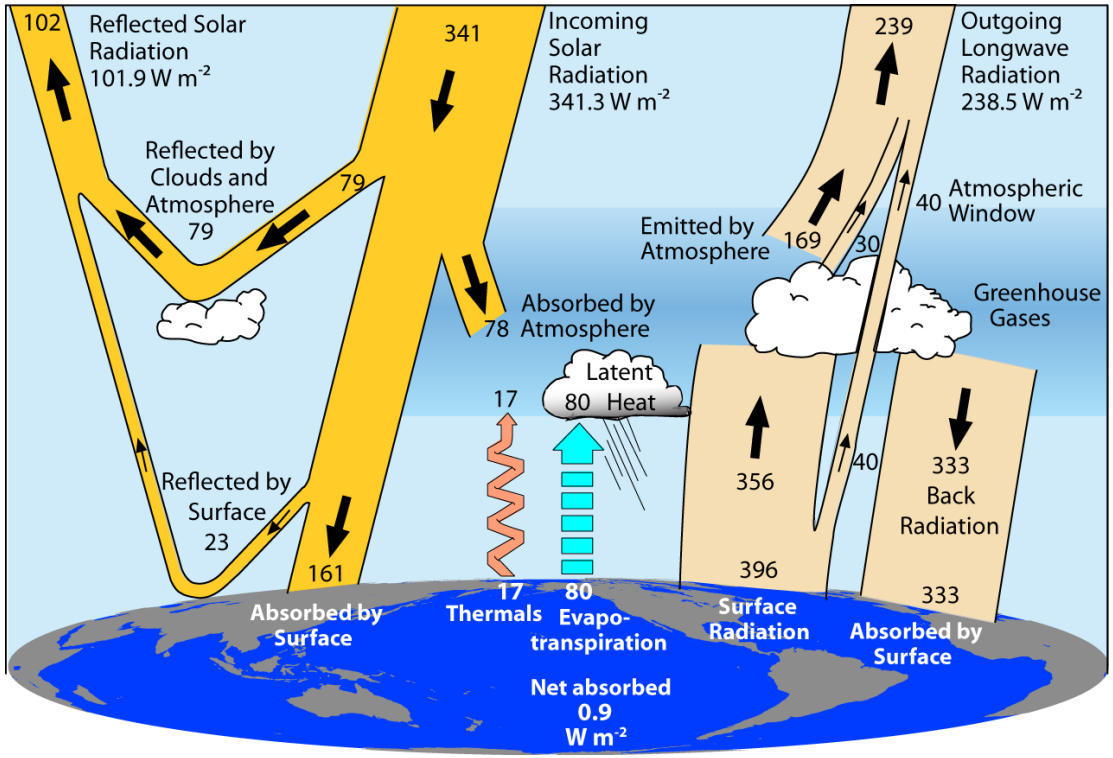
Energiehaushalte des Erdsystems auf globaler und regionaler Skala

Michael Mayer
Leo Haimberger
Marianne Pietschnig
Sebastian Stichelberger

FWF Der Wissenschaftsfonds.
SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME
Copernicus
ECMWF

Global gemittelter Energiehaushalt

- ASR und OLR balancieren sich im globalen Mittel
- Global gemittelter Oberflächenfluss klein (nahe 0)
- Diese Darstellung liefert keinerlei räumliche Information!



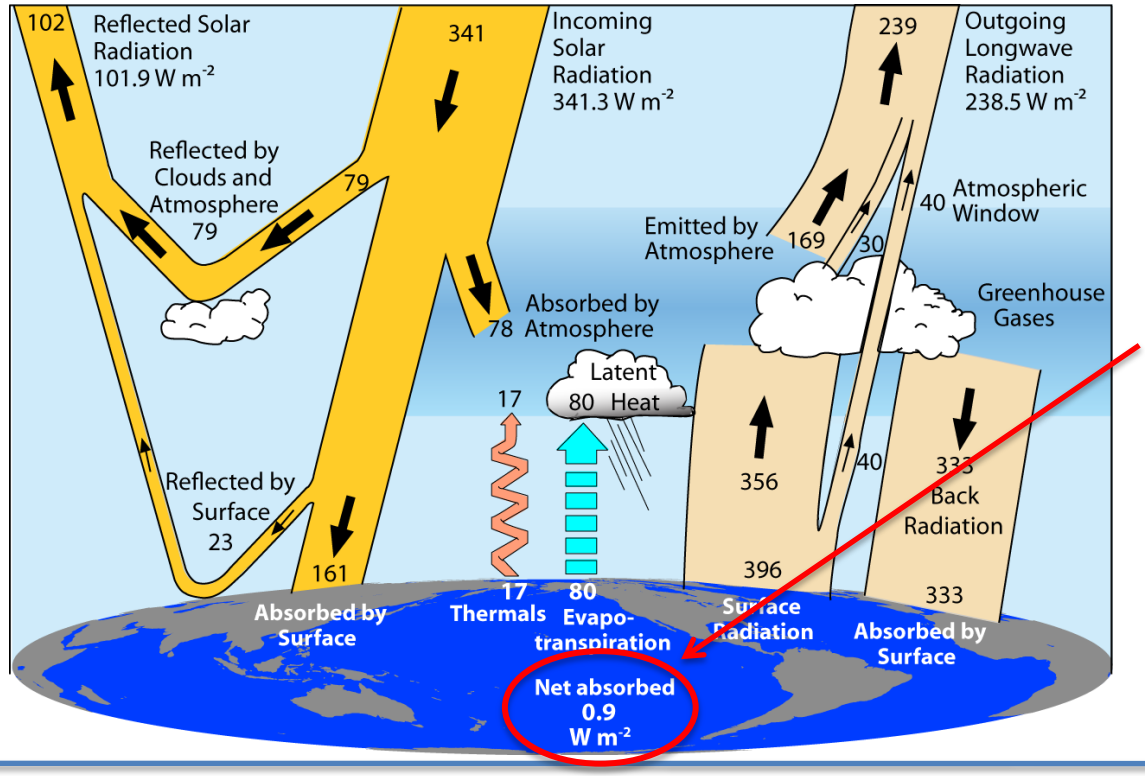
← Top-of-atmosphere (TOA) Sum at TOA ≈ 0

← Sum at surface ≈ 0

Fig. From Trenberth et al. 2009

Global gemittelter Energiehaushalt

- ASR und OLR balancieren sich im globalen Mittel
- Global gemittelter Oberflächenfluss nahe 0
- Diese Darstellung liefert keinerlei räumliche Information!

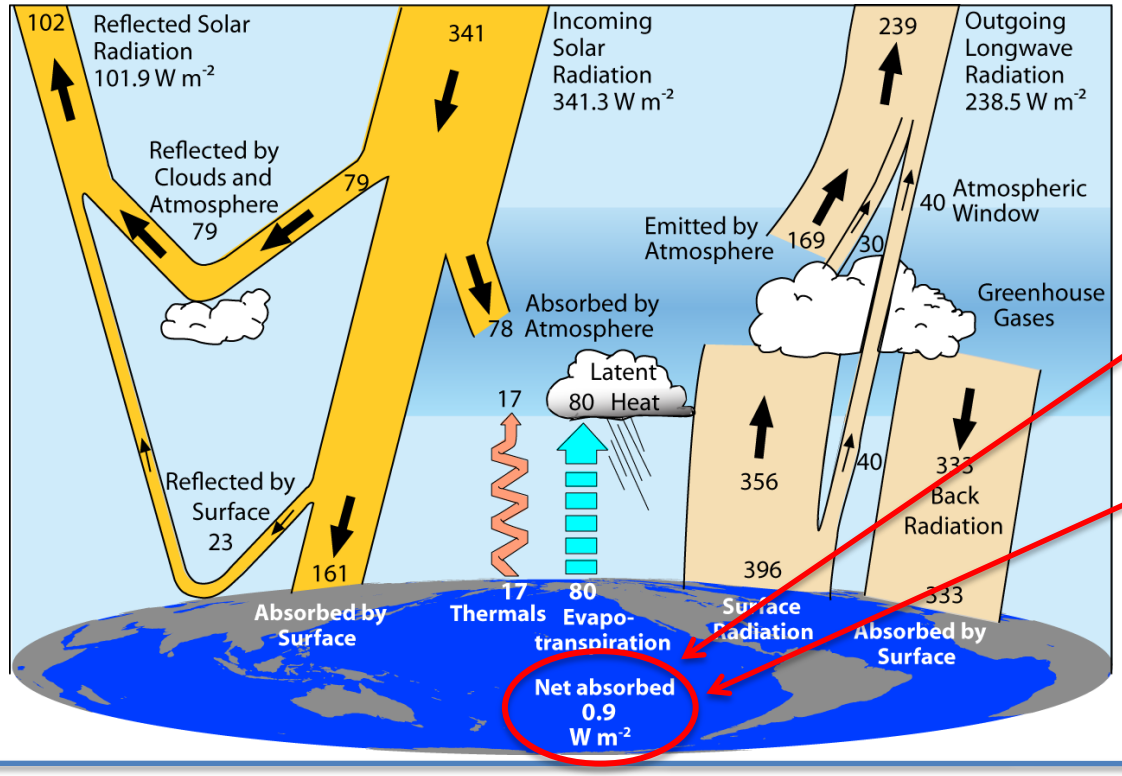


0.84 Wm^{-2} (Balmaseda et al. 2013)

Fig. From Trenberth et al. 2009

Global gemittelter Energiehaushalt

- ASR und OLR balancieren sich im globalen Mittel
- Global gemittelter Oberflächenfluss nahe 0
- Diese Darstellung liefert keinerlei räumliche Information!



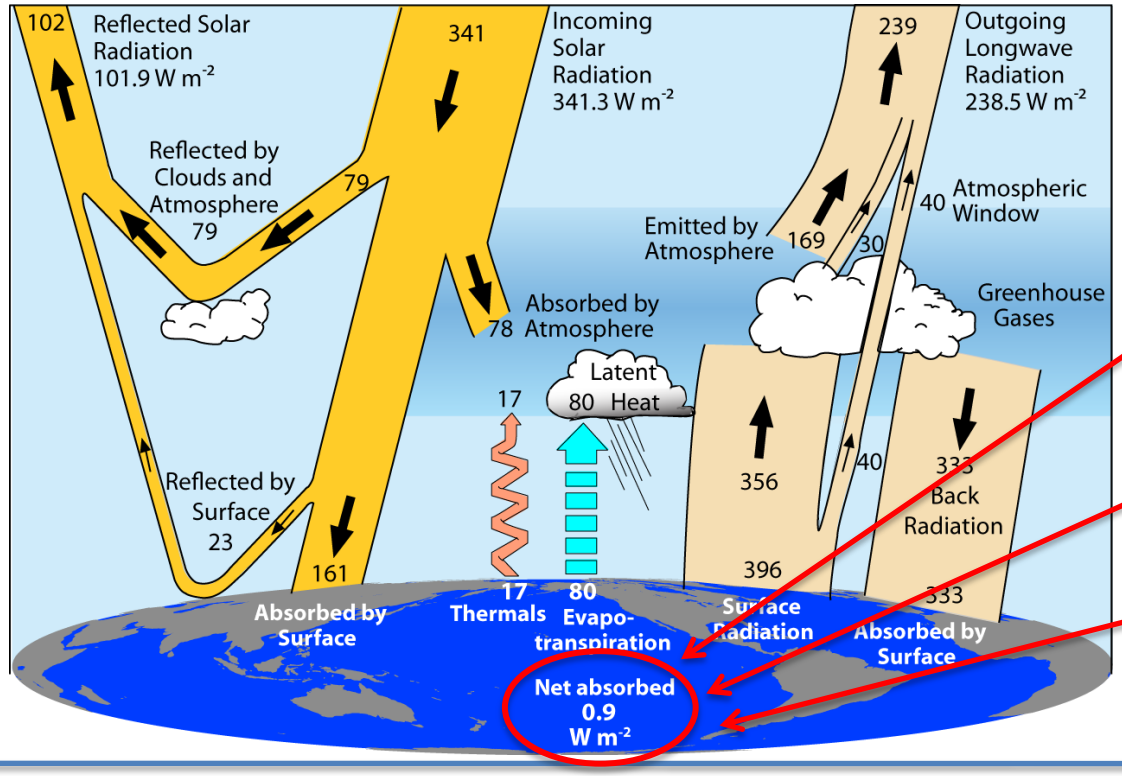
0.84 Wm^{-2} (Balmaseda et al. 2013)

0.9 Wm^{-2} (Trenberth et al. 2016)

Fig. From Trenberth et al. 2009

Global gemittelter Energiehaushalt

- ASR und OLR balancieren sich im globalen Mittel
- Global gemittelter Oberflächenfluss nahe 0
- Diese Darstellung liefert keinerlei räumliche Information!



0.84 Wm^{-2} (Balmaseda et al. 2013)

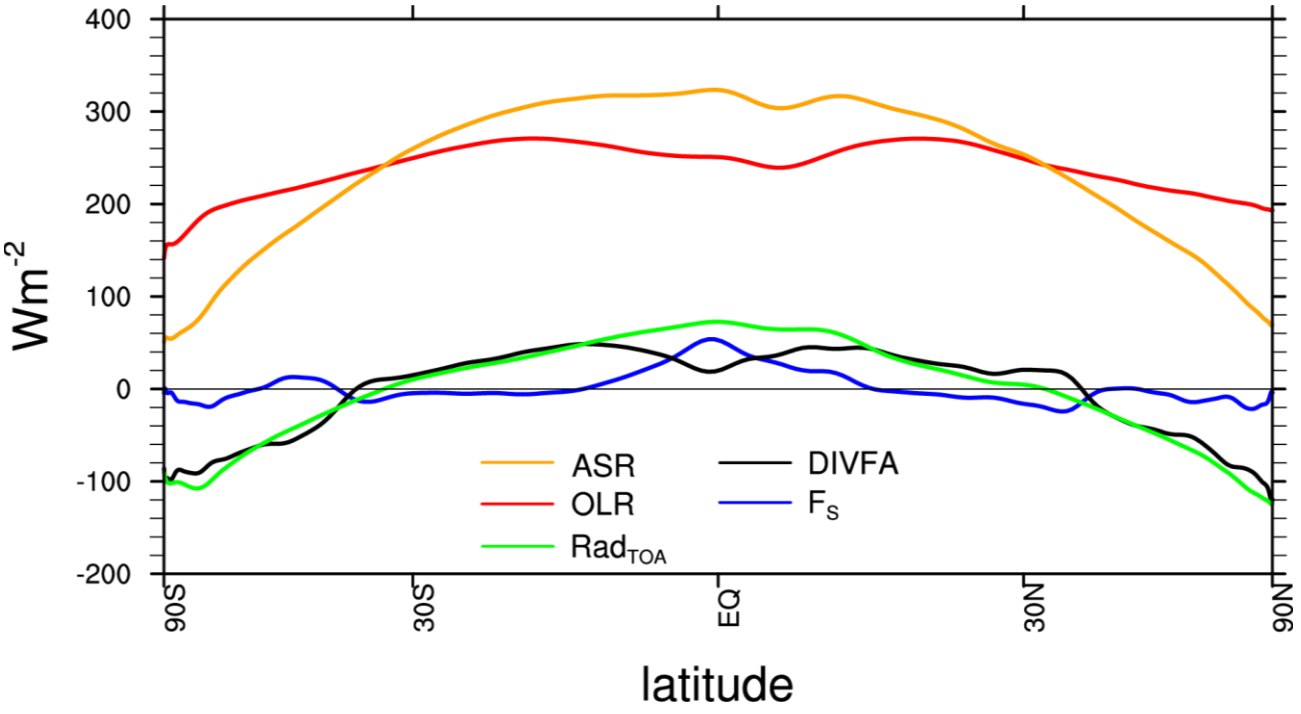
0.9 Wm^{-2} (Trenberth et al. 2016)

0.65 Wm^{-2} (Llovel et al. 2014)

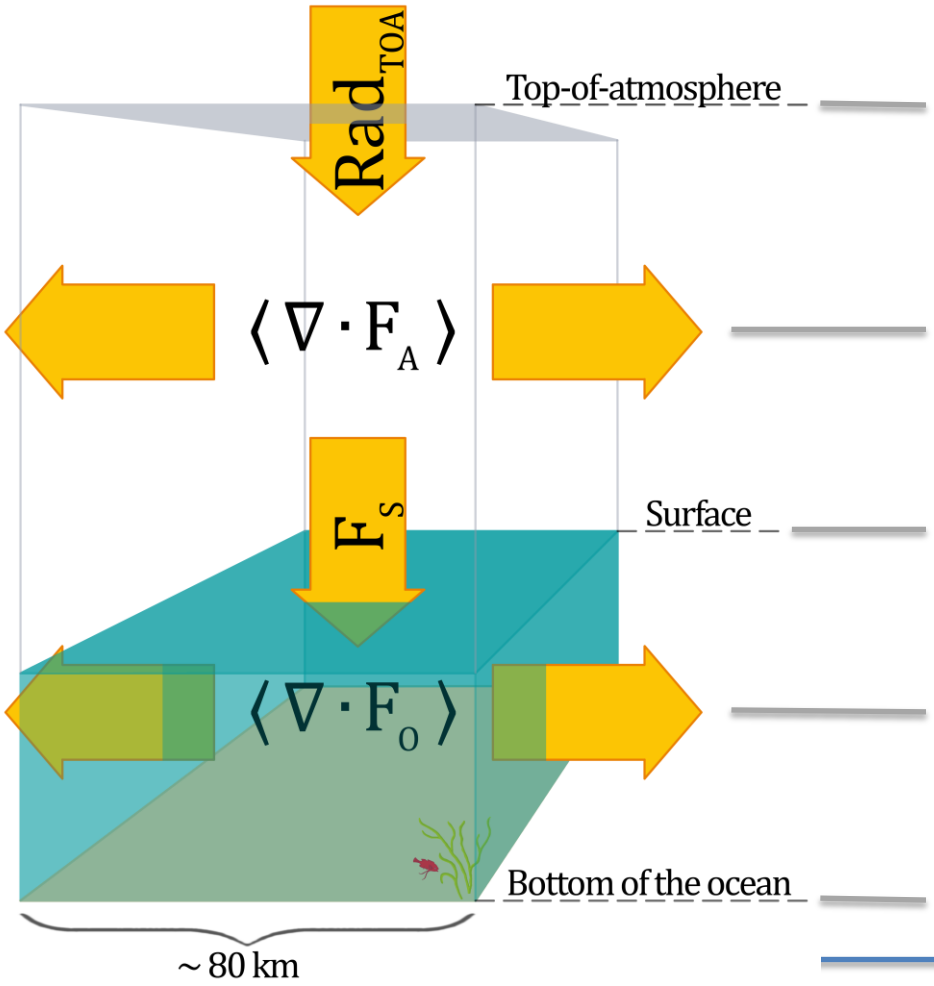
Fig. From Trenberth et al. 2009

Zonal gemittelter Energiehaushalt

- Lokale energetische Imbalance zwischen Oberrand und Oberfläche bedingen lateralen Energietransport
- Wie stark sind diese Transporte? Wie stark variieren sie? Trends?



Boxhaushalt



Nettostrahlung ab Oberrand (TOA)

Divergenz der horizontalen atmosphärischen Energietransporte

Turbulente und Strahlungsflüsse

Divergenz der horizontalen ozeanischen Energietransporte

Fluss durch Ozeanboden nahe 0

Datenquellen

- **Atmosphäre**
  - Strahlung: Satellitendaten (CERES)
  - Energietransporte: Atm. Reanalysen (ERA-Interim, JRA-55,…)
- **Ozean**
  - Wärmetransport und –speicherung: Ozeanreanalysen (C-GLORSv5, ORAS4, ORAP5, ORAS5), in-situ-Messungen
- **Meereis**
  - Eisausdehnung: Satellitendaten (NSIDC, OSI-SAF)
  - Eisvolumen: Ozean-/Meereisreanalysen (C-GLORSv5, ORAS5, PIOMAS)

Datenquellen

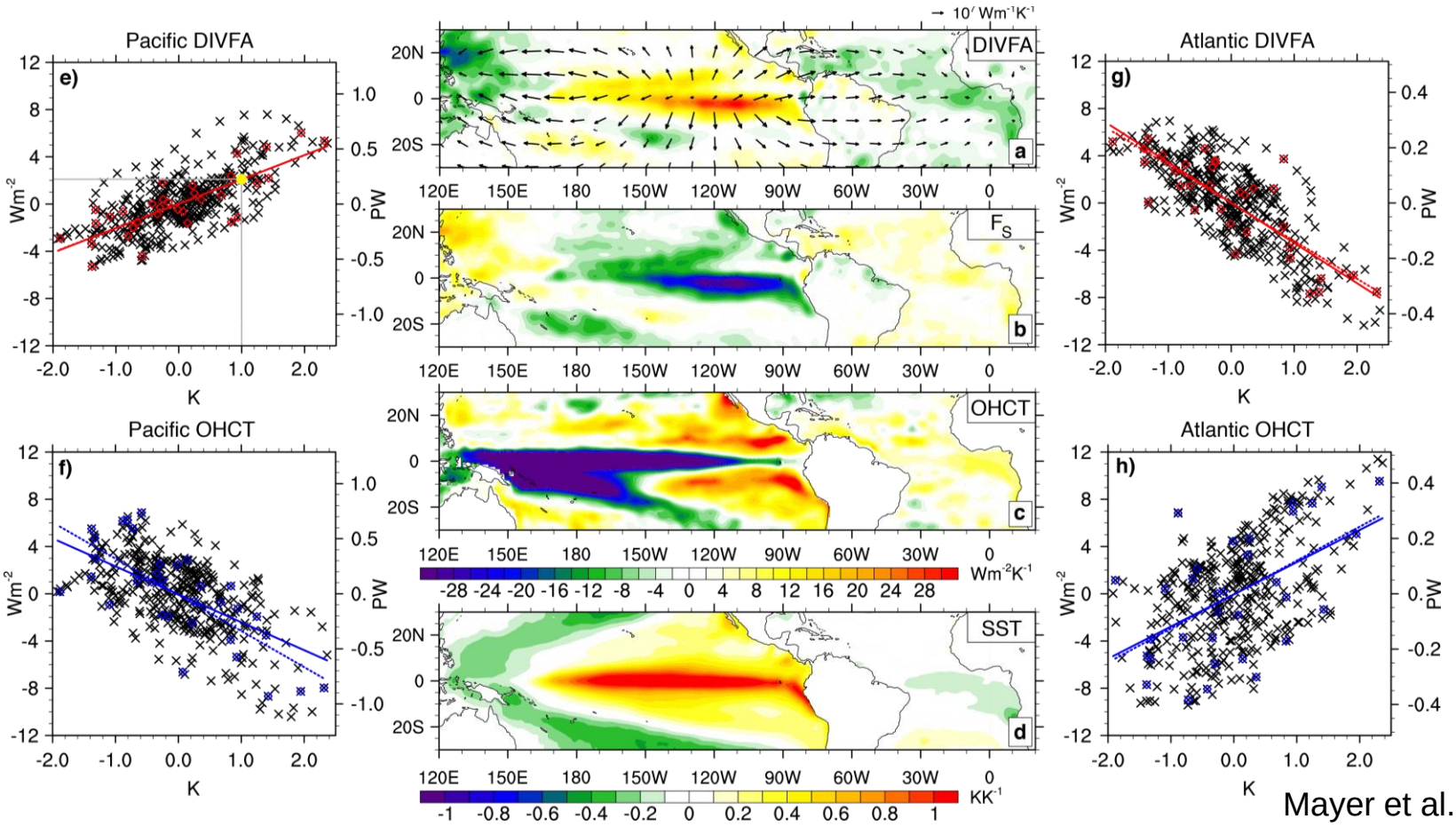
- **Atmosphäre**
  - Strahlung: Satellitendaten (CERES)
  - Energietransporte: **Atm. Reanalysen** (ERA-Interim, JRA-55,…)
- **Ozean**
  - Wärmetransport und –speicherung: **Ozeanreanalysen** (C-GLORSv5, ORAS4, ORAP5, ORAS5), in-situ-Messungen
- **Meereis**
  - Eisausdehnung: Satellitendaten (NSIDC, OSI-SAF)
  - Eisvolumen: **Ozean-/Meereisreanalysen** (C-GLORSv5, ORAS5, PIOMAS)

→ **Reanalysen sind wichtige Datenquellen für alle Klimasubsysteme**

Anwendung I:
El Niño – Southern Oscillation (ENSO)

Tropischer Energiehaushalt während ENSO

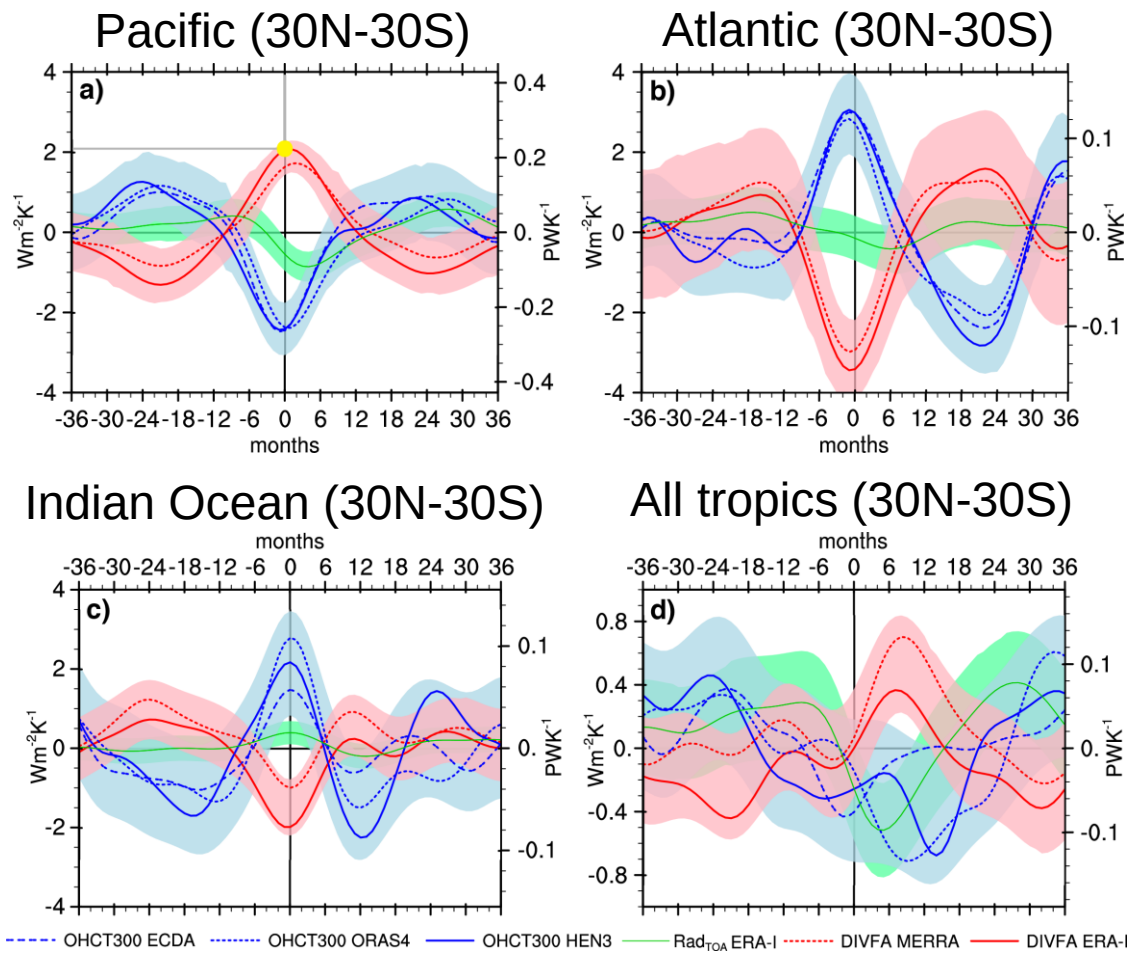
- Balance zwischen atm. Horizontaltransport und ozeanischer Speicherung



Mayer et al. (2014)

Regressionsanalyse für alle Ozeanbecken

- In allen Ozeanbecken Balance vorwiegend zwischen DIVFA, Rad_{TOA} und OHCT
- Gute Übereinstimmung verschiedener Datensätze
- Unsicherheit im Indik am größten
- Unsicherheiten akkumulieren im zonalen Mittel

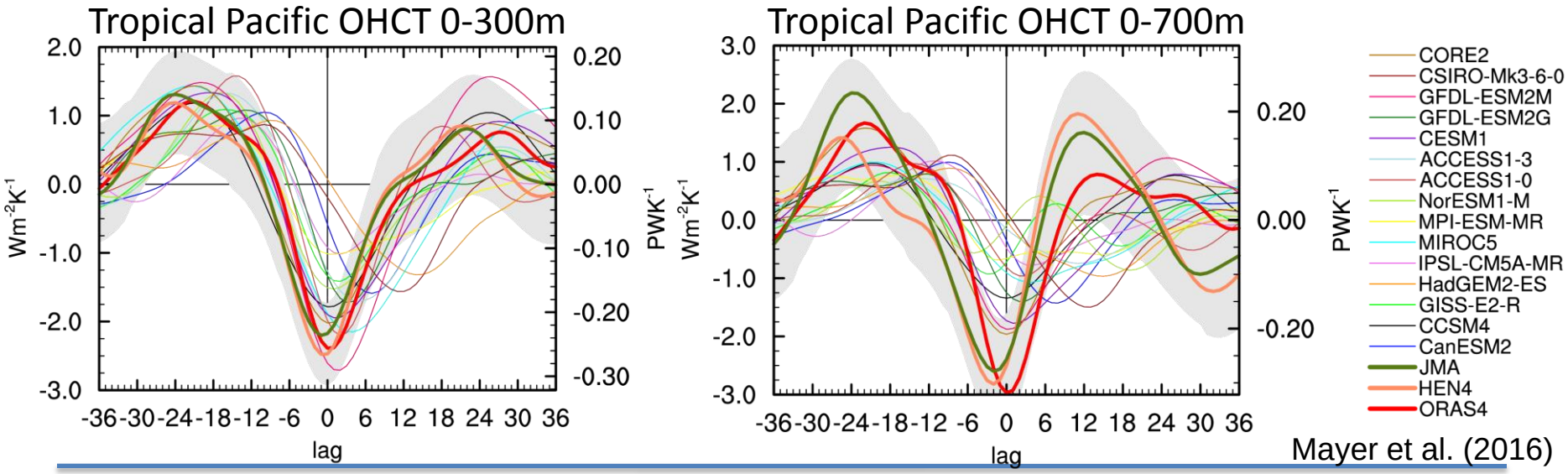


Mayer et al. (2014)

ENSO in CMIP5-Modellen

- OHCT in **oberen 300m** vs N3.4 okay in 50% der Modelle
- OHCT in **oberen 700m** vs N3.4 von Modellen deutlich unterschätzt
- CMIP5-Modelle verteilen die Energie eher um als sie an die Atmosphäre abzugeben

→ Wie realistisch sind regionale Variabilität und Trends von OHC in Klimamodellen?

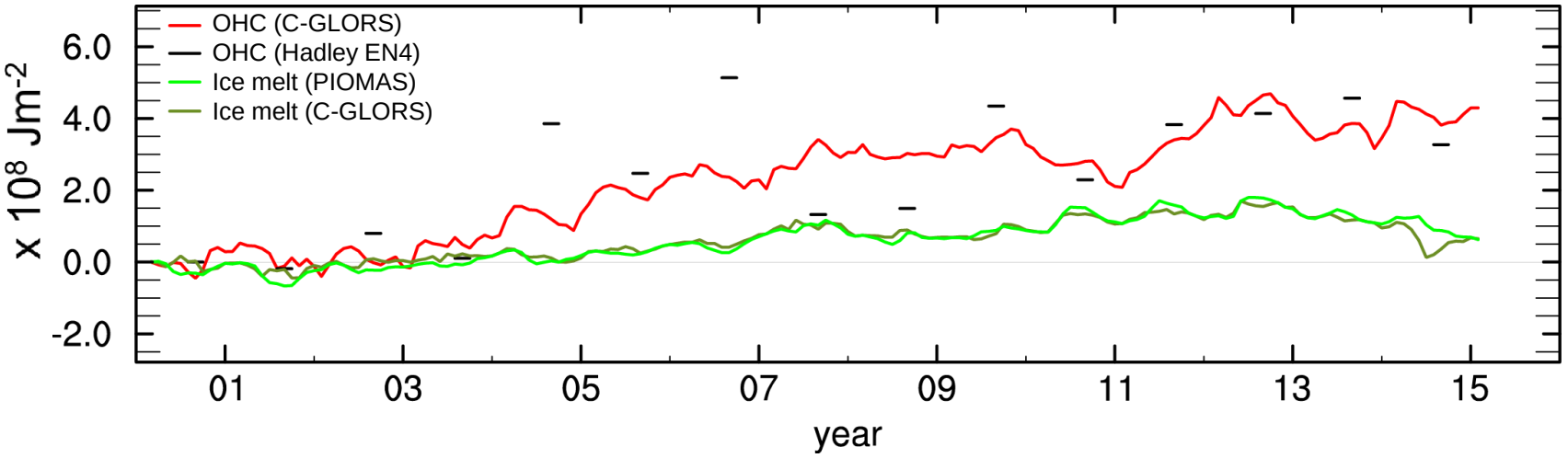


Mayer et al. (2016)

Anwendung II:
Klimawandel in der Arktis

Rezente Trends auf jährlicher Basis

- Akkumulierte Energie der arktischen Polkappe (70N-90N)

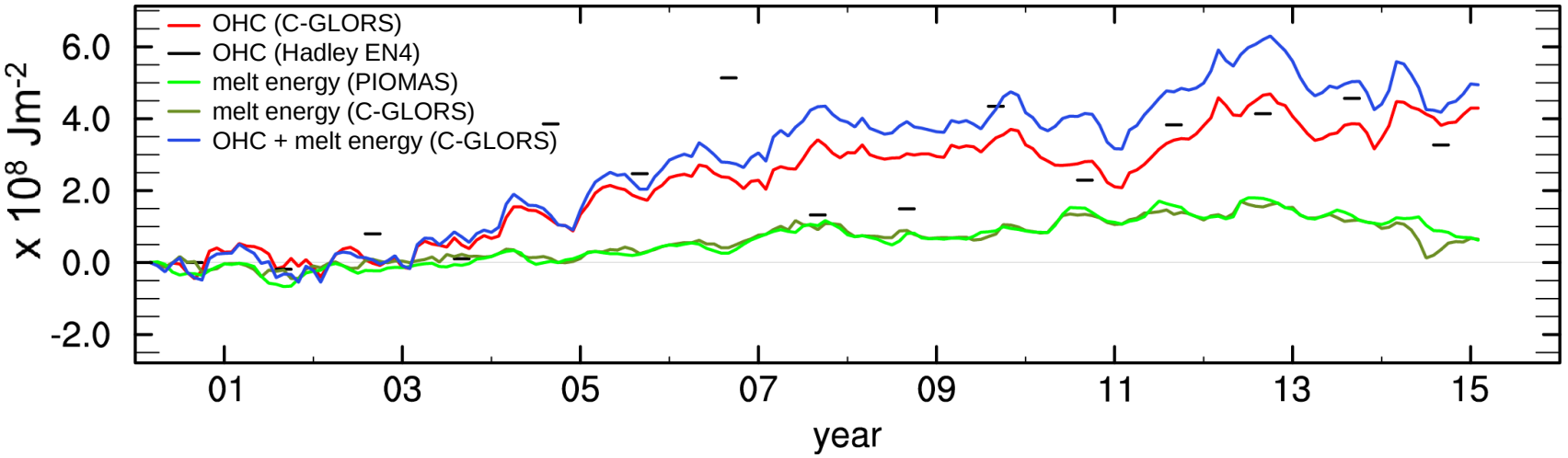


- Starker Aufwärtstrend in OHC
- in-situ basierter OHC (Hadley EN4) sehr “wackelig”
- Vergleichsweise wenig Energie wird für Eisschmelze verwendet

Mayer et al. (2016)

Rezente Trends auf jährlicher Basis

- Akkumulierte Energie der arktischen Polkappe (70N-90N)



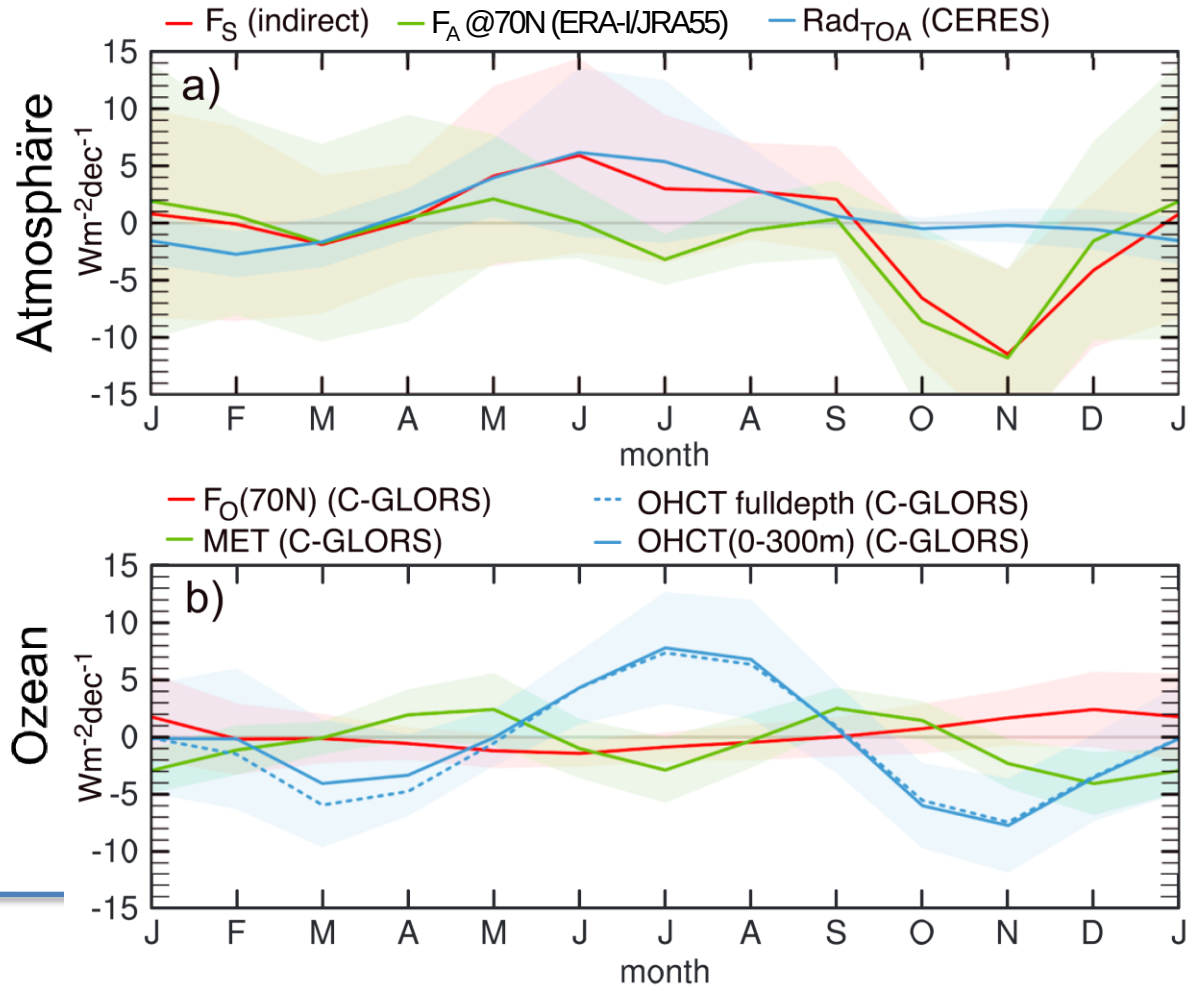
- Starker Aufwärtstrend in OHC
- in-situ basierter OHC (Hadley EN4) sehr “wackelig”
- Vergleichsweise wenig Energie wird für Eisschmelze verwendet
- Energieakkumulation entspricht ~0.7Wm^{-2} → nahe dem global Mittel!

  → “Arctic amplification” nur ein Oberflächenphänomen?

Mayer et al. (2016)

Saisonale Trends 2000/03 – 2015/02

- Klare Trends in Strahlung, atmosphärischen Transporten, ozeanischer Wärmespeicherung → Amplifizierung des Jahresganges

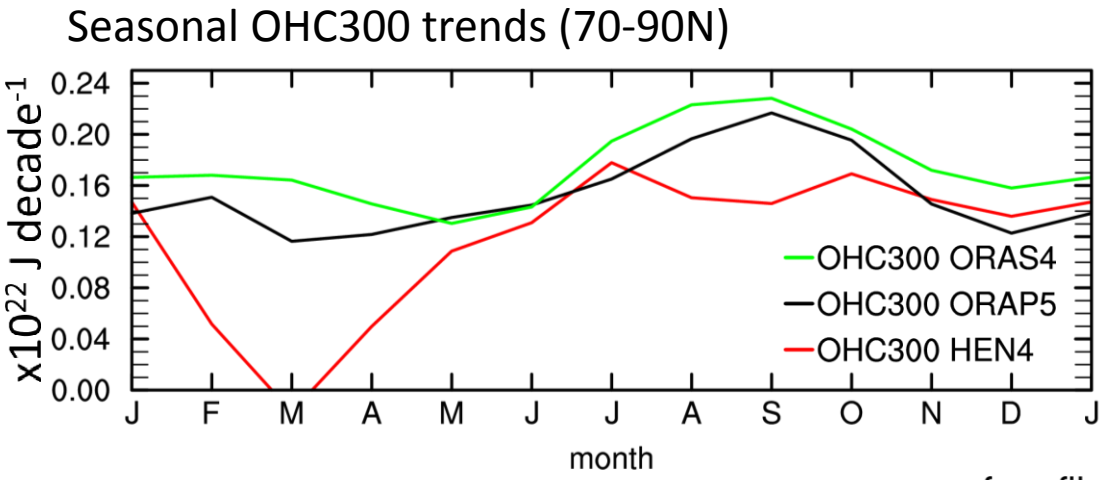
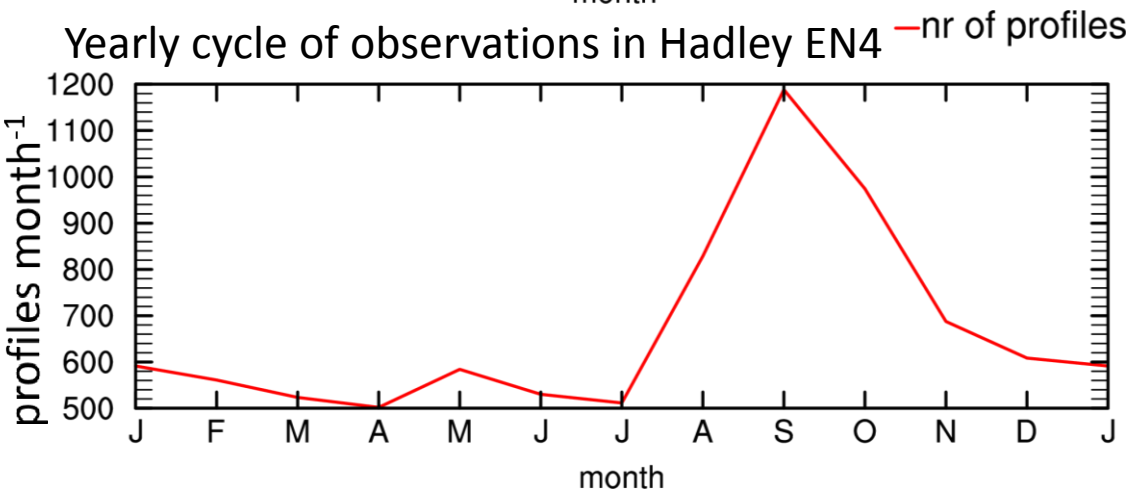


Mayer et al. (2016)

Zusammenfassung

- Haushaltsdiagnostiken helfen, das Klima zu quantifizieren
  - → Wie groß ist die energetische Imbalanz des Klimasystems?
  - → Wie viel Energie verliert der Pazifik während El Nino? Was passiert mit ihr in der Folge?
  - → Akkumuliert Energie in der Arktis schneller als in anderen Regionen?

- Haushaltsdiagnostiken helfen, Datensätze zu validieren
  - → Wie gut reproduzieren Klimamodelle beobachtete Energieflüsse?
  - → Zeitliche Homogenität, Konsistenz zwischen Reanalysen

Saisonale Trends im arktischen Ozean (70N-90N) 2000-2014

- Relativ gute Übereinstimmung der Trends im Herbst
- Hadley EN4 zeigt keine Trends im Frühling, weil Beobachtungen fehlen!