Theorie und Modellierung am IAP

Erich Becker
Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik (IAP)

Im Obergeschoss:

Wellen,Turbulenz, Strahlung und Chemie
Klima und Ozon

Themen und Mitarbeiter der Abteilung Theorie und Modellierung

Schwerewellen und Turbulenz:
Ch. Zülicke, U. Schäfer-Rolffs, S. Brune, F. Senf, E. Becker

globale Zirkulation, Rossby-Wellen, thermische Gezeiten:
A. Gabriel, D. Peters, Ch. Zülicke, F. Senf, R. Knöpfel, E. Becker

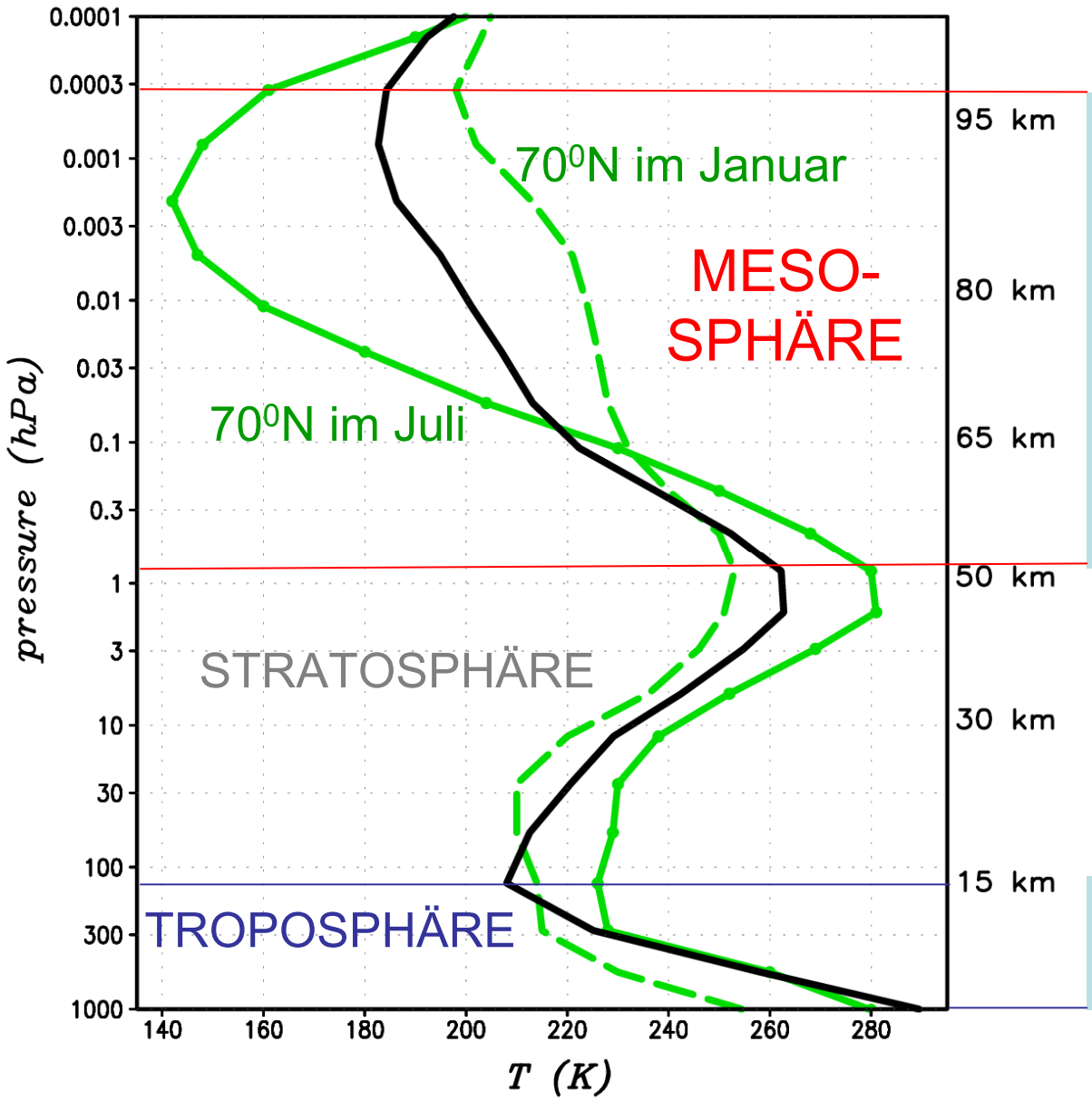
Rossby-Wellen und Ozon:
D. Peters, A. Gabriel, Ch. Zülicke, P. Vagin (Gast)

Strahlung und Chemie gekoppelt mit Dynamik:
R. Knöpfel, M. Grygalashvyly, E. Becker

technische Mitarbeiterinnen:
H. Voß, B. Wecke und C. Schütt

Übergeordnete Thematik:
Prozessverständnis der Physik der gesamten Atmosphäre vom Boden bis über 100 km Höhe mit Schwerpunkt auf **Dynamik** (= Strömungsmechanik der Atmosphäre)

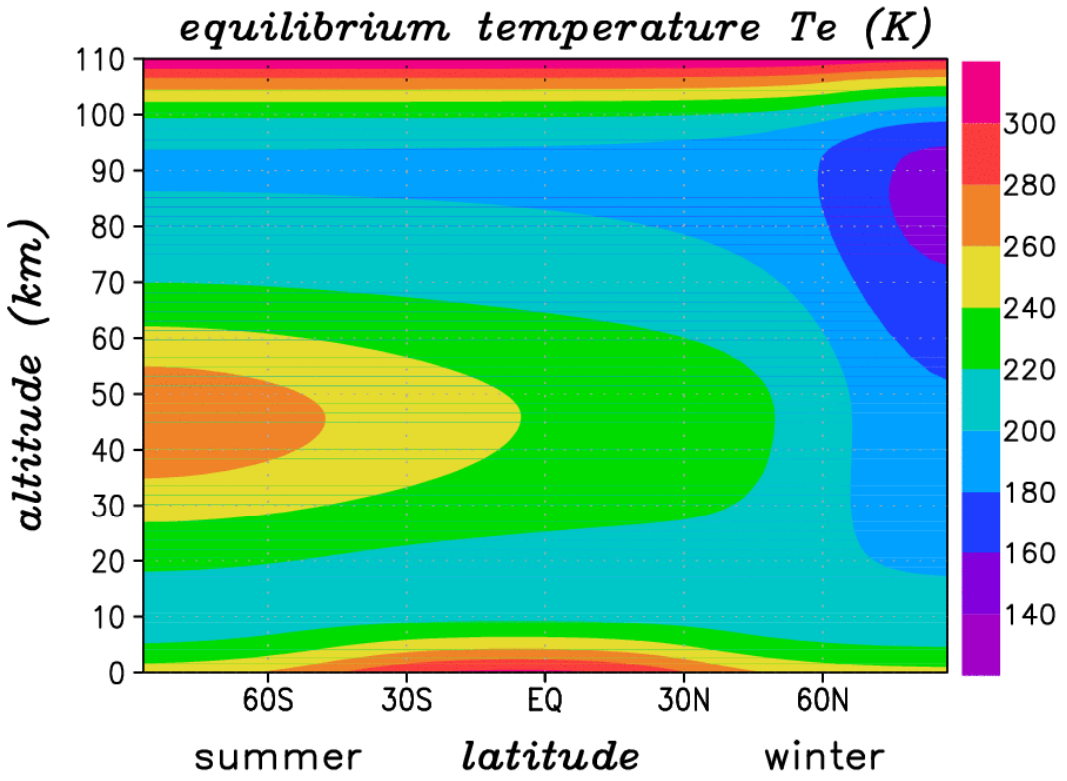
Vertikaler Aufbau der Atmosphäre



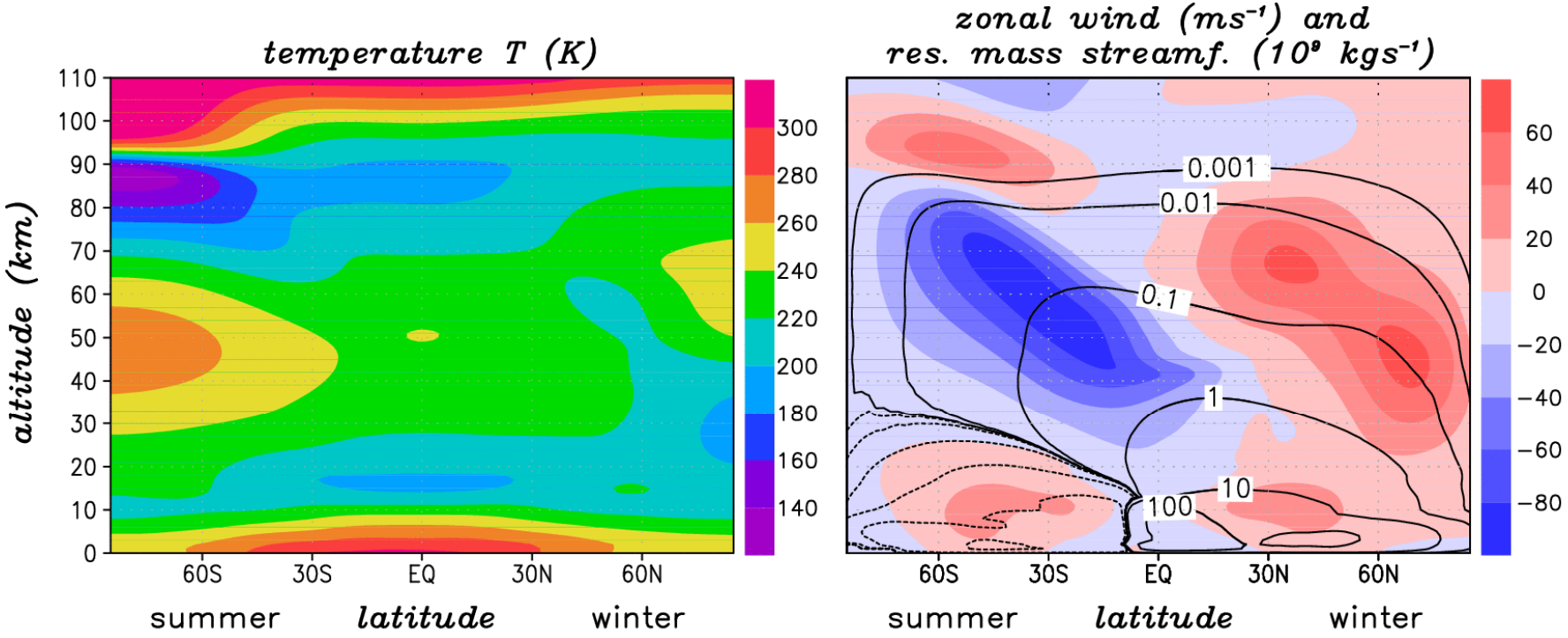
- dynamische Kontrolle durch interne Schwere-wellen
- dadurch weit weg vom „Strahlungsgleichgewicht“

- Wärmekraftmaschine
- Generierung von Wellen

„Strahlungsgleichgewicht“ im Januar



Klimasimulation für Januar

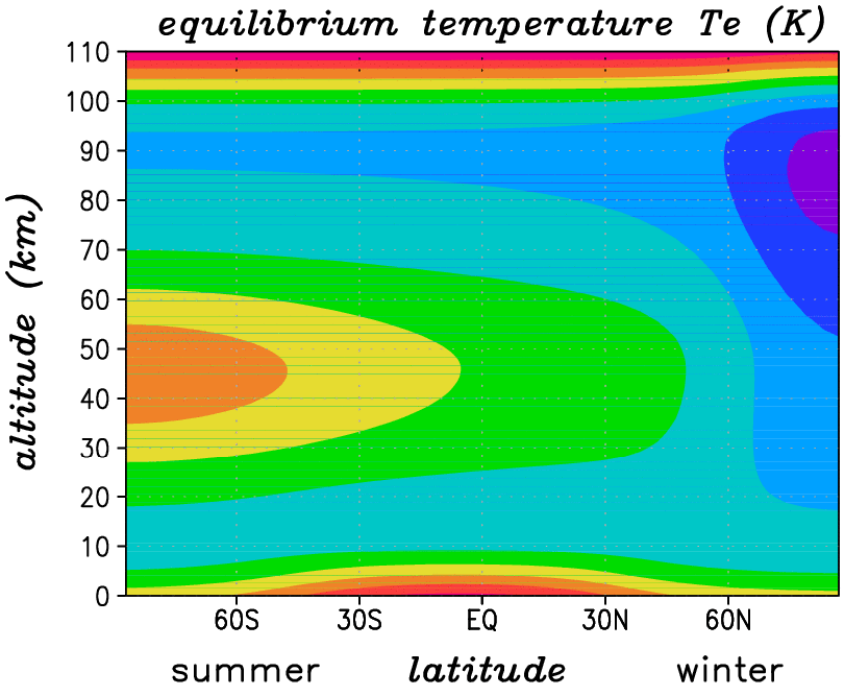


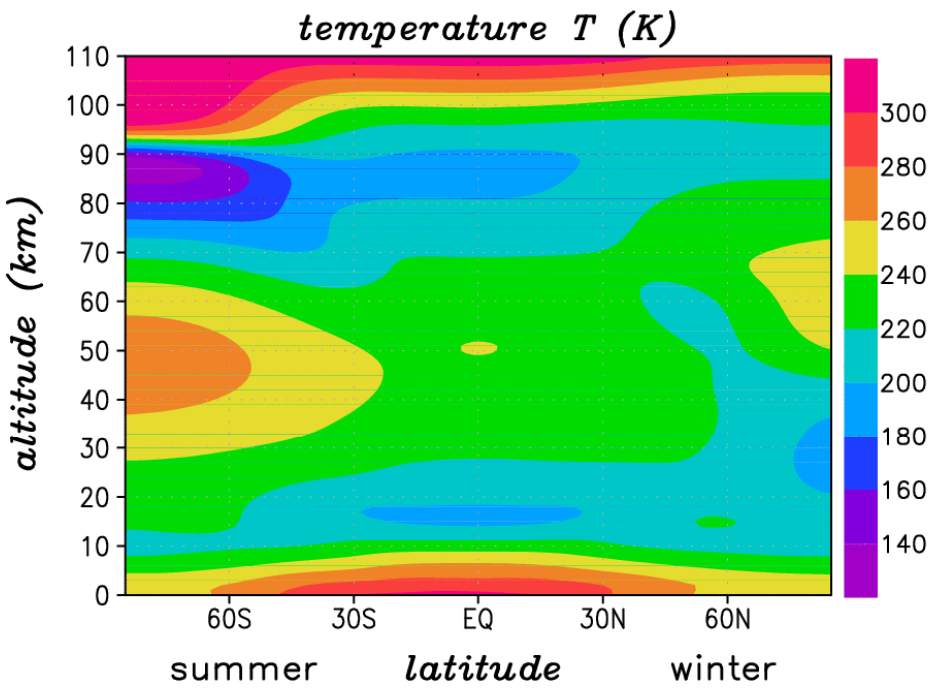
Vergleich mit „Strahlungsgleichgewicht“:

- sehr kalte Sommermesopause und inverser Temperatur-verlauf zwischen ca. 70 und 95 km Höhe
- warme Winterstratosphäre; Winterstratopause
- völlig veränderte zonale Zirkulation überlagert mit einer Querzirkulation

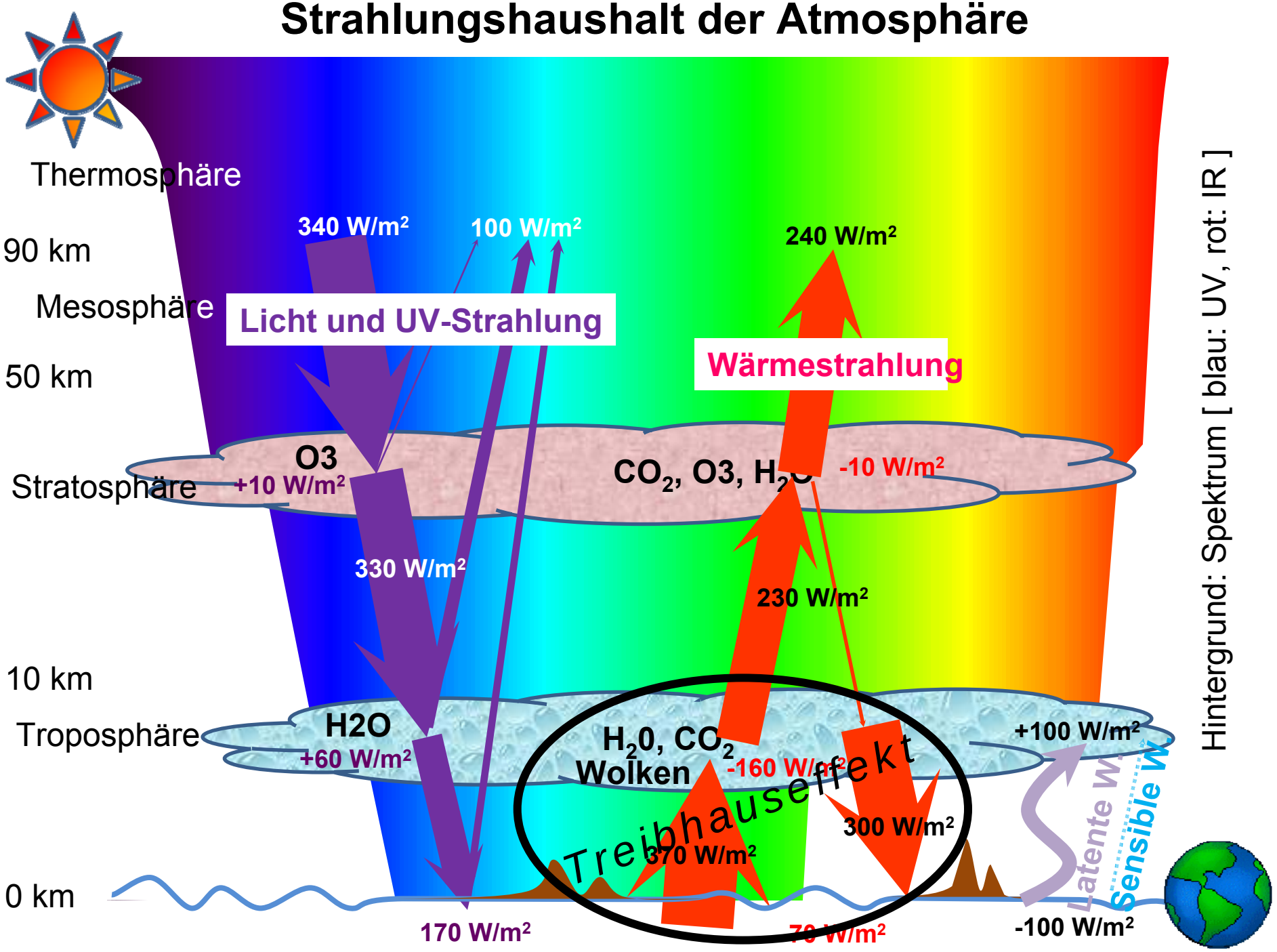
Wie ?

„Strahlungsgleichgewicht“ Klima (Simulation)



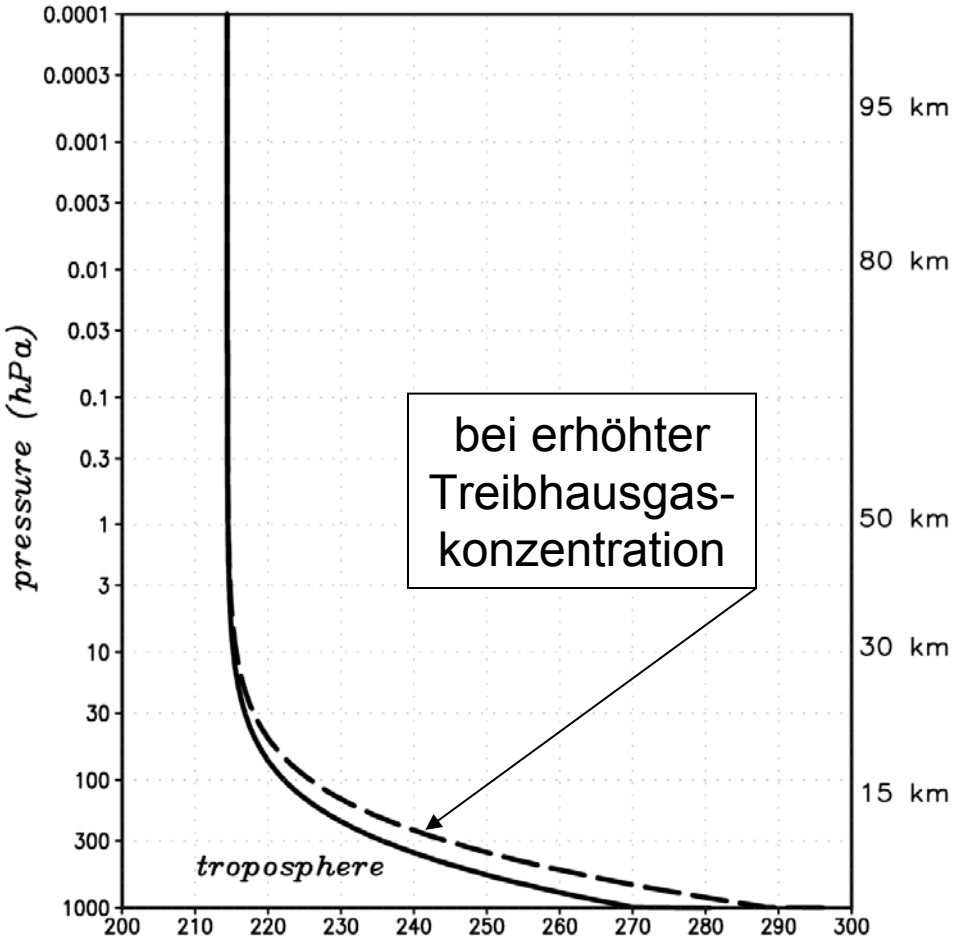


Strahlungshaushalt der Atmosphäre



Eindimensionales Strahlungsgleichgewicht

Temperatur (K)
OHNE Absorption von solarer Strahlung in der Atmosphäre



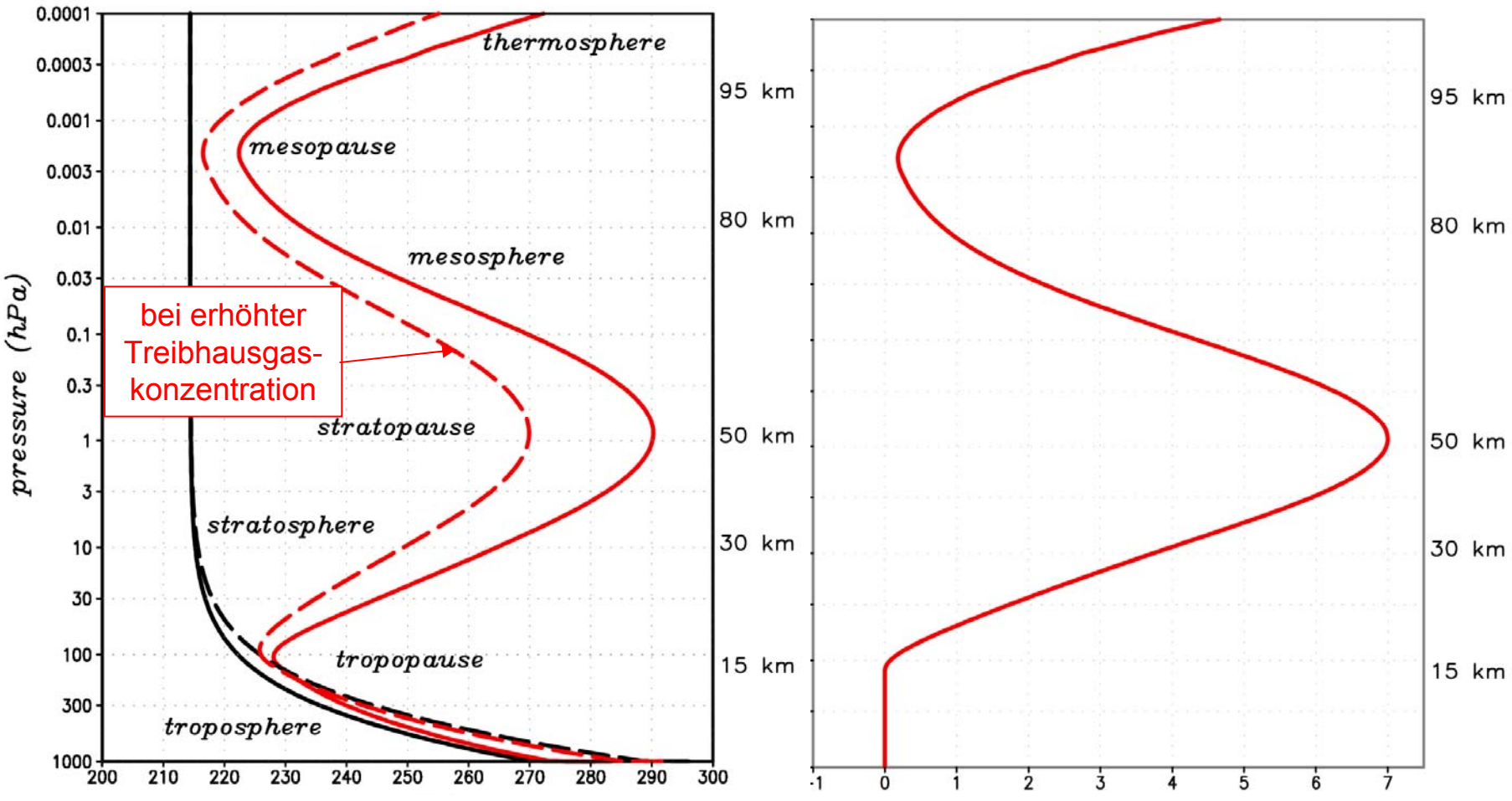
Treibhauseffekt:

- Der Austausch von Wärme-strahlung zwischen Oberfläche und Atmosphäre bestimmt die Oberflächen- und Atmosphä-rentemperaturen, bei denen **Strahlungsgleichgewicht** herrscht.
- Eine höhere Treibhauskon-zentration verschiebt das Gleichgewicht zu einer höheren Temperatur.
- Der Treibhauseffekt nimmt mit der Höhe ab und reicht maxi- bis etwa 10 km.

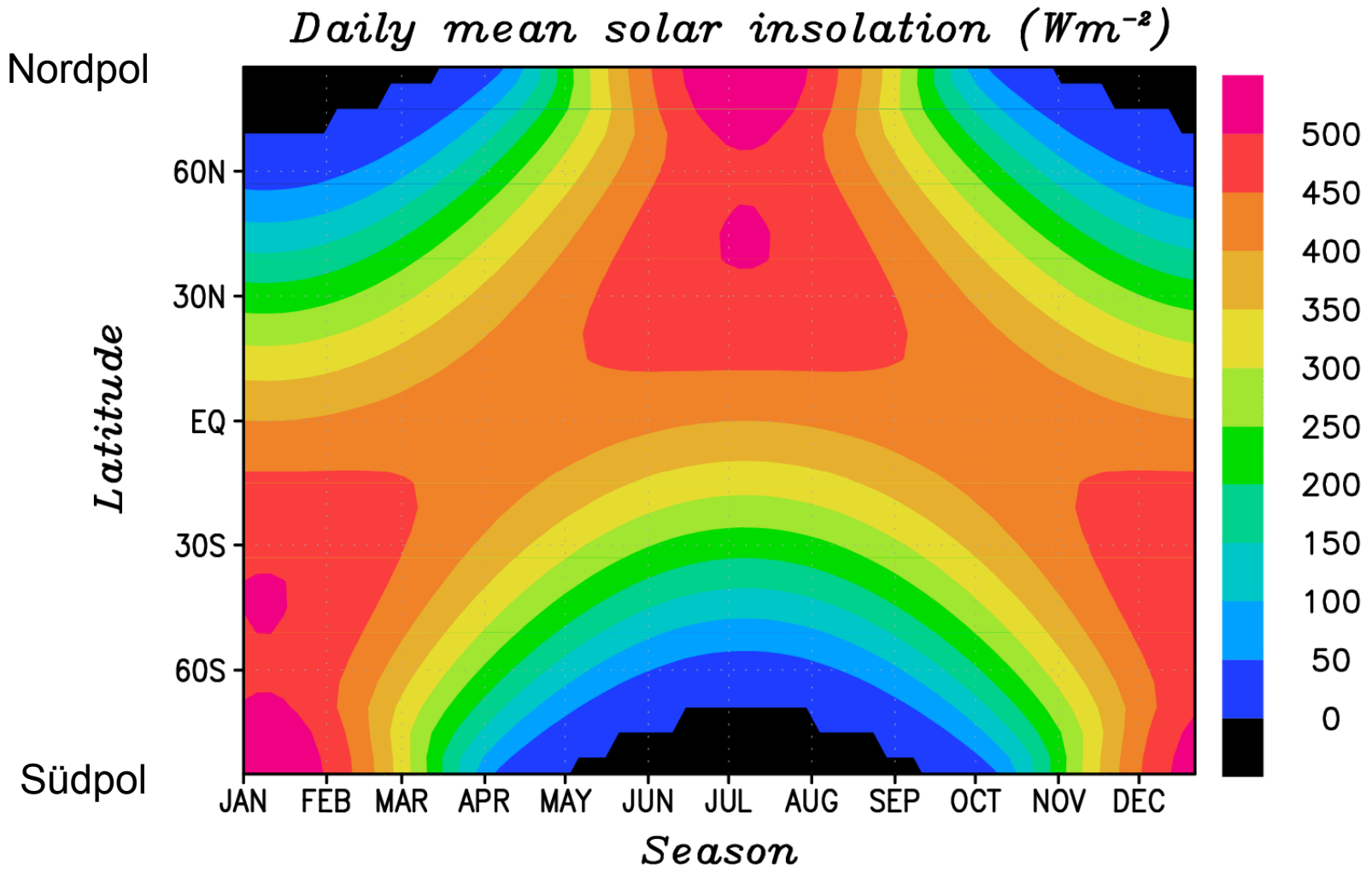
Eindimensionales Strahlungsgleichgewicht

Temperatur (K)
MIT Absorption von solarer Strahlung in der Atmosphäre

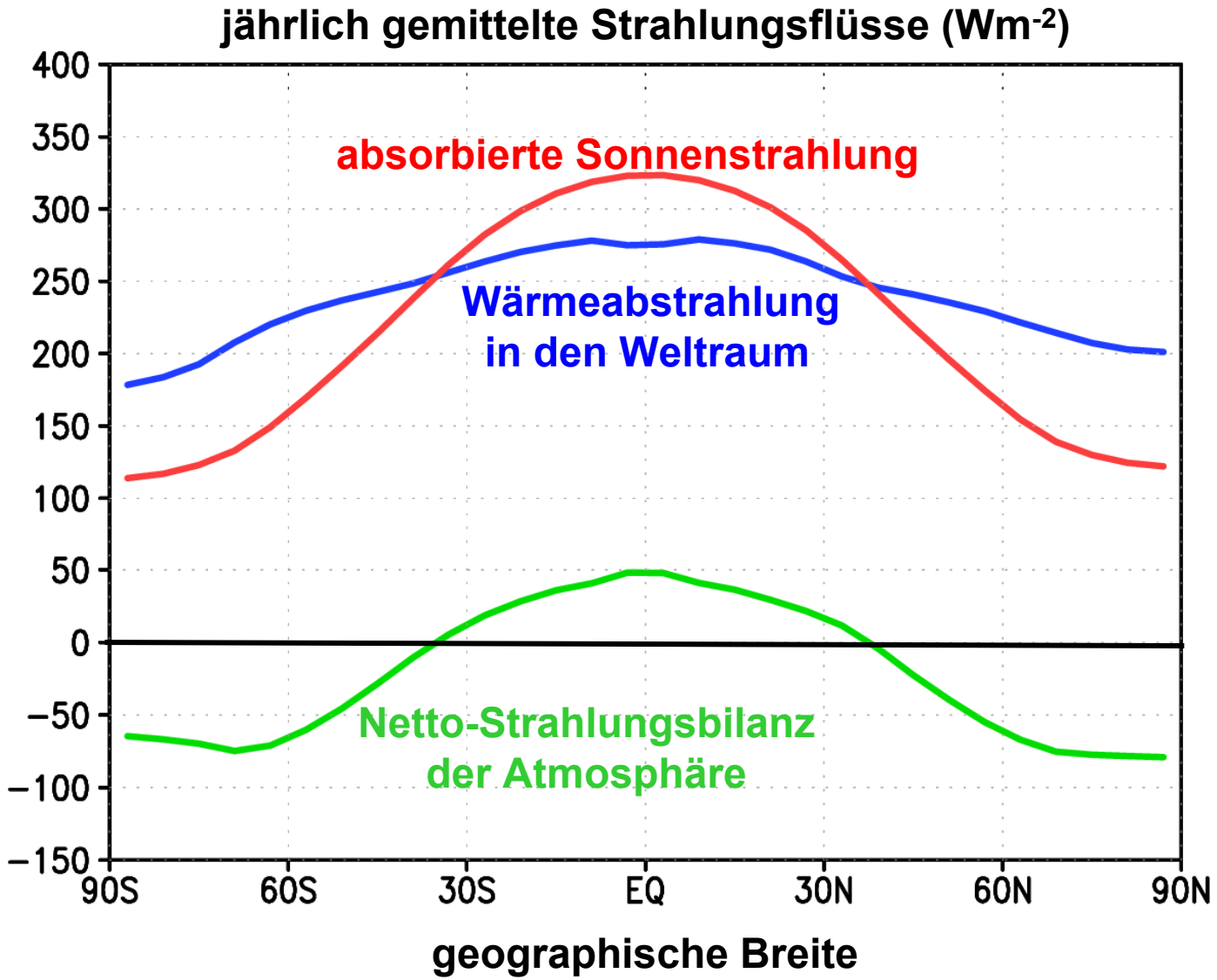
mittlere Heizrate (K/d) durch Absorption solarer Strahlung in der Strato- und Mesosphäre



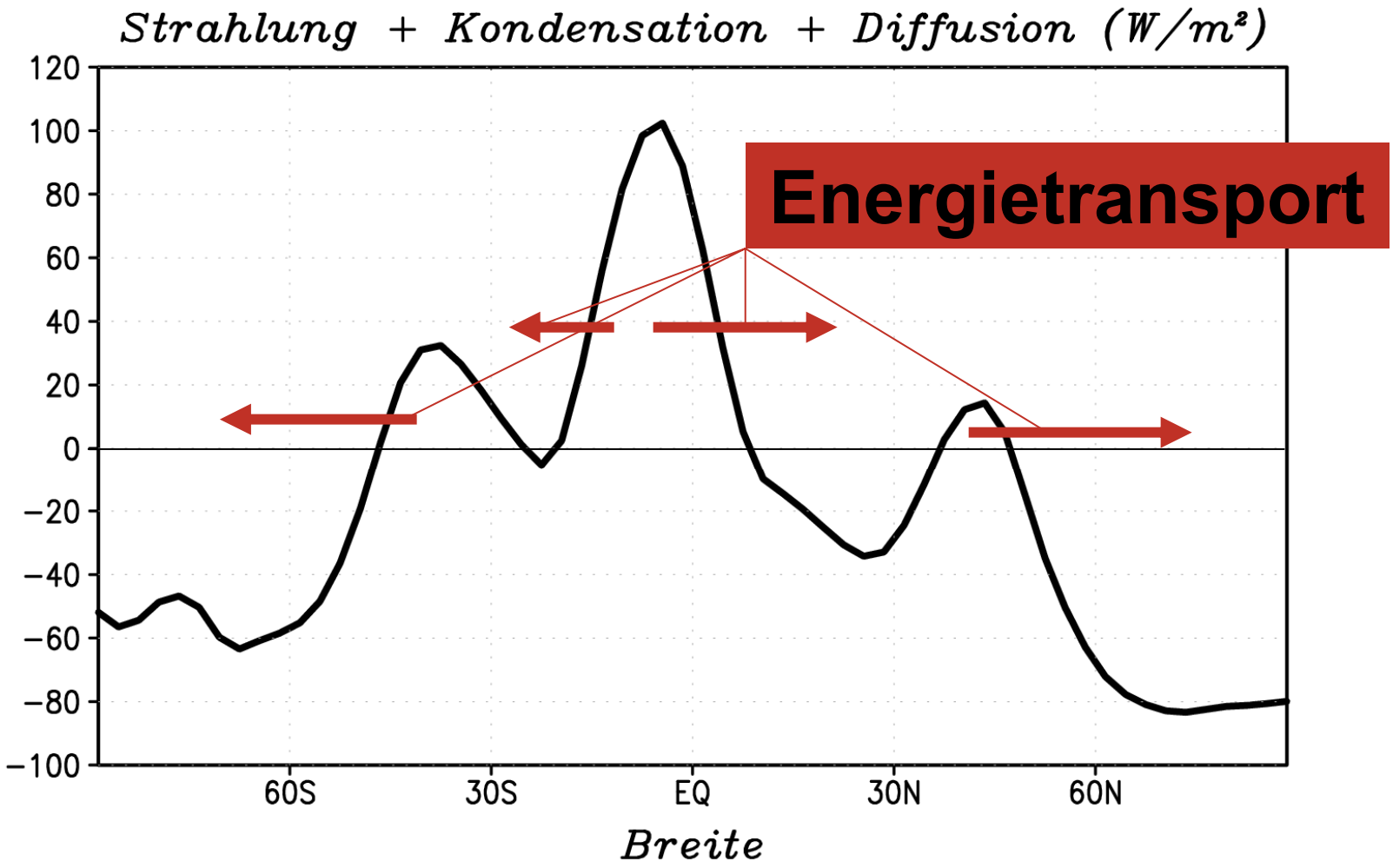
Jahresgang der täglich gemittelten solaren Einstrahlung am oberen Rand der Atmosphäre



Strahlungsbilanz am oberen Rand der Atmosphäre (Simulation)

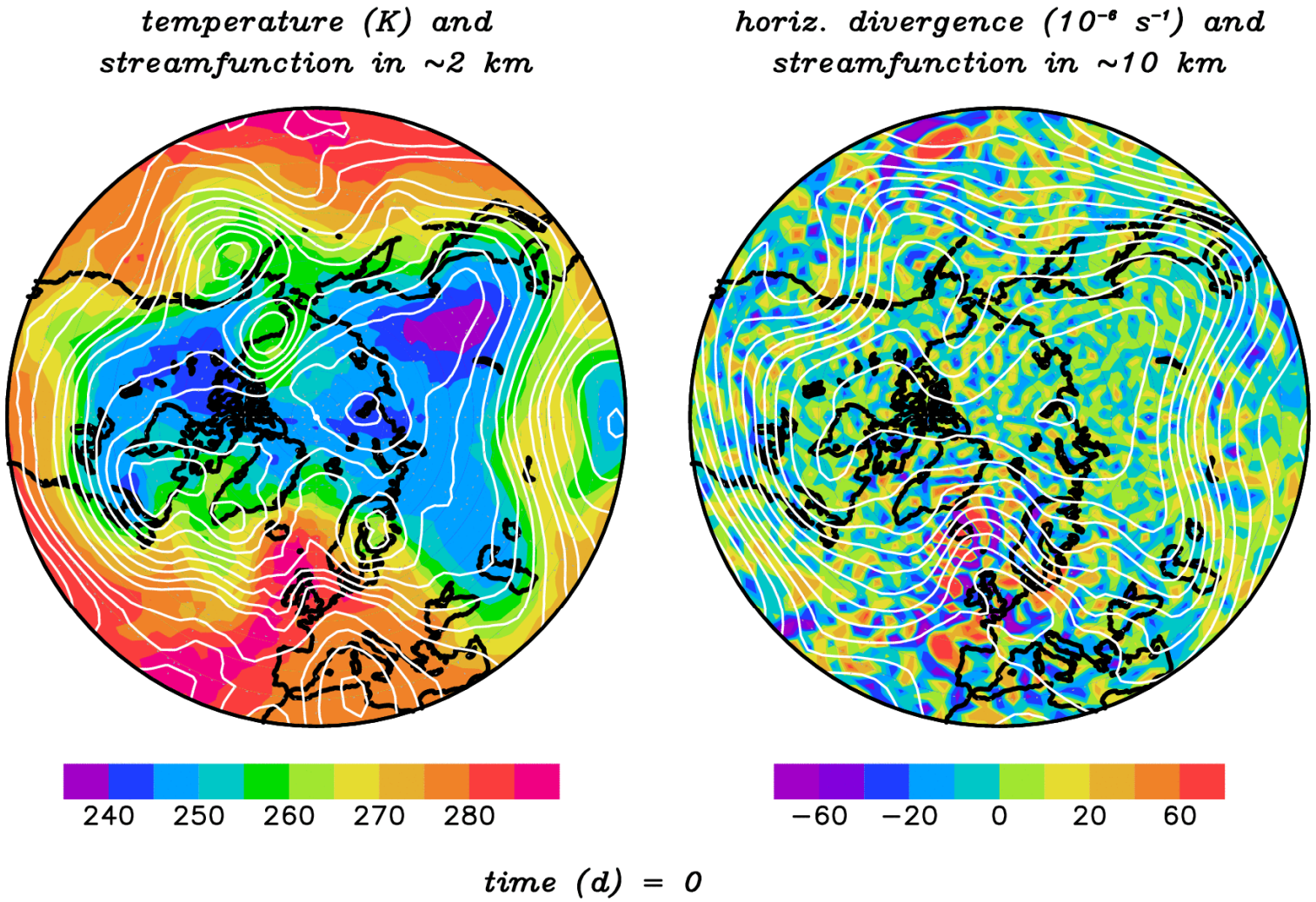


Breitenabhängige Verteilung der Energiebilanz der Troposphäre im Januar (Simulation)



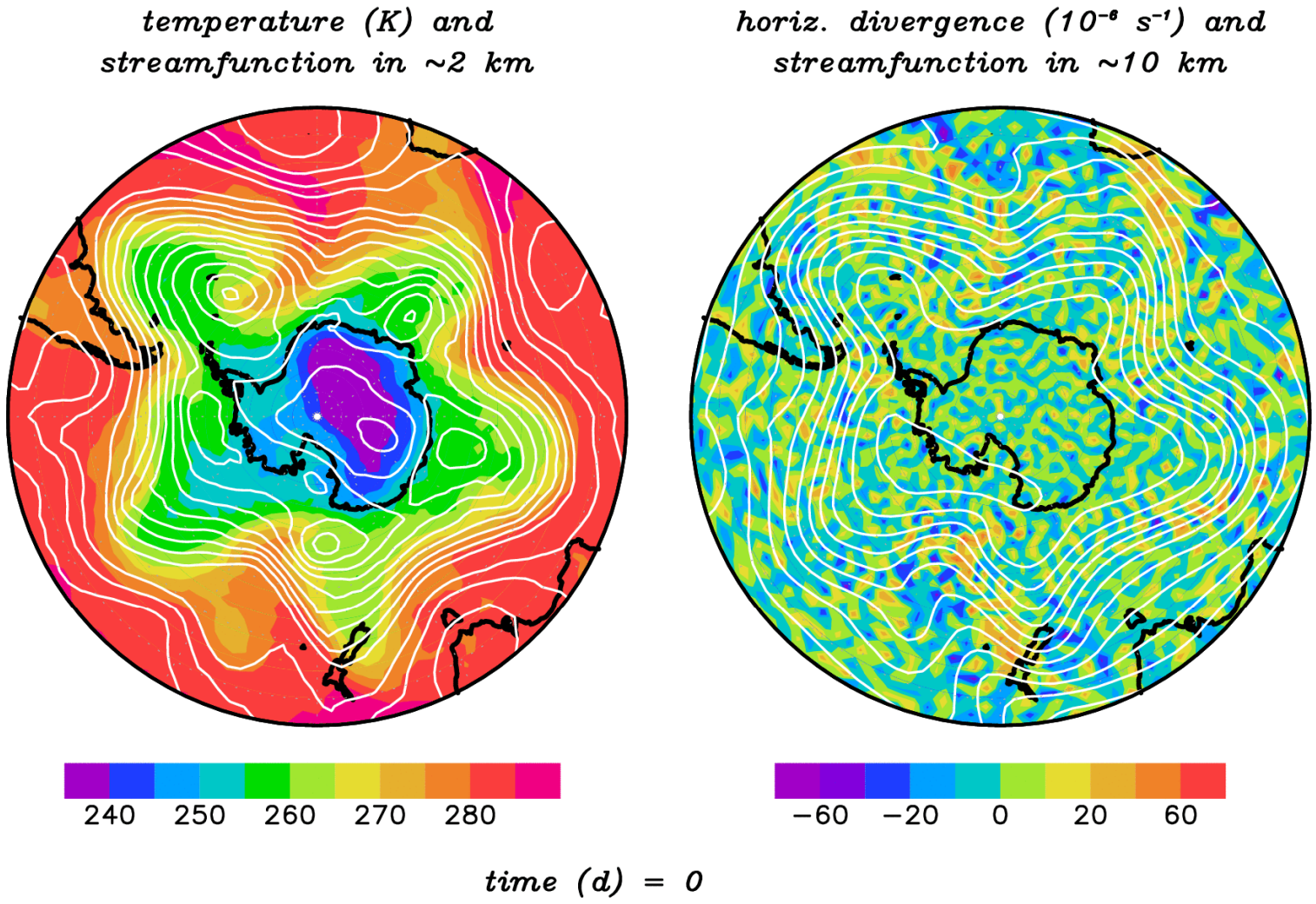
Wetterwirbel (**Rossby-Wellen**) in der Troposphäre: Wärmeausgleich zwischen subtropischen und hohen Breiten und Generierung der für die Mesosphäre wesentlichen **Schwerewellen**

Beispiel: 5 Modelltage (Bildinterval 45 Minuten) aus einer hochaufgelösten Simulation (Nordwinter)



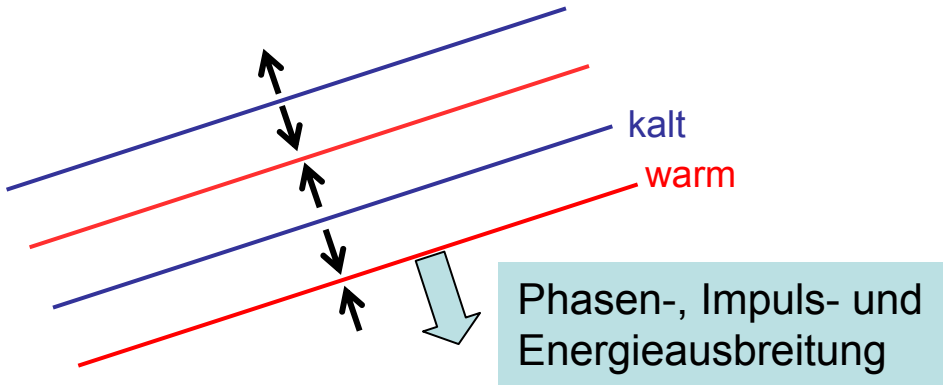
Wetterwirbel (**Rossby-Wellen**) in der Troposphäre: Wärmeausgleich zwischen subtropischen und hohen Breiten und Generierung der für die Mesosphäre wesentlichen **Schwerewellen**

Beispiel: 5 Modelltage (Bildinterval 45 Minuten) aus einer hochaufgelösten Simulation (Südsommer)



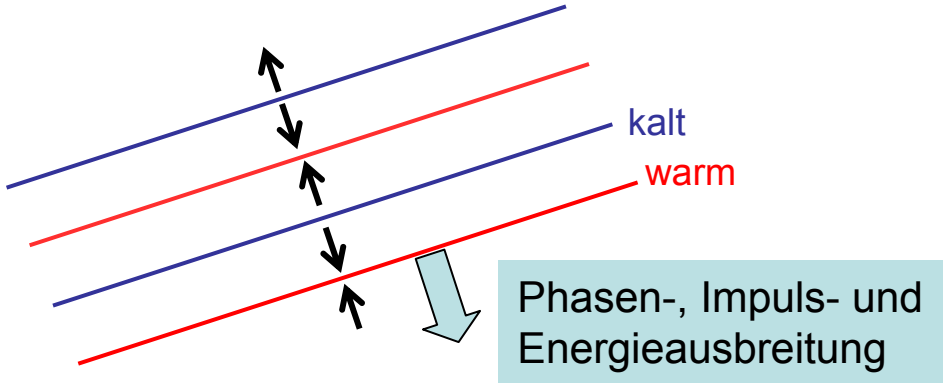
Was sind Schwerewellen?

Schallwellen:
Longitudinal; dispersionsfrei;
Energie- und Phasenaus-
breitung in derselben Richtung
(weg von der Quelle);
Rückstellkraft: Kompressibilität

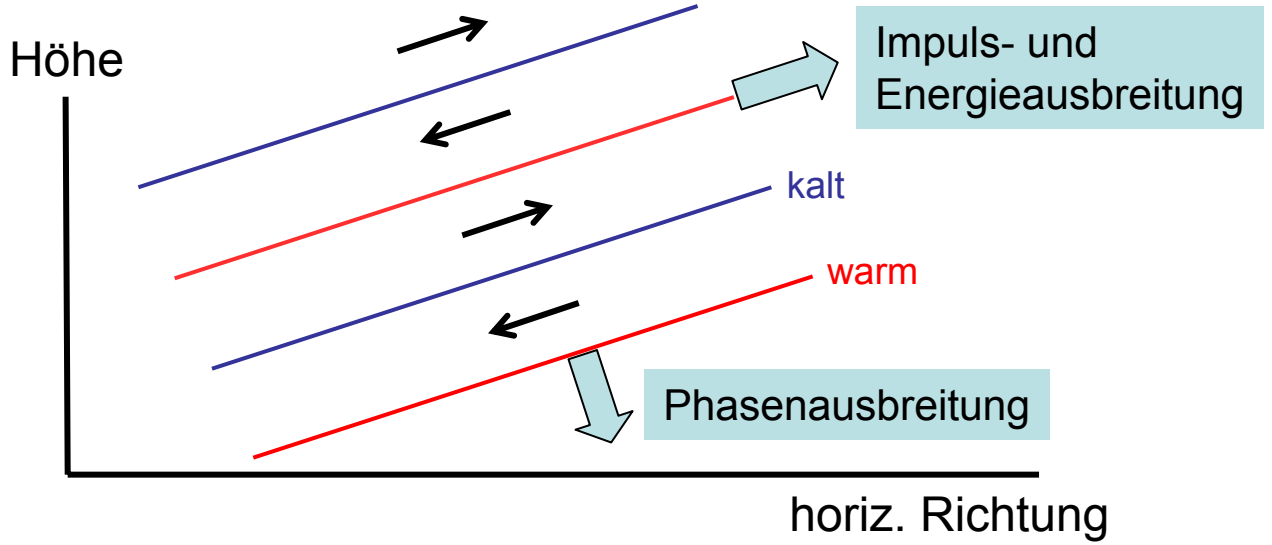


Was sind Schwerewellen?

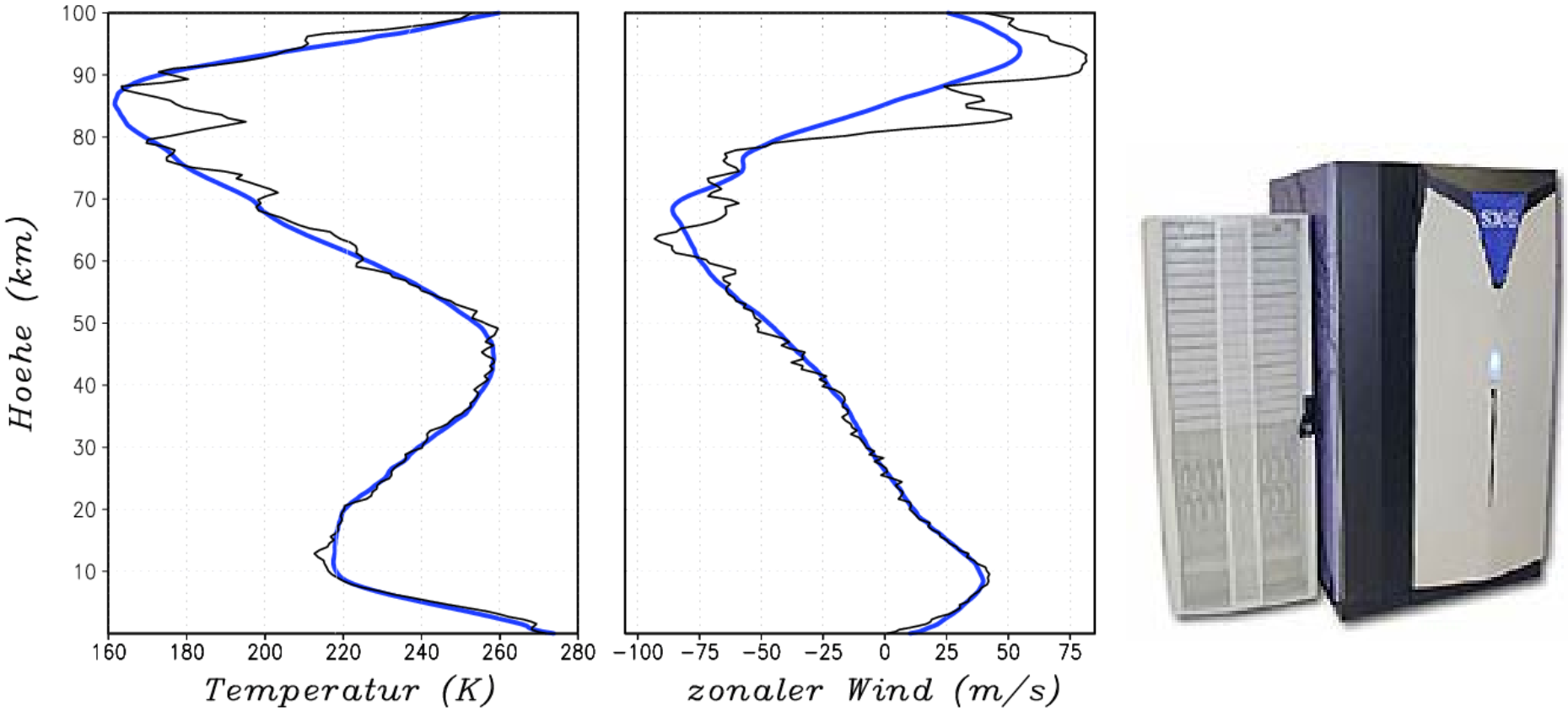
Schallwellen:
longitudinal; dispersionsfrei;
Energie- und Phasenaus-
breitung in derselben Richtung
(weg von der Quelle);
Rückstellkraft: Kompressibilität



Schwerewellen:
transversal; dispersiv;
Energieausbreitung
senkrecht zur
Phasenausbreitung
(zur Quelle hin);
Rückstellkraft: Auftrieb



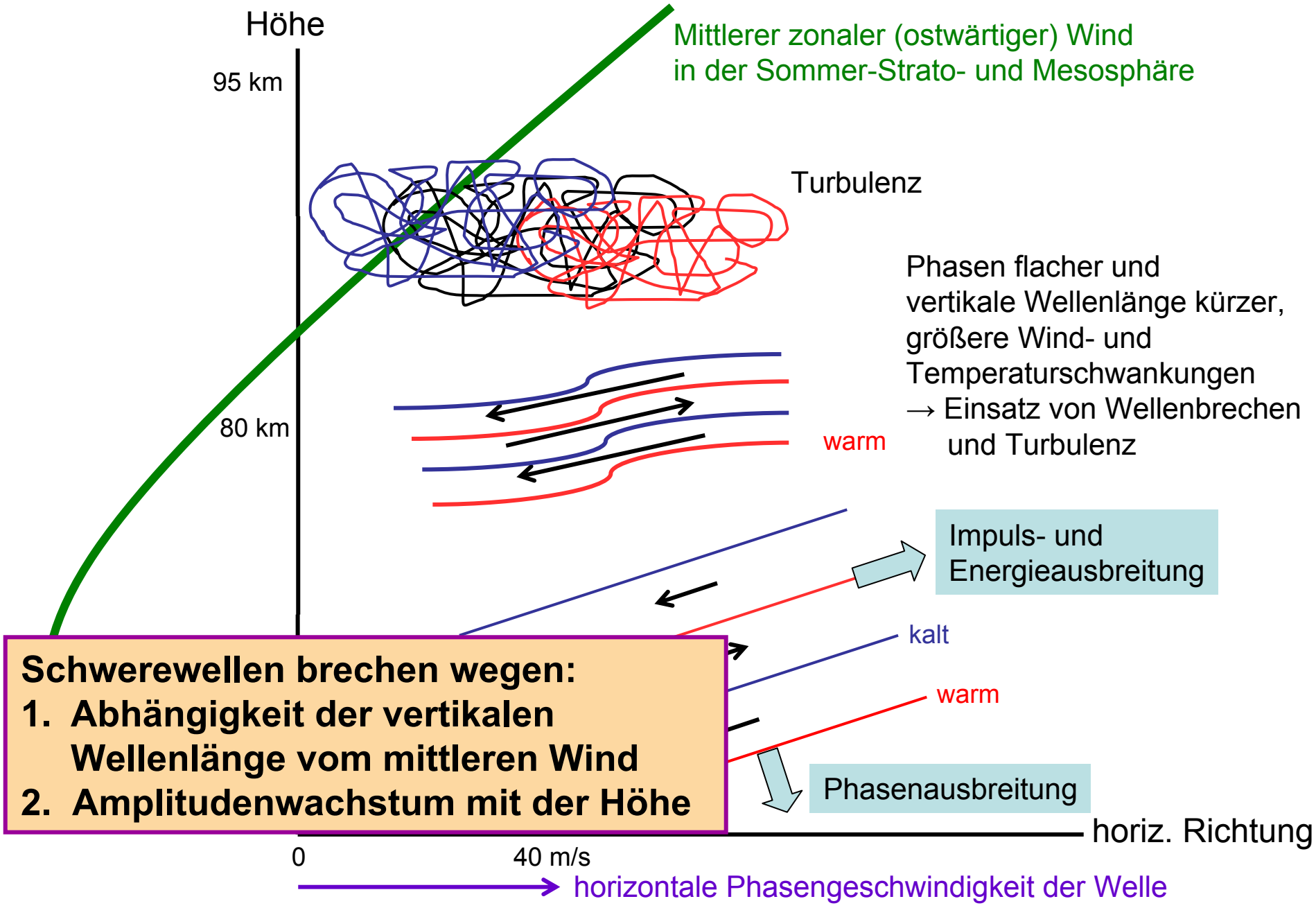
Typische mittlere und momentane Temperatur- und Windprofile im Sommer (Simulation mit sehr hoher Auflösung)



Die meisten Schwerewellen „brechen“ bereits unterhalb von 50 km.

„Schwerewellenbrechen“ im hochaufgelösten globalen Klimamodell: Dynamische Instabilität triggert turbulente Diffusion.

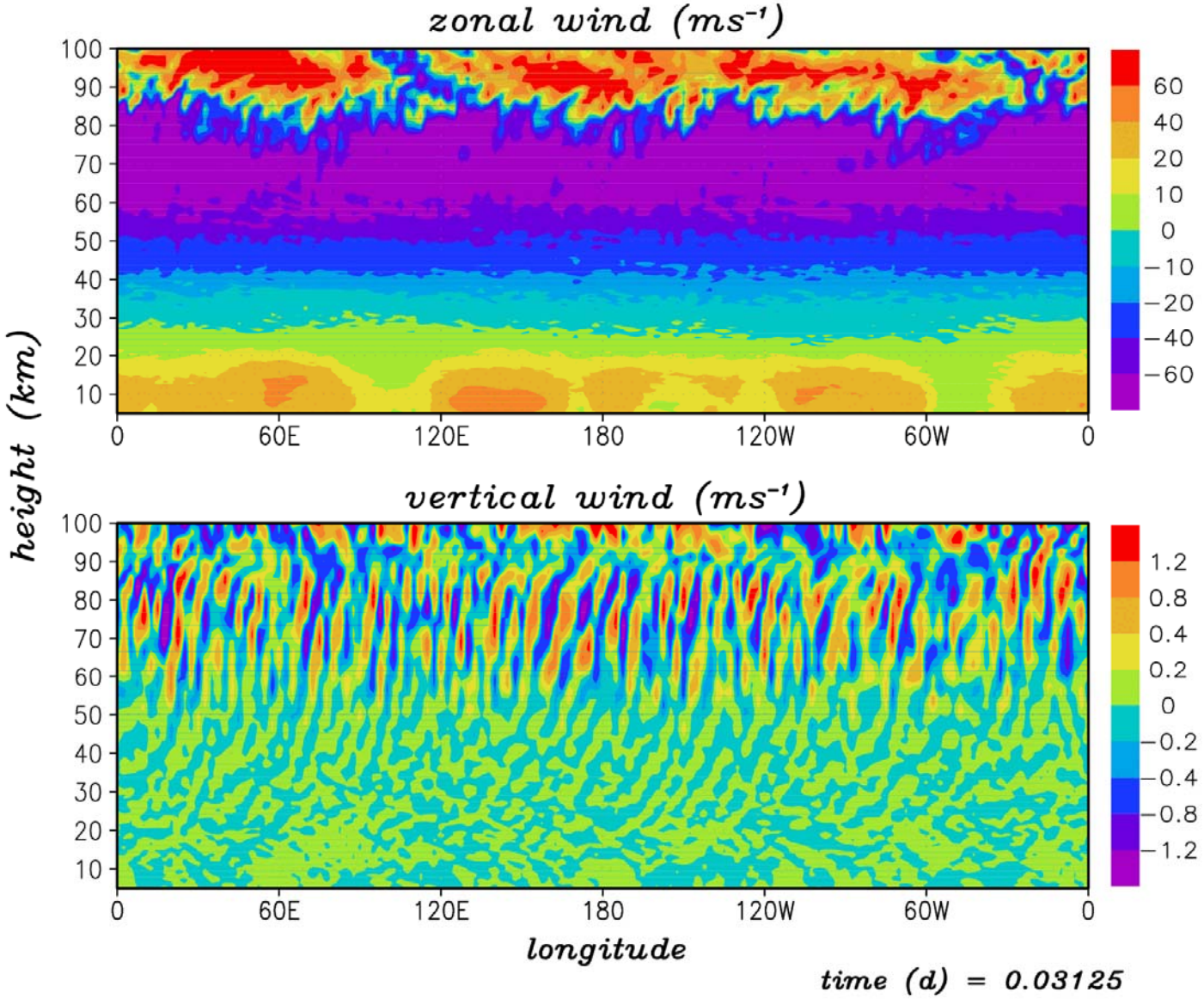
Warum brechen Schwerewellen, wenn sie sich vertikal ausbreiten?



Schwerewellen brechen wegen:

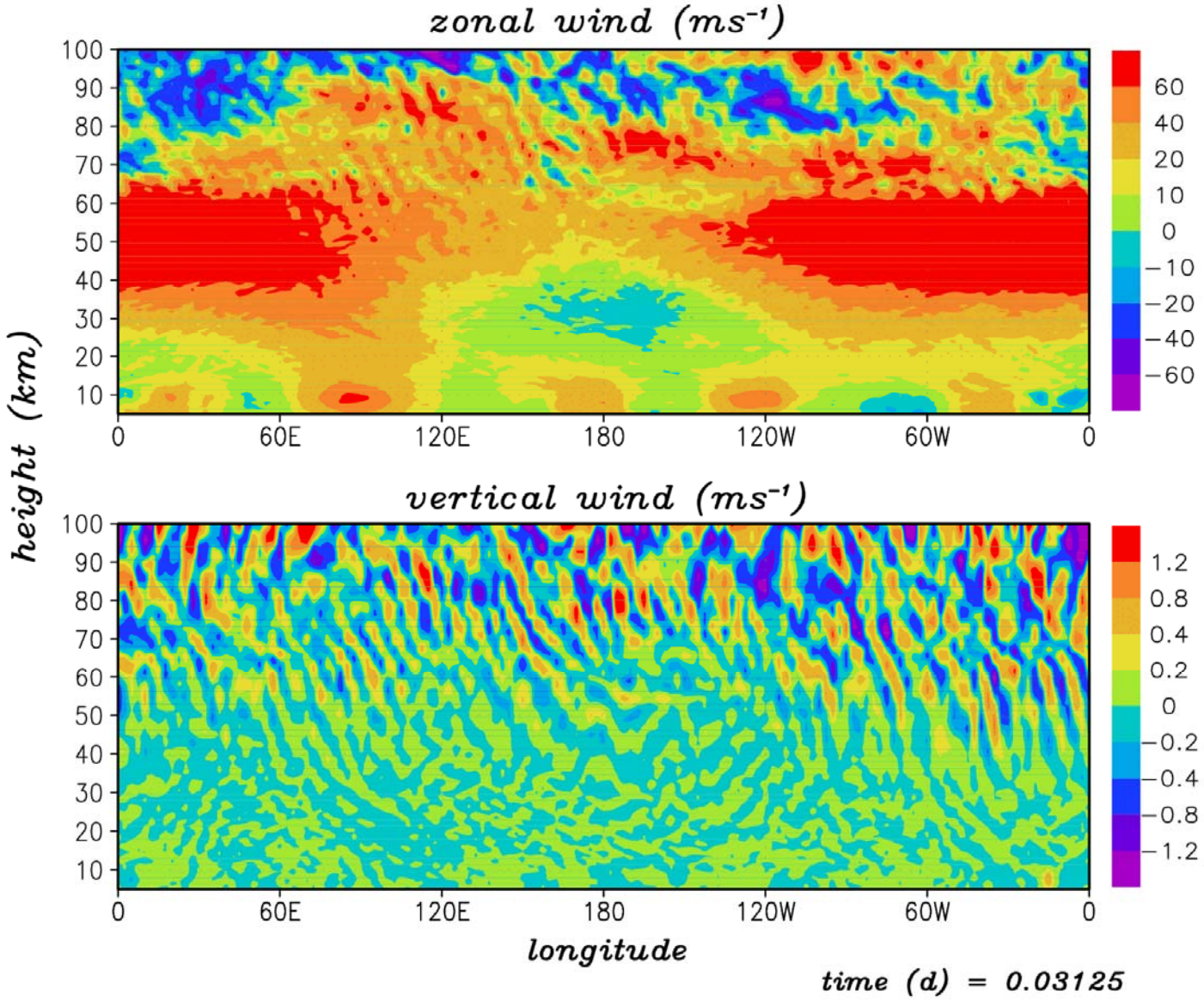
1. **Abhängigkeit der vertikalen Wellenlänge vom mittleren Wind**
2. **Amplitudenwachstum mit der Höhe**

Rossby-Wellen und Schwerewellen in der Sommerhemisphäre anhand der ostwärtigen und vertikalen Windkomponenten (hochaufgelöste Simulation, Januar, 54ºS)



ostwärts propagierende Schwerwellen in der sommerlichen Strato- und Mesosphäre

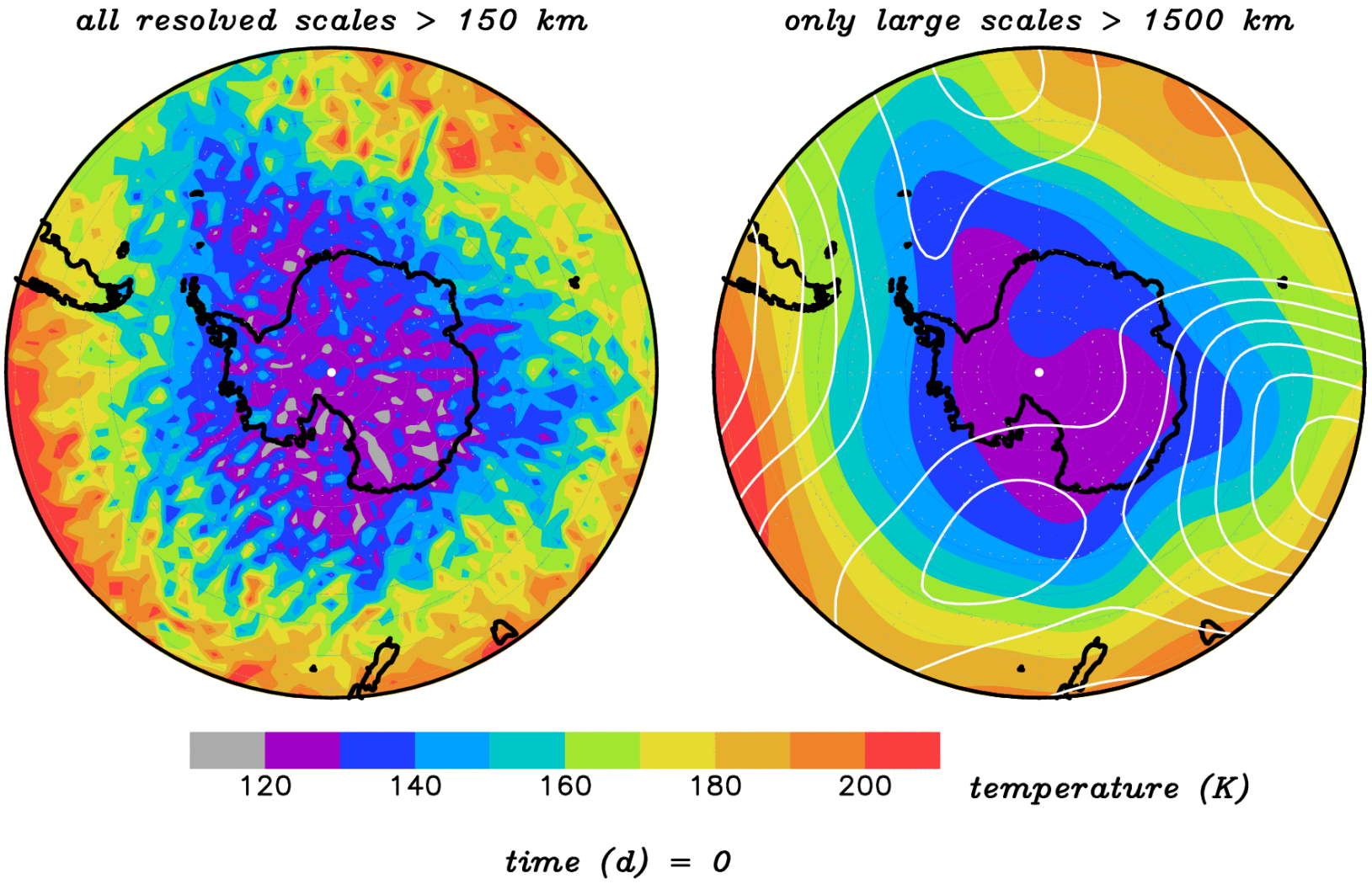
Planetare Rossby-Wellen und Schwerewellen in der Winterhemisphäre anhand der ostwärtigen und vertikalen Windkomponenten (hochaufgelöste Simulation, Januar, 54ºN)

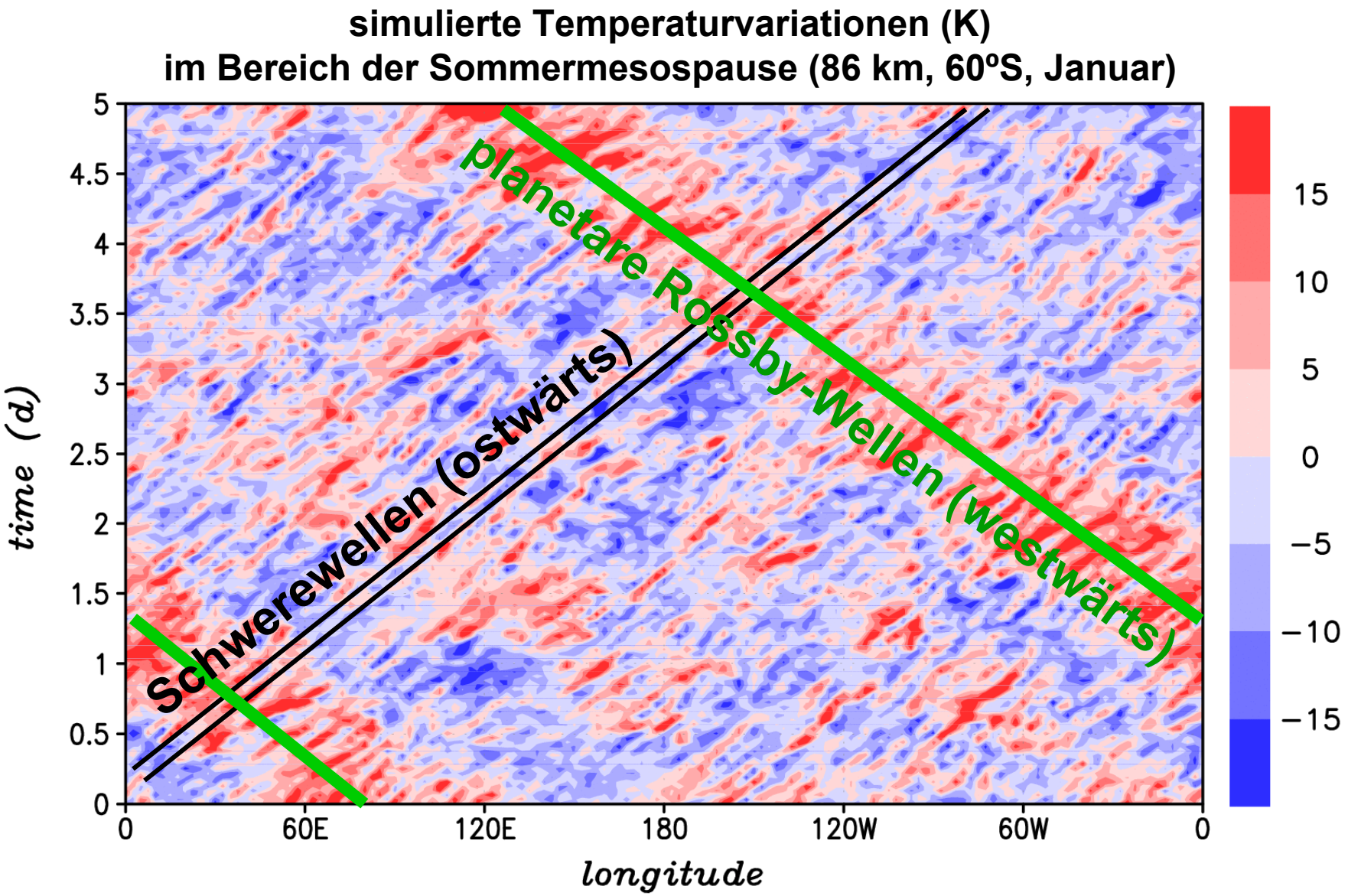


meist **westwärts** propagierende Schwerwellen in der winterlichen Strato- und Mesosphäre

Schwerwellen und planetare Rossby-Wellen im Bereich der Sommermesopause

Temperatur und Stromfunktion in ~86 km Höhe aus einer hochaufgelösten Simulation (Bildinterval 45 Minuten): Diagnostik für unterschiedliche Skalen

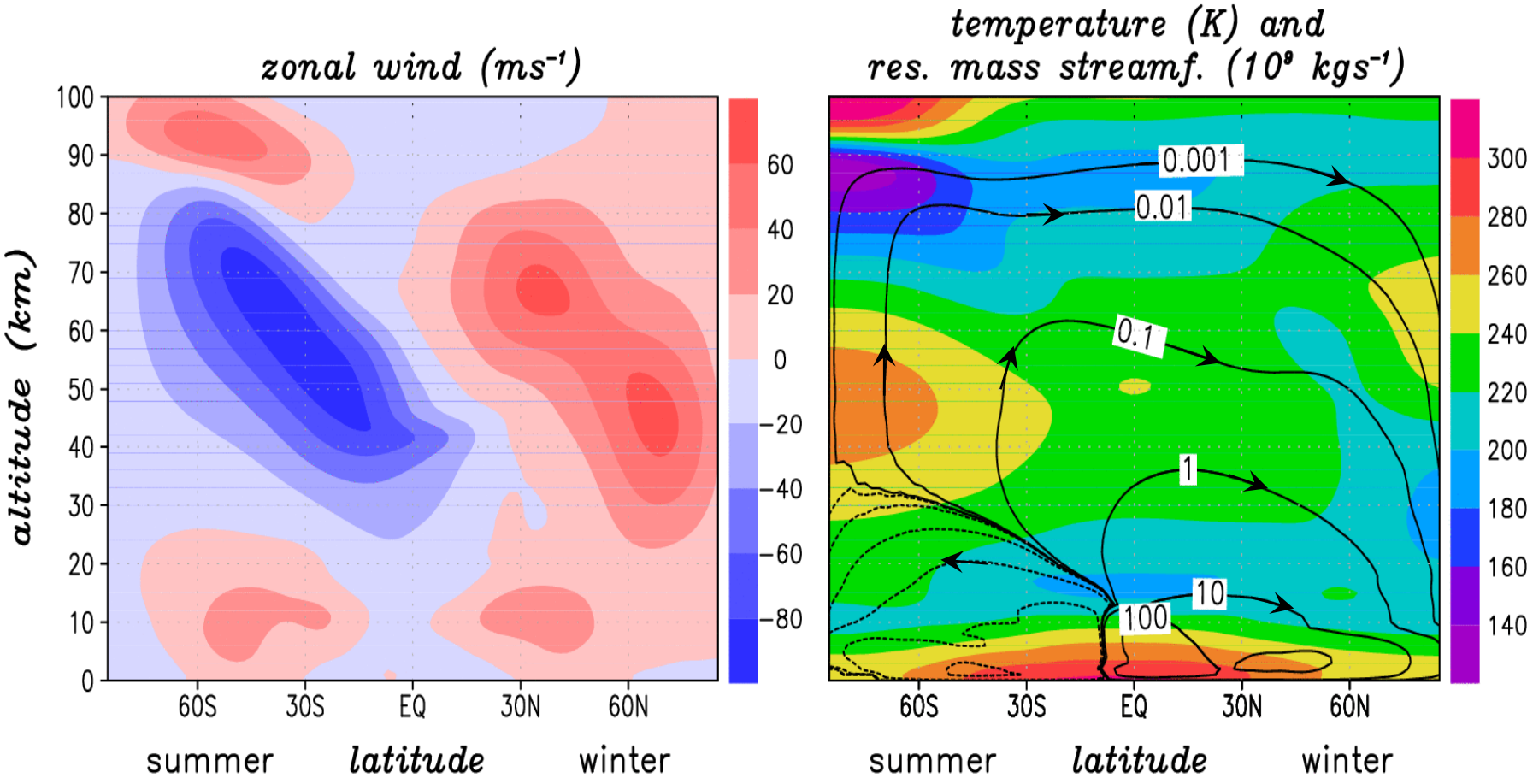



simulierte Temperaturvariationen (K)
im Bereich der Sommermesospause (86 km, 60ºS, Januar)
planetare Rossby-Wellen (westwärts)
Schwerewellen (ostwärts)
time (d)
longitude
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
0
60E
120E
180
120W
60W
0
15
10
5
0
−5
−10
−15

Warum sind Rossby-Wellen und Schwerwellen so wichtig?

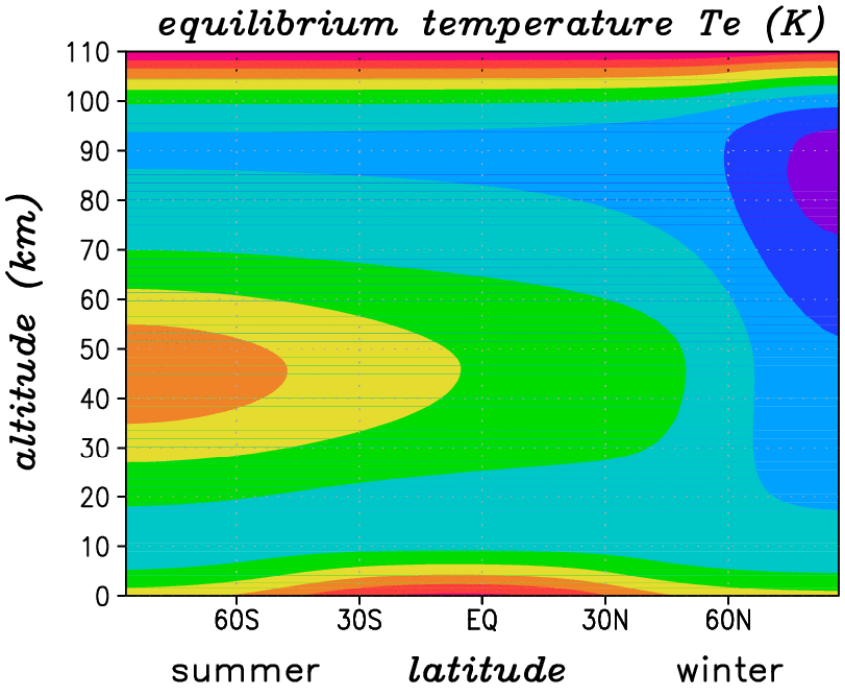
- Diese Wellen transportieren Impuls und Energie von der Troposphäre in die oberen Schichen.
- Wenn die Wellen brechen, werden Impuls und Energie auf die globale Zirkulation übertragen.
- **Dadurch wird das globale Windsystem und die globale Temperaturverteilung in der gesamten Atmosphäre oberhalb von ca. 5 km Höhe dynamisch gesteuert.**

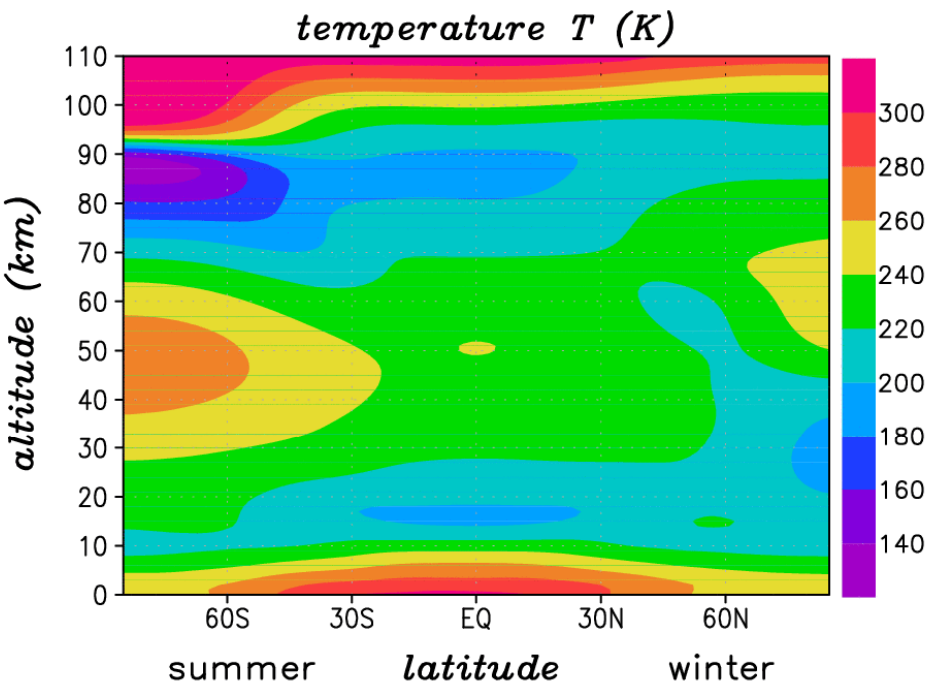
Sommer-Winterpol-Zirkulation bewirkt die extremen Abweichungen vom „Strahlungsgleichgewicht“ in der Mesosphäre



Wie ?

„Strahlungsgleichgewicht“ Klima (Simulation)





Rossby-Wellen und Schwerewellen

Zusammenfassung

- **Treibhauseffekt: *Strahlungsgleichgewicht* von Oberfläche und unterer Troposphäre verschiebt sich zu höheren Temperaturen, wenn man die Konzentration der Treibhausgase (Wasserdampf, CO2, …) erhöht.**

- **Rossby-Wellen in der Troposphäre:**
  Wärmeausgleich zwischen subtrop. und polaren Breiten;
  Erzeugung von Schwerewellen, die die Mesosphäre dynamisch kontrollieren

- **extreme Abweichungen vom "Strahlungsgleichgewicht" in der Strato- und Mesosphäre durch Rossby-Wellen und Schwerewellen**

- **Analog zur Troposphäre bilden sich "Wetterwirbel" auch in der kalten Sommermesopause. Ansonsten wäre es dort noch viel kälter.**