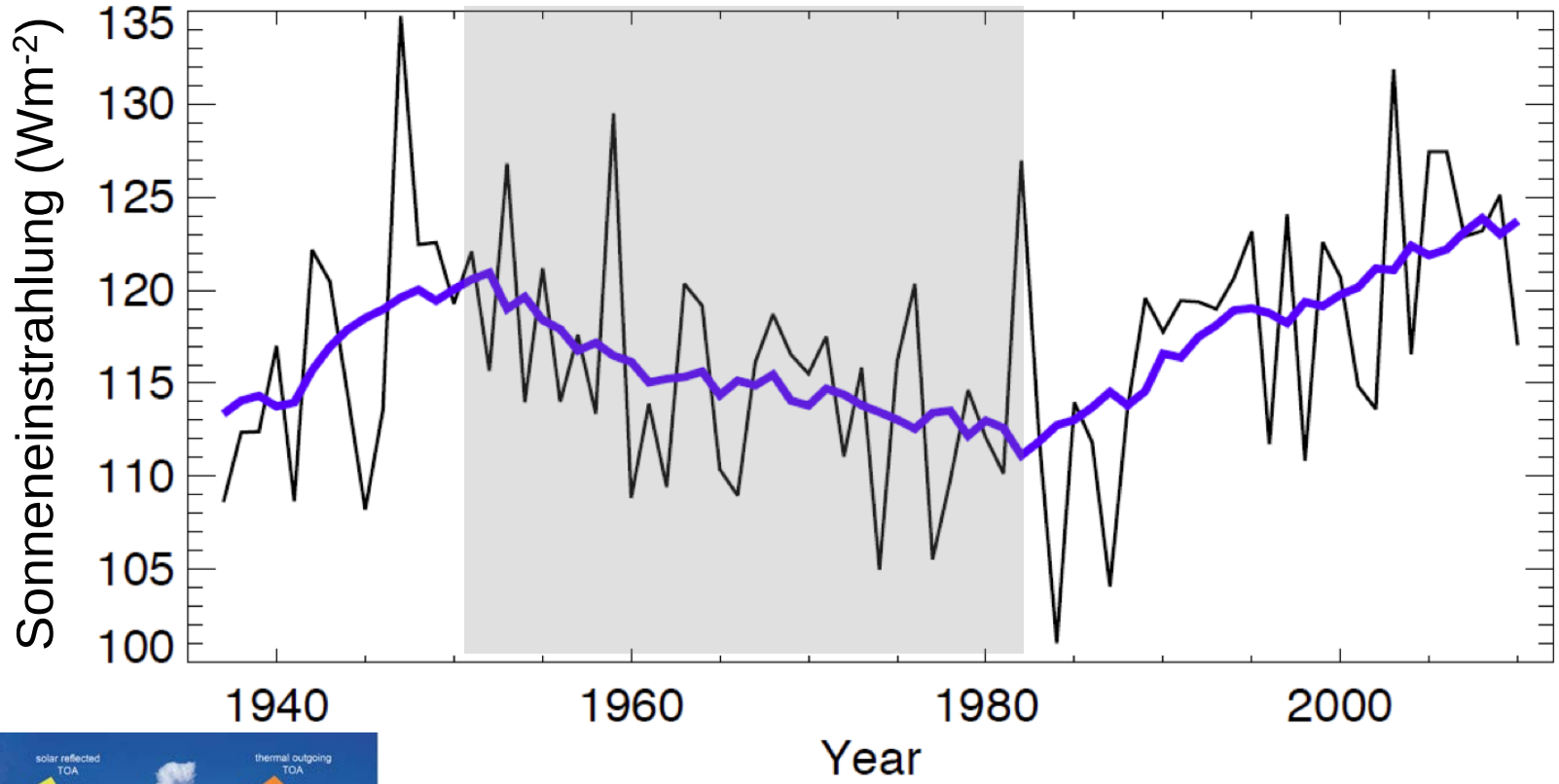


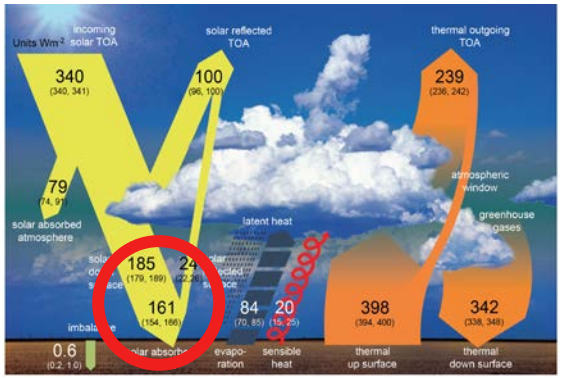
IPCC AR5, Fig. 2.13 (adapted)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche

Potsdam, Deutschland, 1937 – 2010





Abnahme

“dimming”

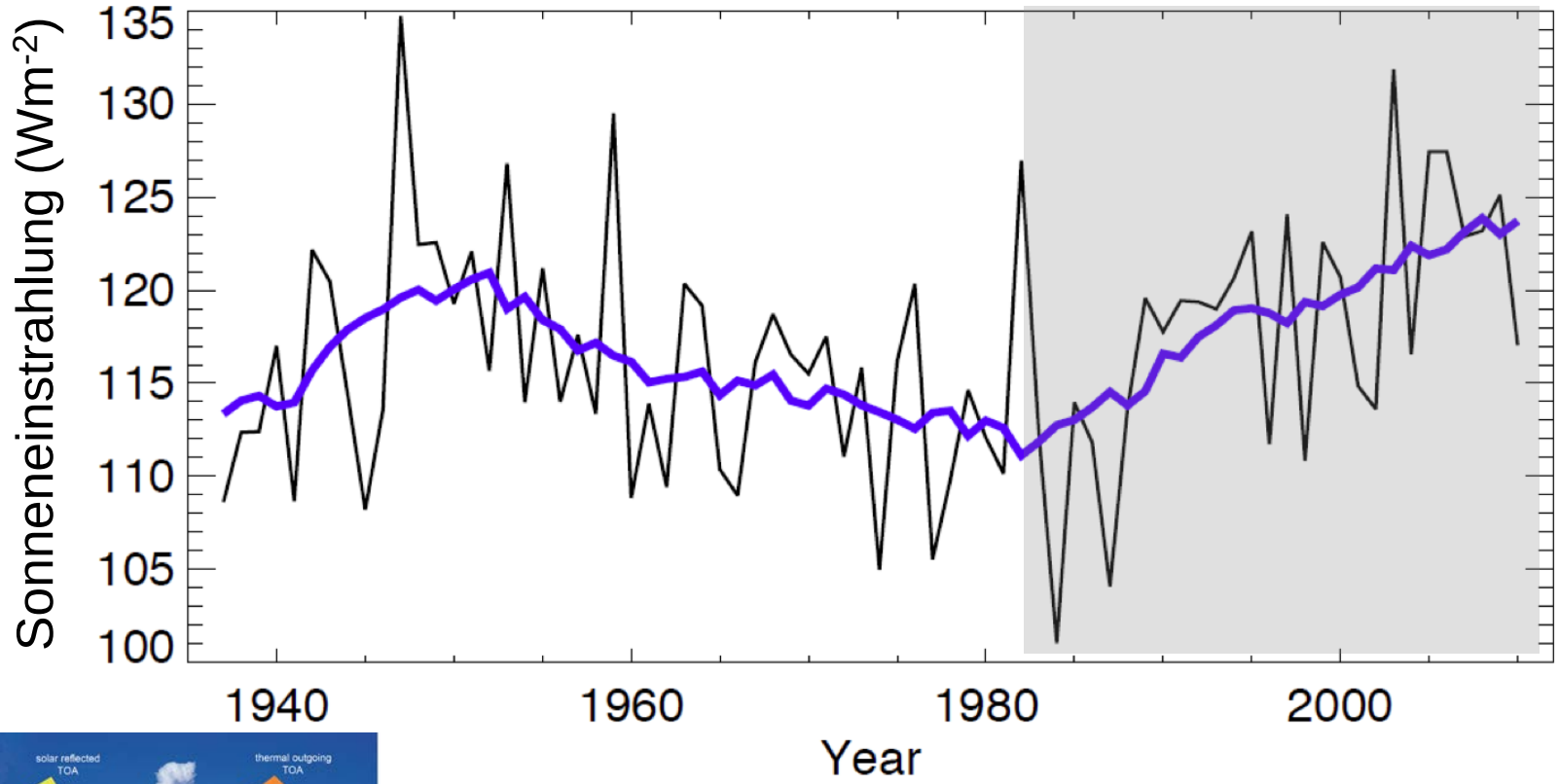
IPCC AR5, Fig. 2.13 (adapted)

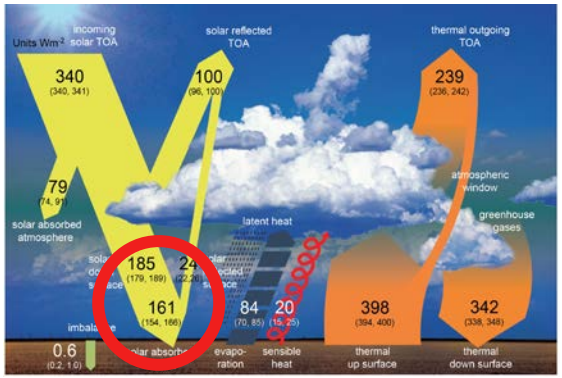
ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

WMO UNEP

Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche

Potsdam, Deutschland, 1937 – 2010





Abnahme
“dimming”

Zunahme
“brightening”

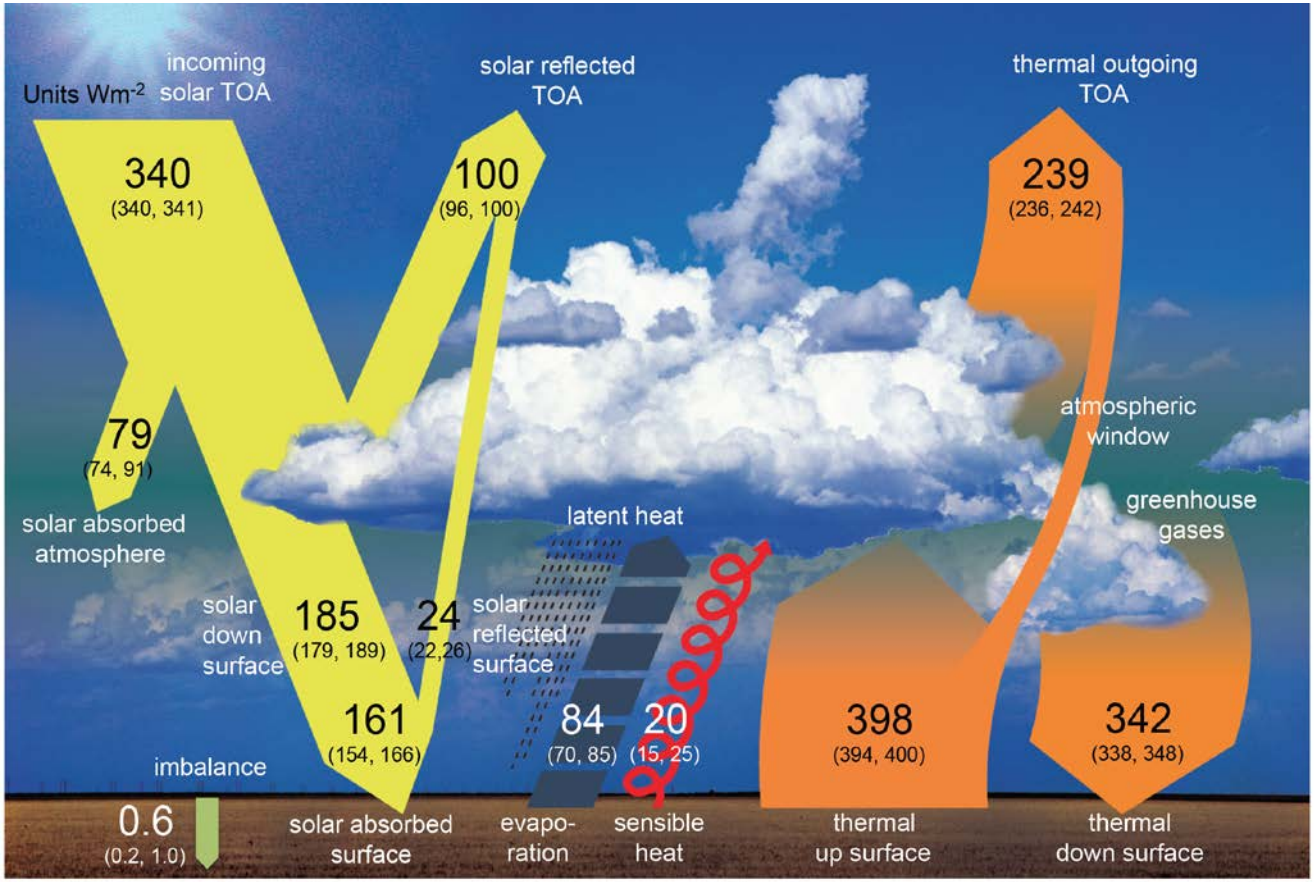
IPCC AR5, Fig. 2.13 (adapted)

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

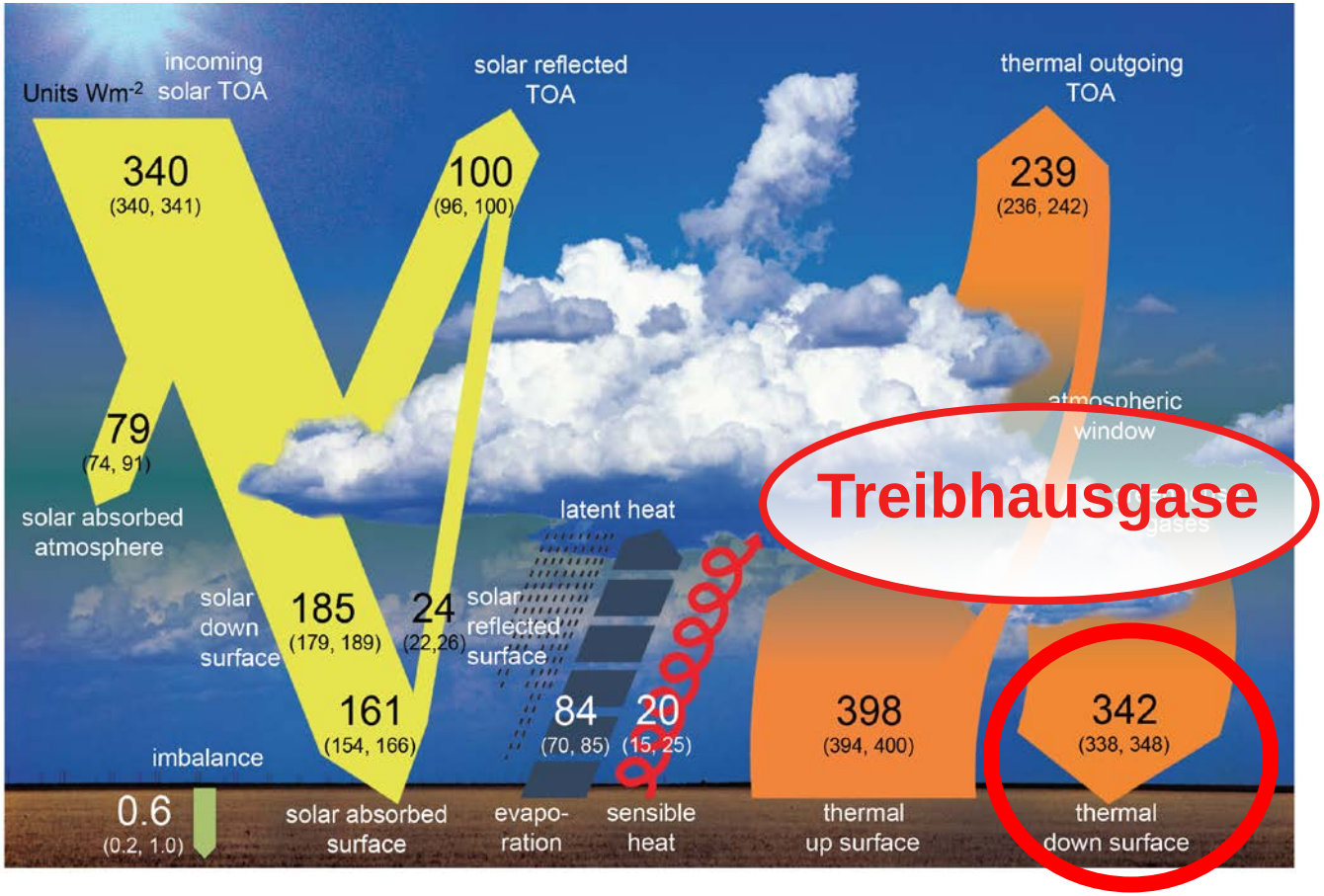
Auswirkungen auf das Bodenklima



ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

Auswirkungen auf das Bodenklima

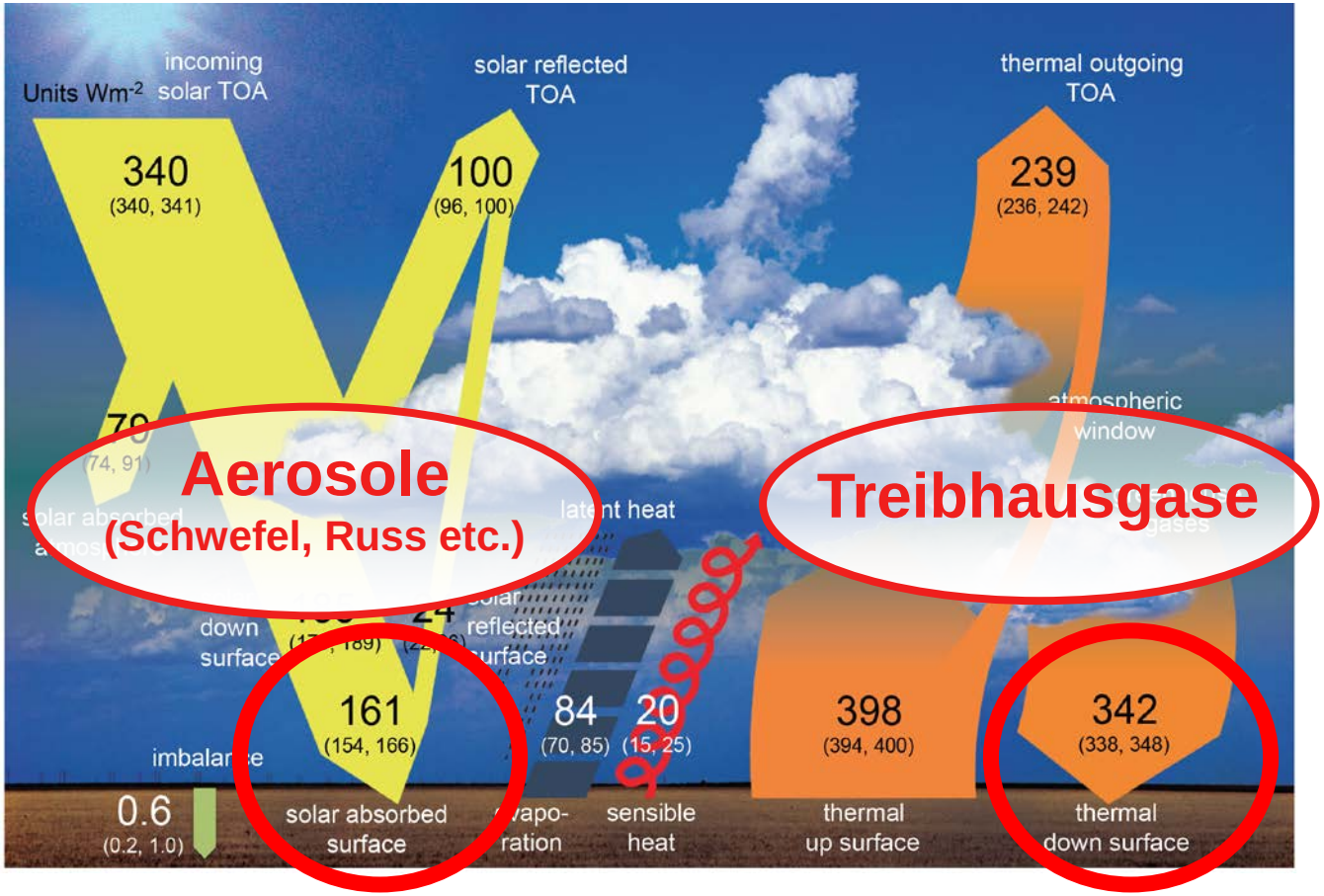


Zunahme

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Energiebilanz der Erde

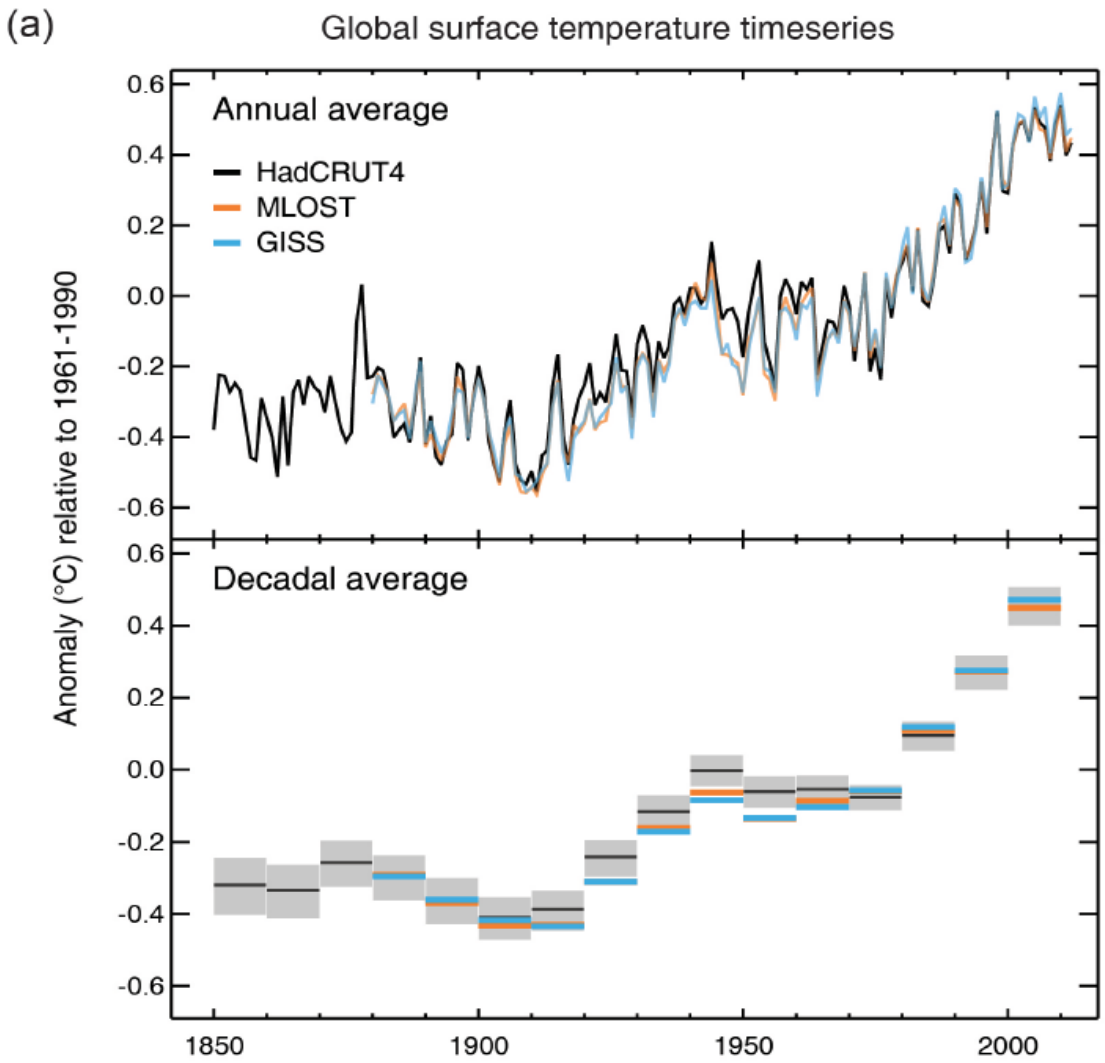
Auswirkungen auf das Bodenklima



Schwankungen über Jahrzehnte

Zunahme

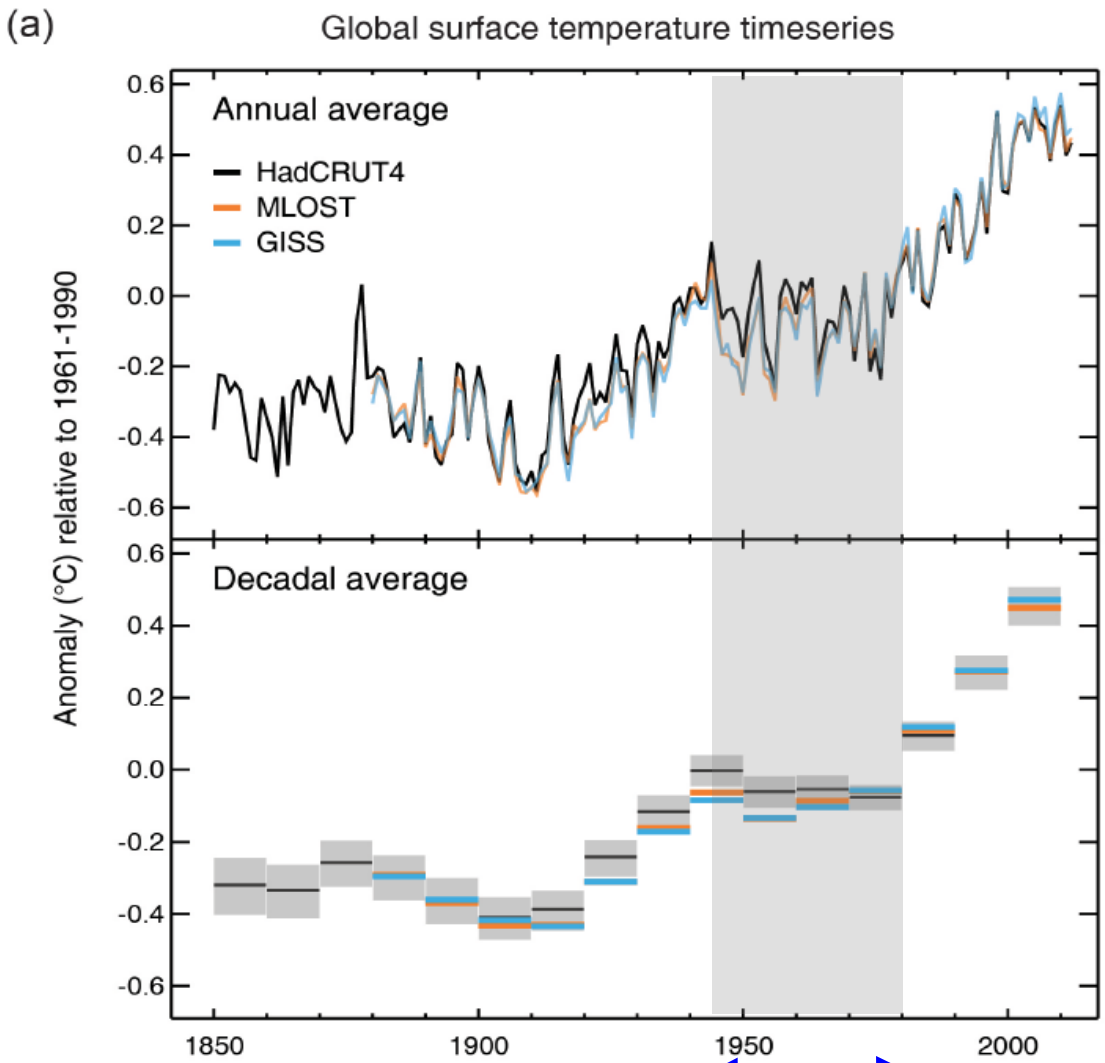
Globale Erwärmung 1850 - 2012



IPCC AR5, Fig. SPM.1

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Globale Erwärmung 1850 - 2012



Abnahme Solarstrahlung
"dimming"

ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Schlussfolgerungen

- Anthropogener Klimawandel: Eingriff des Menschen in die Energie-bilanz der Erde
- Gegenüber AR4 genauere Kenntnisse der Energieflüsse im Klimasystem:
  - Erde ist energetisch nicht im Gleichgewicht, Energieüberschuss hauptsächlich in Ozeanen akkumuliert, Zunahme messbar
  - Von der Erdoberfläche aus ist der zunehmende Treibhauseffekt messbar
  - Auch die Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche variiert über Jahrzehnte, z.T. als Folge der Luftverschmutzung => Auswirkungen auf verschiedenste Klimaelemente

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

CLIMATE CHANGE 2013

The Physical Science Basis

Further Information

www.climatechange2013.org

Working Group I contribution to
the IPCC Fifth Assessment Report

WMO UNEP