

# Wasser:

Drahtzieher und Spielball  
im globalen Klimawandel

**Prof. Volkmar Wirth**  
Universität Mainz





# Wasservorkommen der Erde

---

	Globale mittlere Tiefe [m]	Prozentualer Anteil [%]
<b>Ozeane</b>	<b>2620</b>	<b>96.5</b>
<b>Polares Eis / Meereis / Gletscher</b>	<b>47</b>	<b>1.7</b>
<b>Grundwasser</b>	<b>46</b>	<b>1.7</b>
<b>Permafrost</b>	<b>0.59</b>	<b>0.02</b>
<b>Seen</b>	<b>0.35</b>	<b>0.013</b>
<b>Bodenwasser</b>	<b>0.032</b>	<b>0.0012</b>
<hr/>		
<b>Sümpfe</b>	<b>0.023</b>	<b>0.00083</b>
<b>Flüsse</b>	<b>0.0042</b>	<b>0.00015</b>



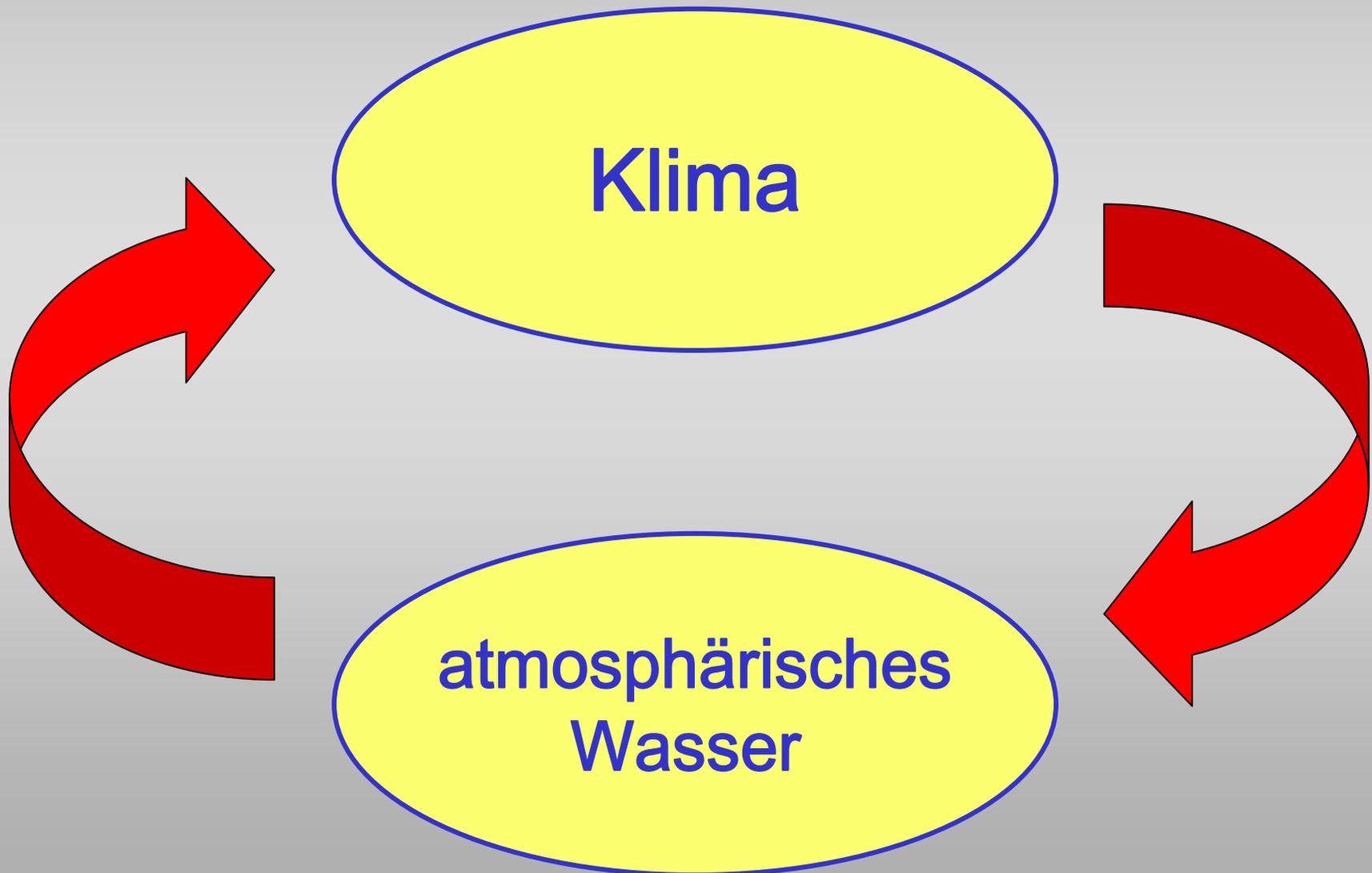


Dresden, August 2002

# Wasser:

## Drahtzieher und Spielball im globalen Klimawandel

---



# Übersicht

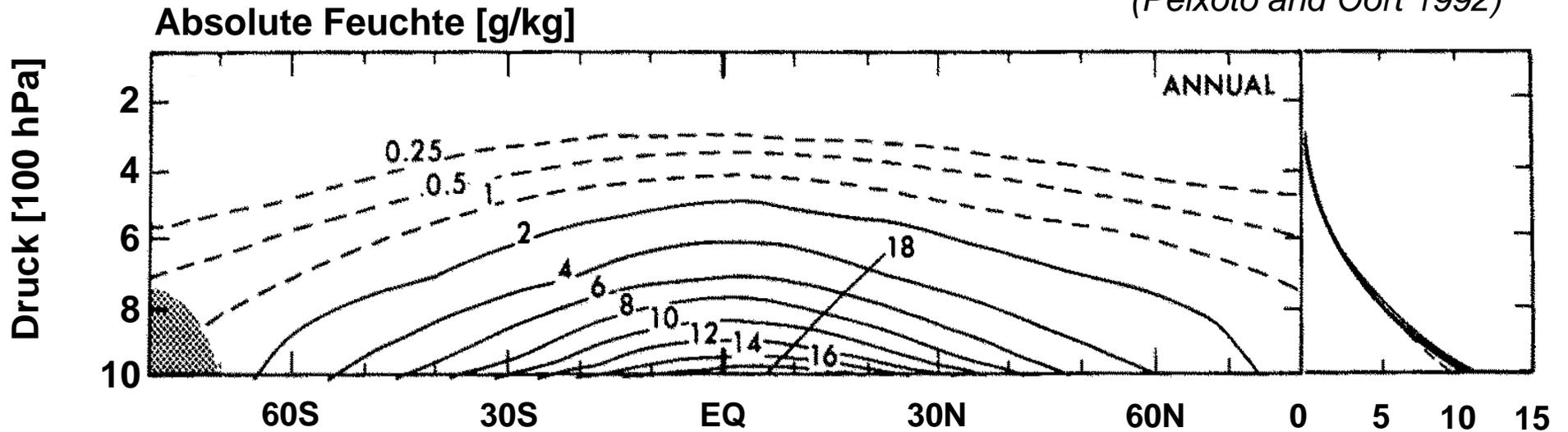
---

- Einige Grundlagen
- Der Treibhauseffekt
- Hydrologische Extreme
  - Starkregen-Ereignisse (Sommer 2002)
  - Trockenperioden (Sommer 2003)
- Wie sieht die Zukunft aus?
- Zusammenfassung

# Einige Grundlagen

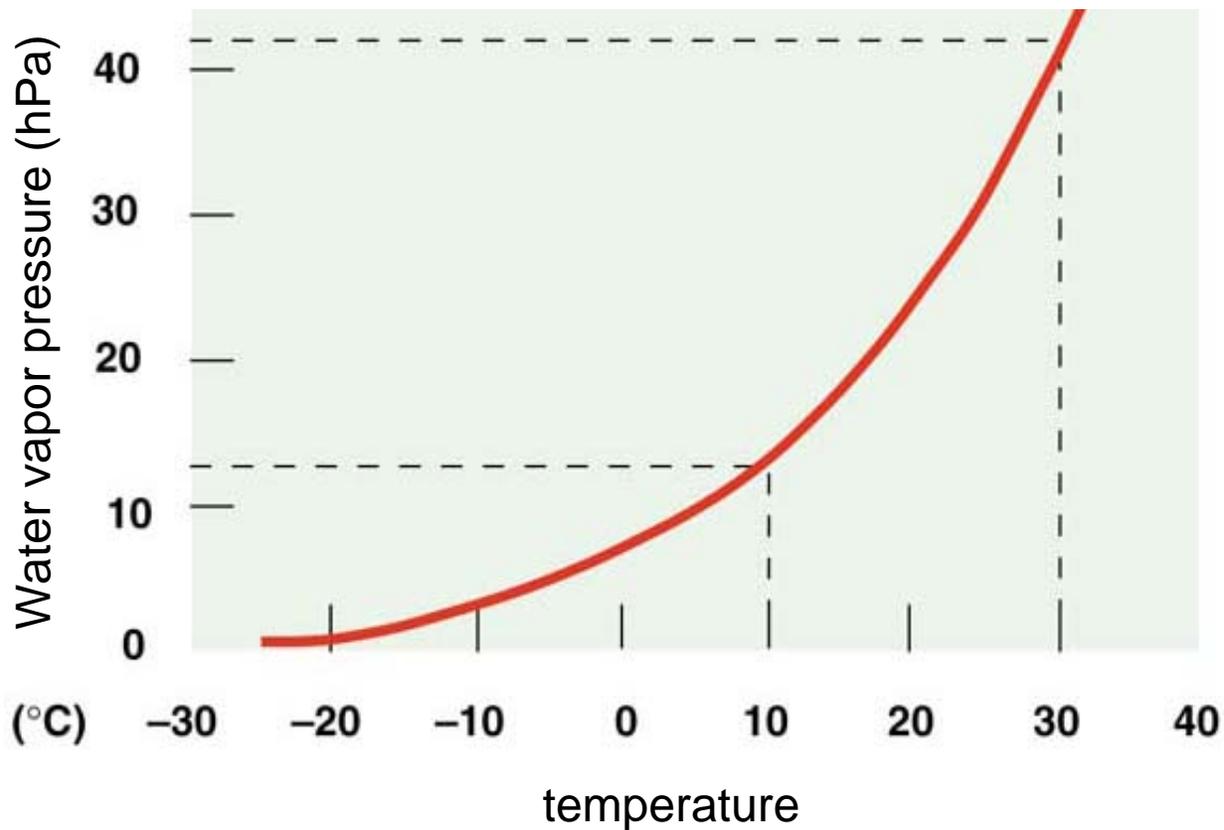
# distribution of water vapour

(Peixoto and Oort 1992)



# Clausius-Clapeyron

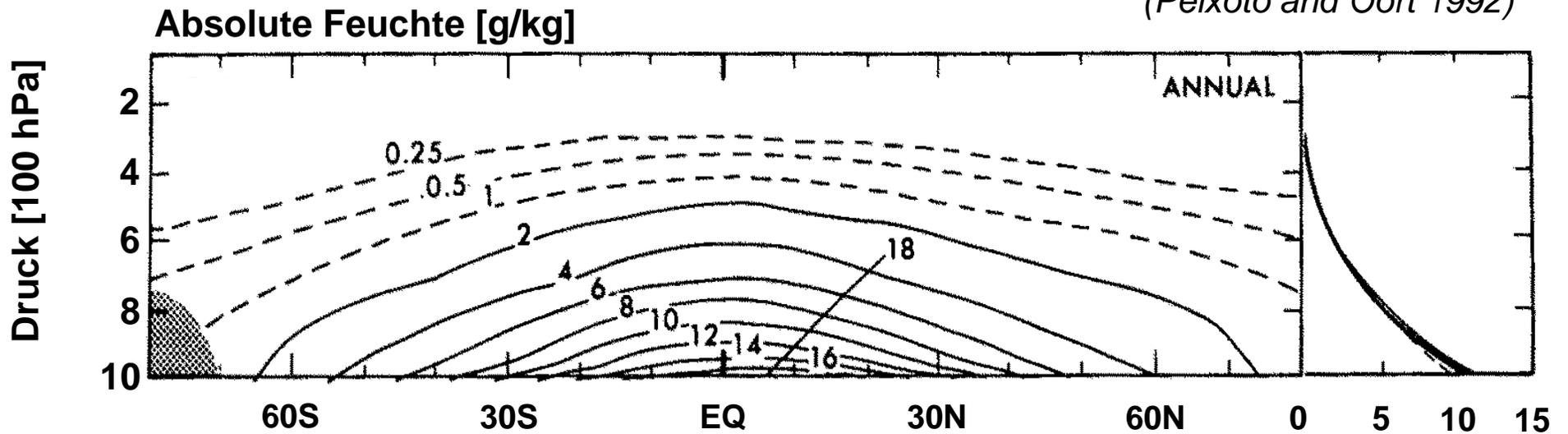
How much water vapour does the atmosphere contain  
**in equilibrium** with a liquid (solid) surface?



7% per K

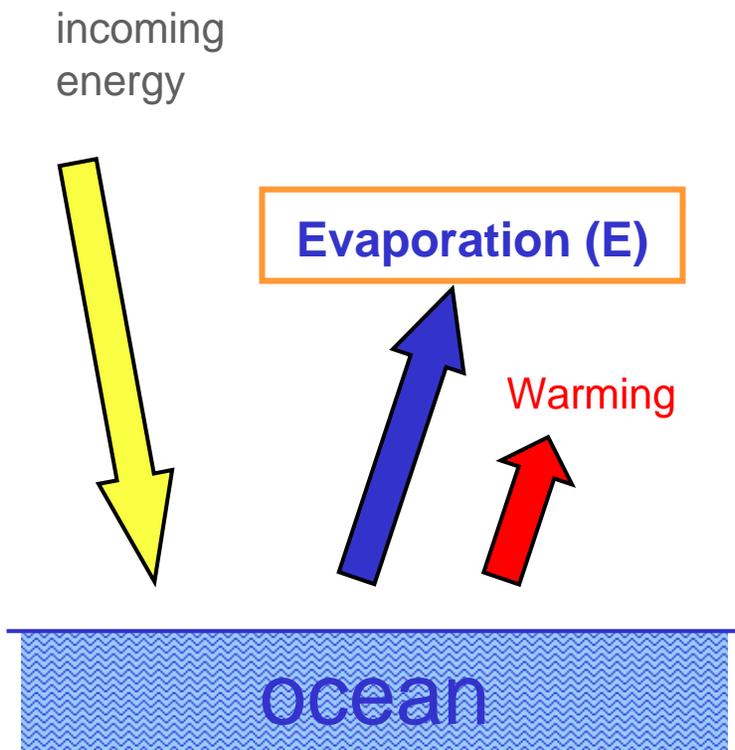
# distribution of water vapour

(Peixoto and Oort 1992)



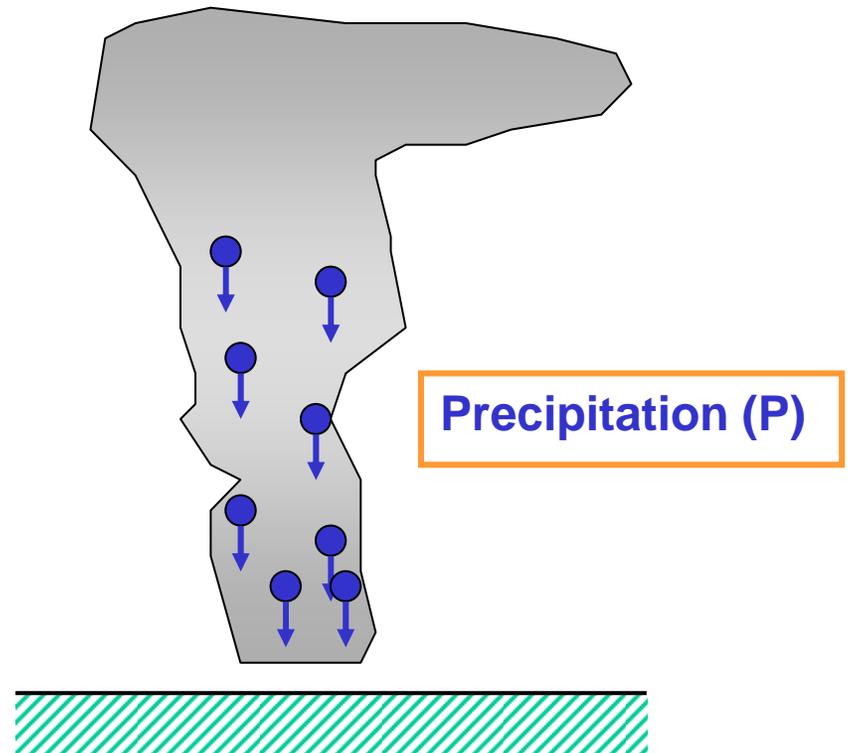
how does the water get into the atmosphere?

---



how is the water removed from the atmosphere?

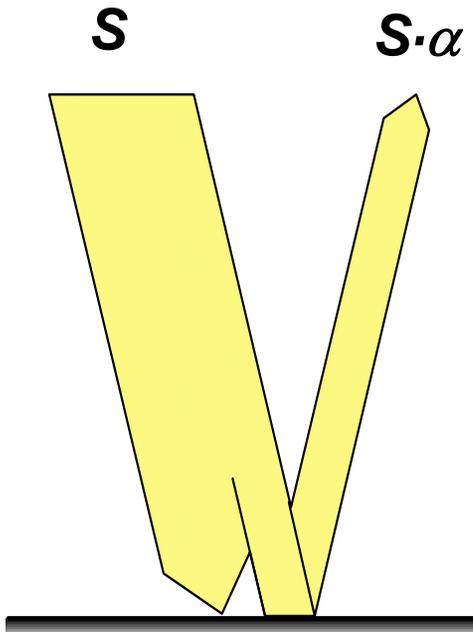
---



# Albedo

Albedo = Anteil der reflektierten (sichtbaren) Sonnenstrahlung

<i>Oberfläche</i>	<i>Bedingungen</i>	<i>Albedo <math>\alpha</math></i>
Wolken	100 m dick	0.4
	500 m dick	0.7
See, Ozean	Zenitwinkel 30°	0.05
	60°	0.10
	85°	0.6
Eis		0.25-0.35
Schnee	alt-frisch	0.45-0.85
Gras		0.2-0.3
Wald		0.1-0.2
<b>Globales Mittel</b>		<b>0.3</b>



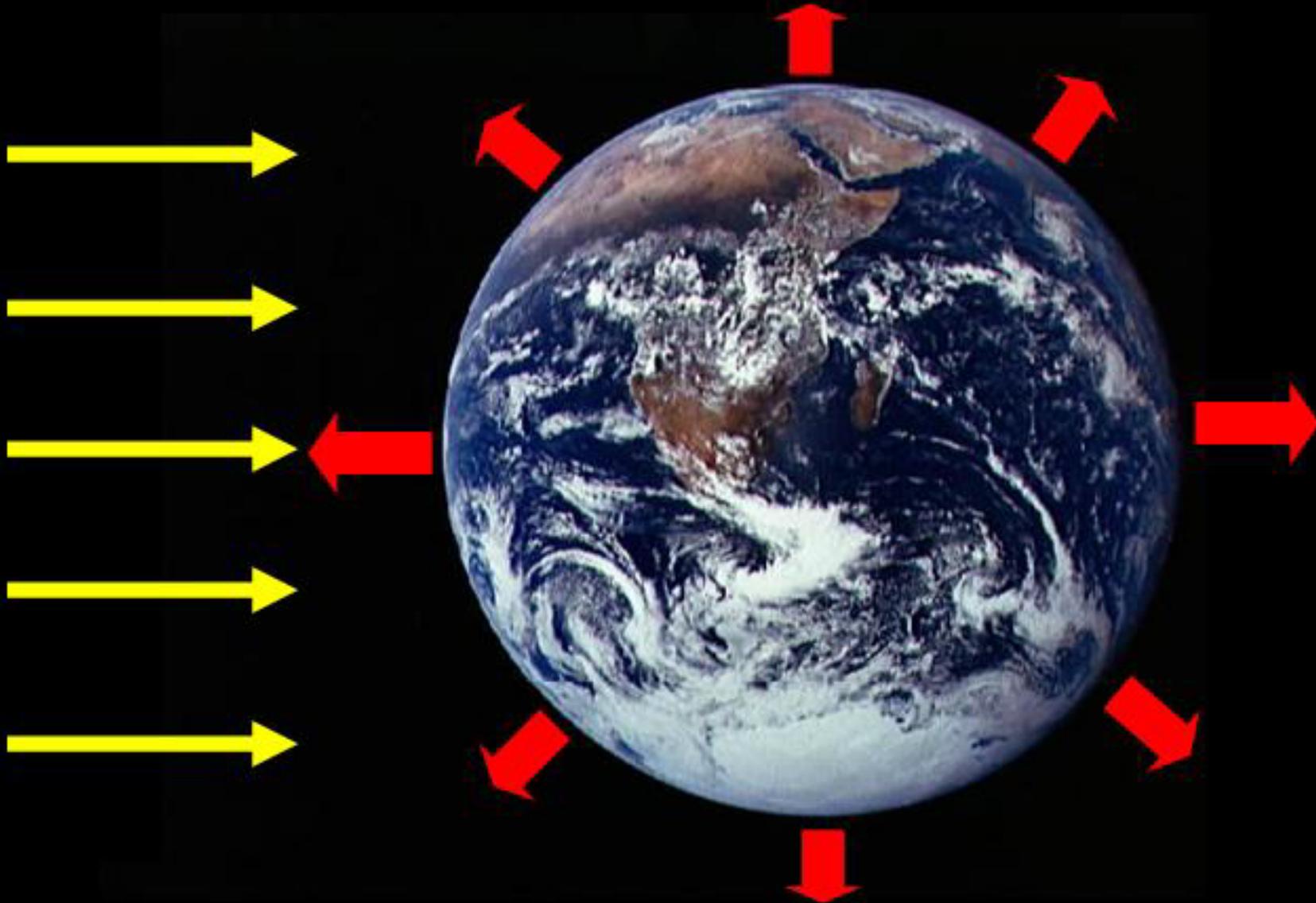
die verschiedenen "Formen" von Wasser haben sehr unterschiedliche Albedo (Einfluss auf Energiebilanz)



# Der Treibhauseffekt

# Global energy balance

**Incoming Sunlight = Emitted Infrared Radiation**



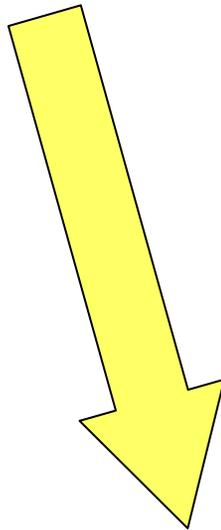
# first case: no atmosphere

---

*albedo = 0.16*

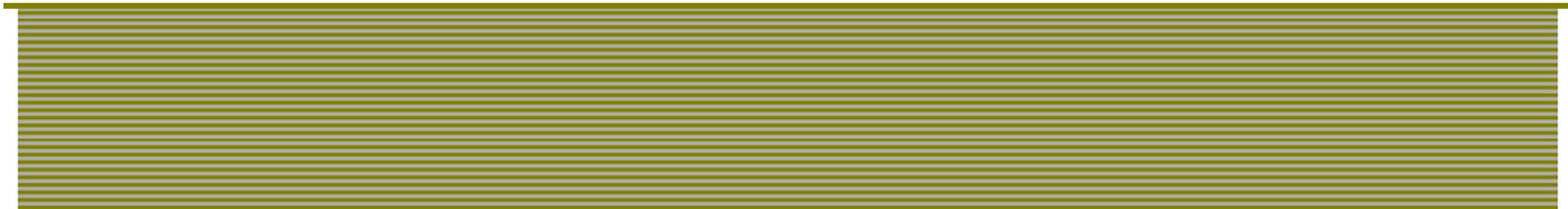
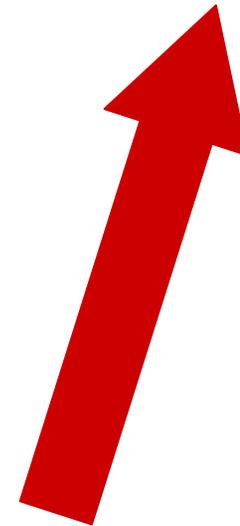
288 W/m<sup>2</sup>

incoming  
solar radiation

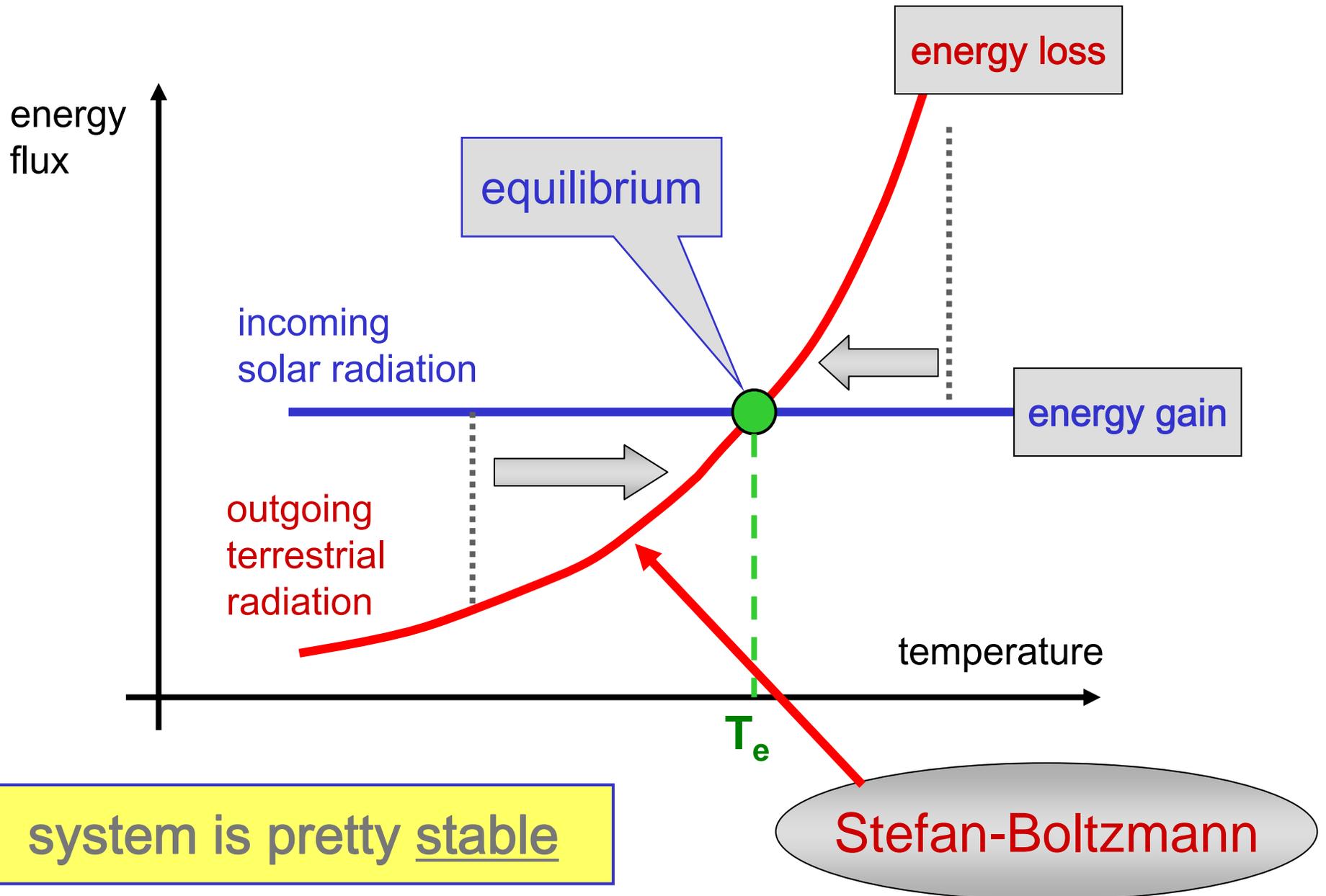


288 W/m<sup>2</sup>

outgoing  
terrestrial  
radiation



# Global energy balance

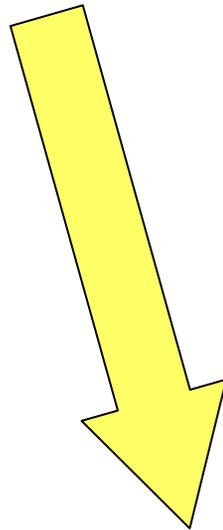


# first case: no atmosphere

*albedo = 0.16*

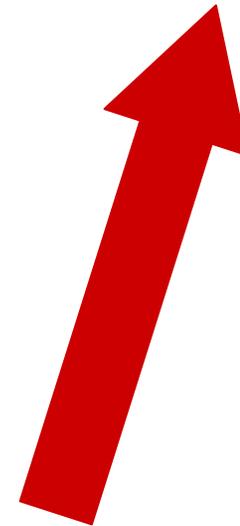
288 W/m<sup>2</sup>

incoming  
solar radiation



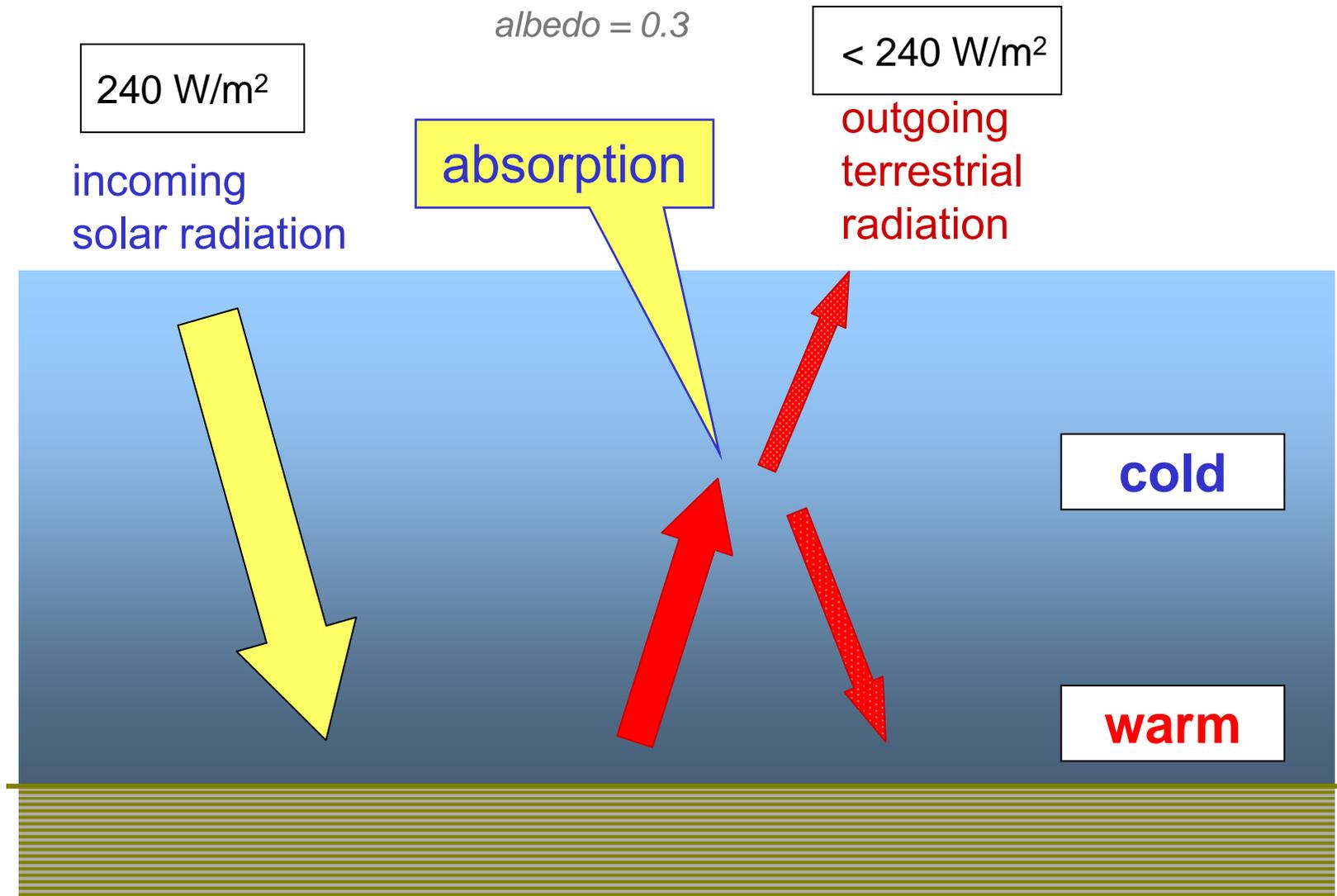
288 W/m<sup>2</sup>

outgoing  
terrestrial  
radiation



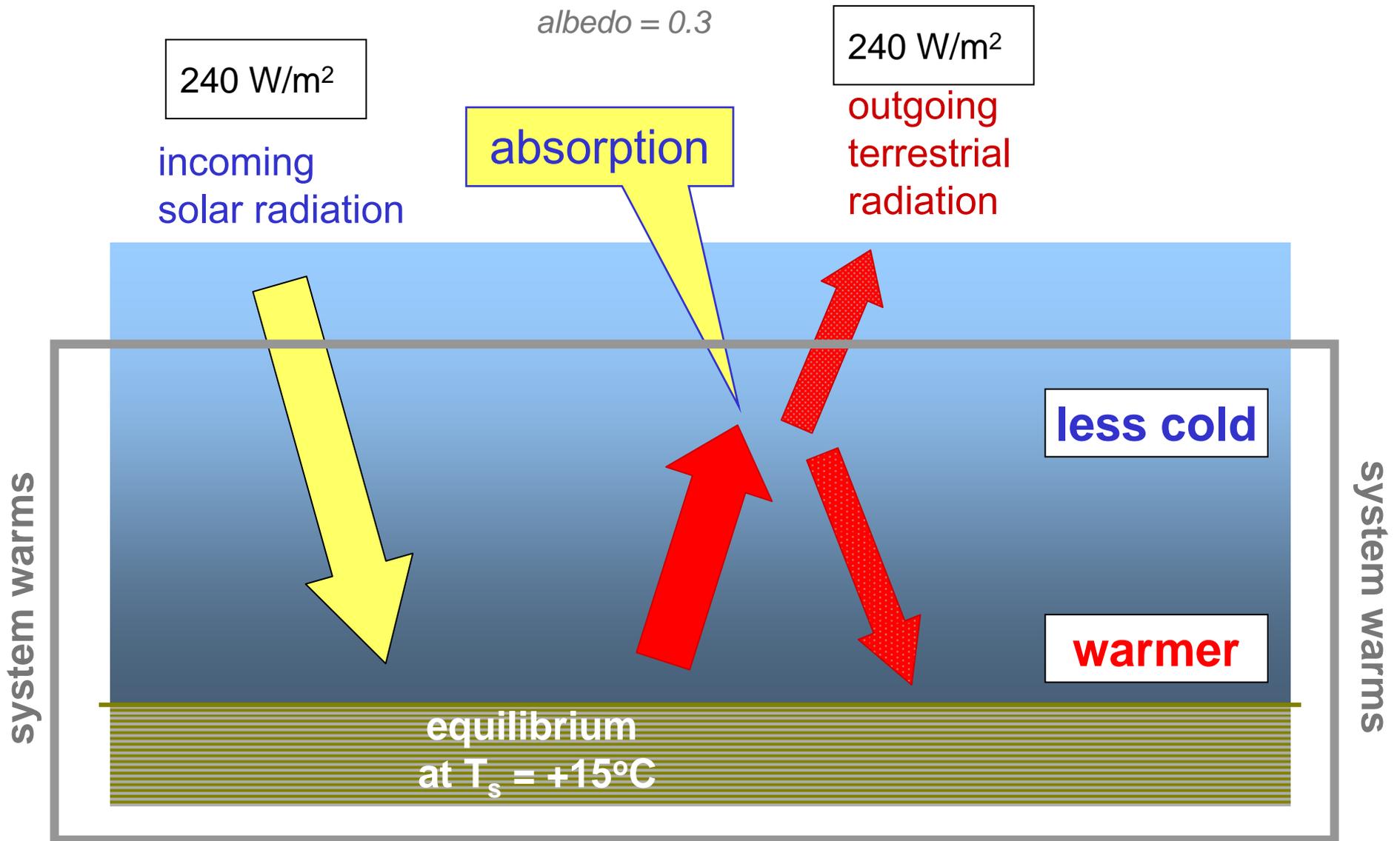
equilibrium  
at  $T_s = -6^\circ\text{C}$   
(observed:  $+15^\circ\text{C}$ )

## second case: with atmosphere



terrestrial radiation strongly interacts with the atmosphere  
(partial trapping)

# second case: with atmosphere



atmosphere/surface system warms → satisfy energy balance

# Greenhouse gases

GHG = Gas which can absorb terrestrial radiation

composition of the Earth's atmosphere

	Gas	content (fraction by volume in dry air)	
natural	N <sub>2</sub>	78 %	no GHG
	O <sub>2</sub>	21 %	
	Ar	0.9 %	
<hr/>			
"anthropo- genic"	H <sub>2</sub> O	0 – 4 %	greenhouse gases
	CO <sub>2</sub>	380 ppmv	
	O <sub>3</sub>	0-12 ppmv	
	CFC's	tiny fraction	
	.....	.....	

Humans increase CO<sub>2</sub>  
**(forcing)**

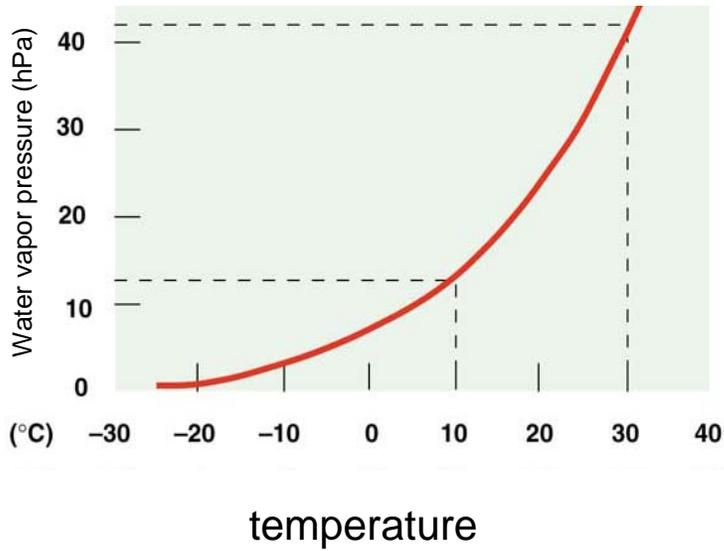
---

However  
the key question is:

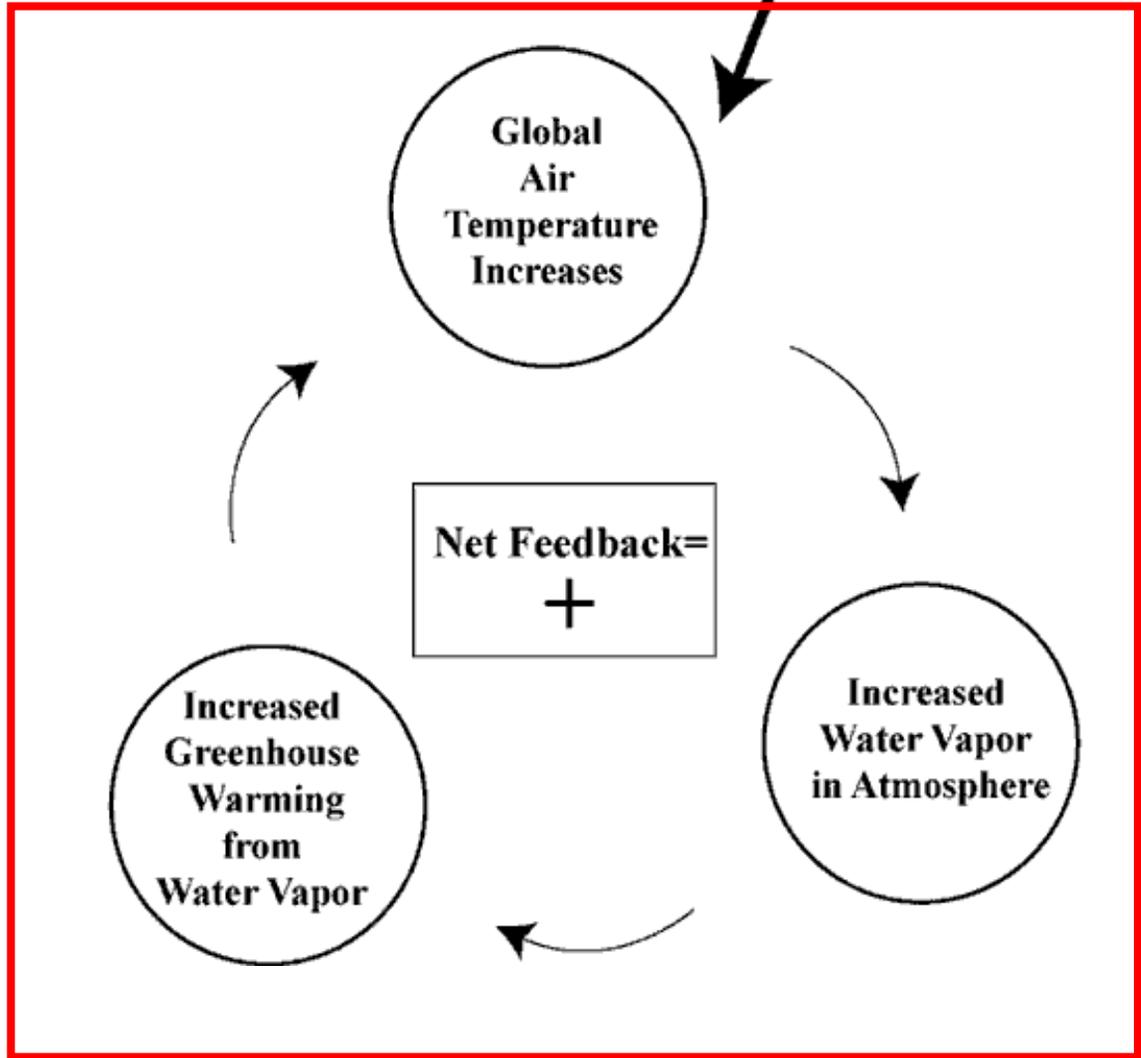
how does H<sub>2</sub>O respond!  
**(feedback)**

# Water vapor feedback

remember: **Clausius-Clapeyron**

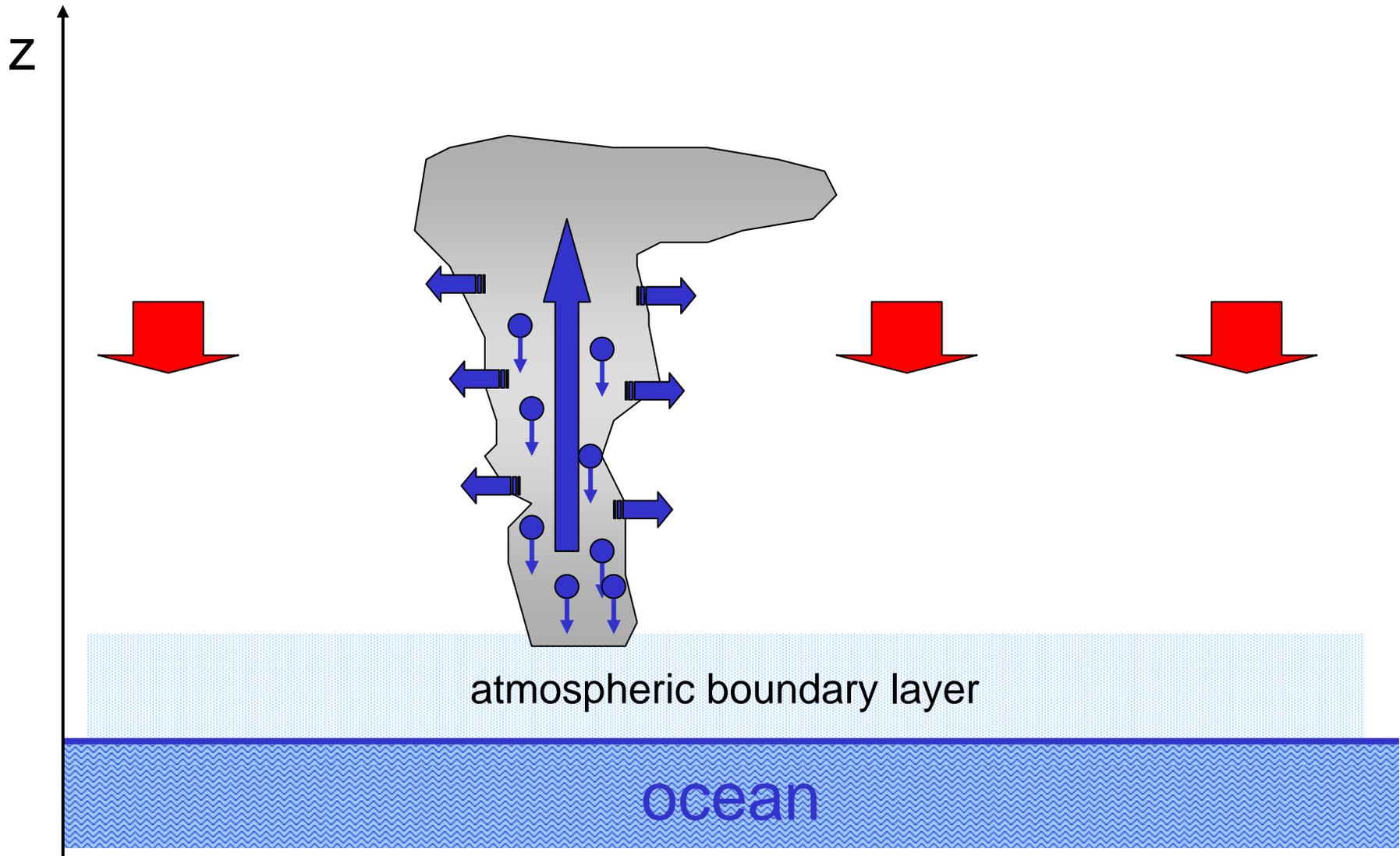


**Climate Forcing**  
**Increased CO<sub>2</sub> Concentration**

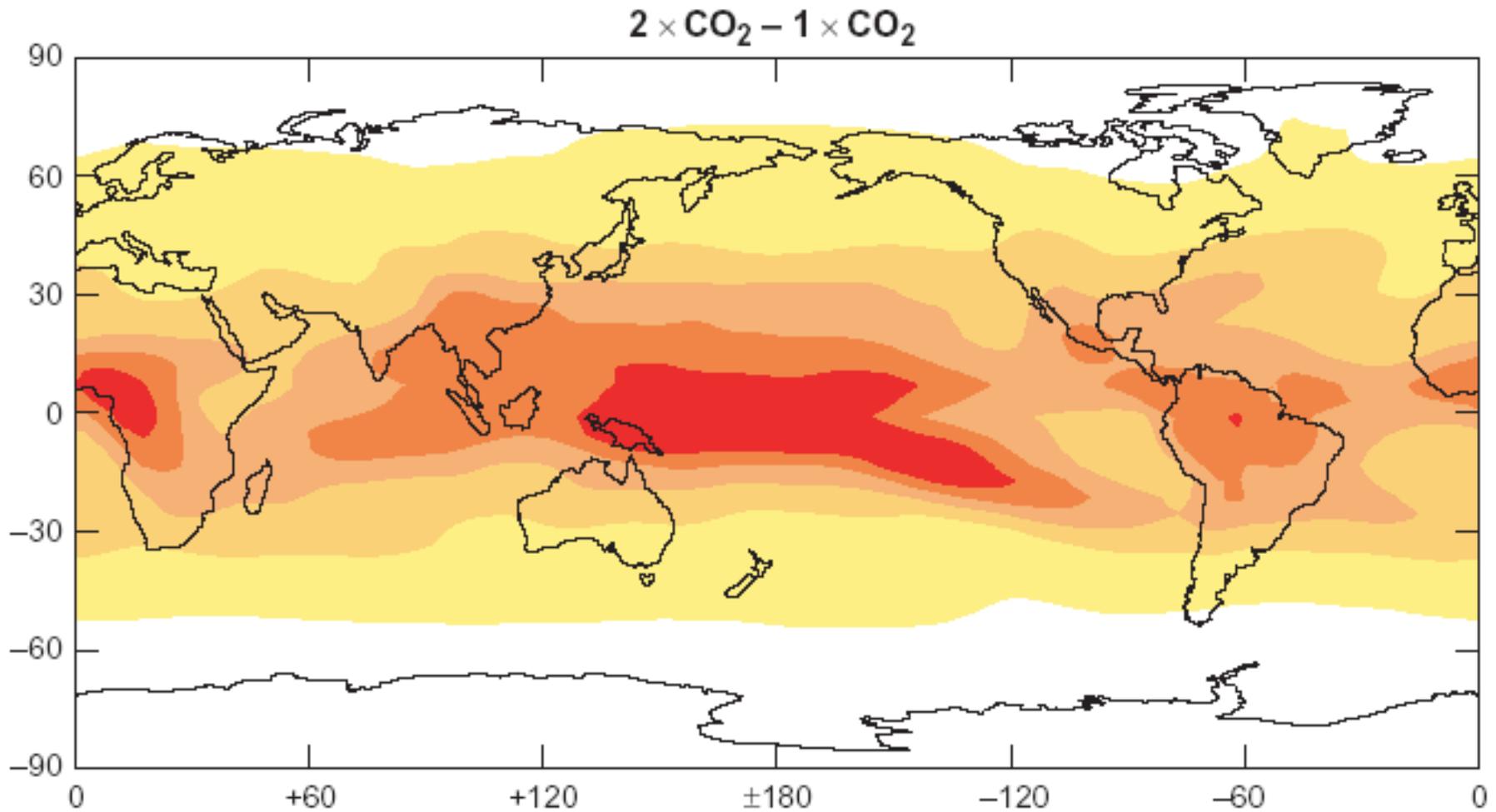


There are good reasons to believe that the water vapor feedback is positive

Higher  $T \rightarrow$  more atmospheric  $H_2O$ ?



## Model simulated change of water vapor in the upper troposphere

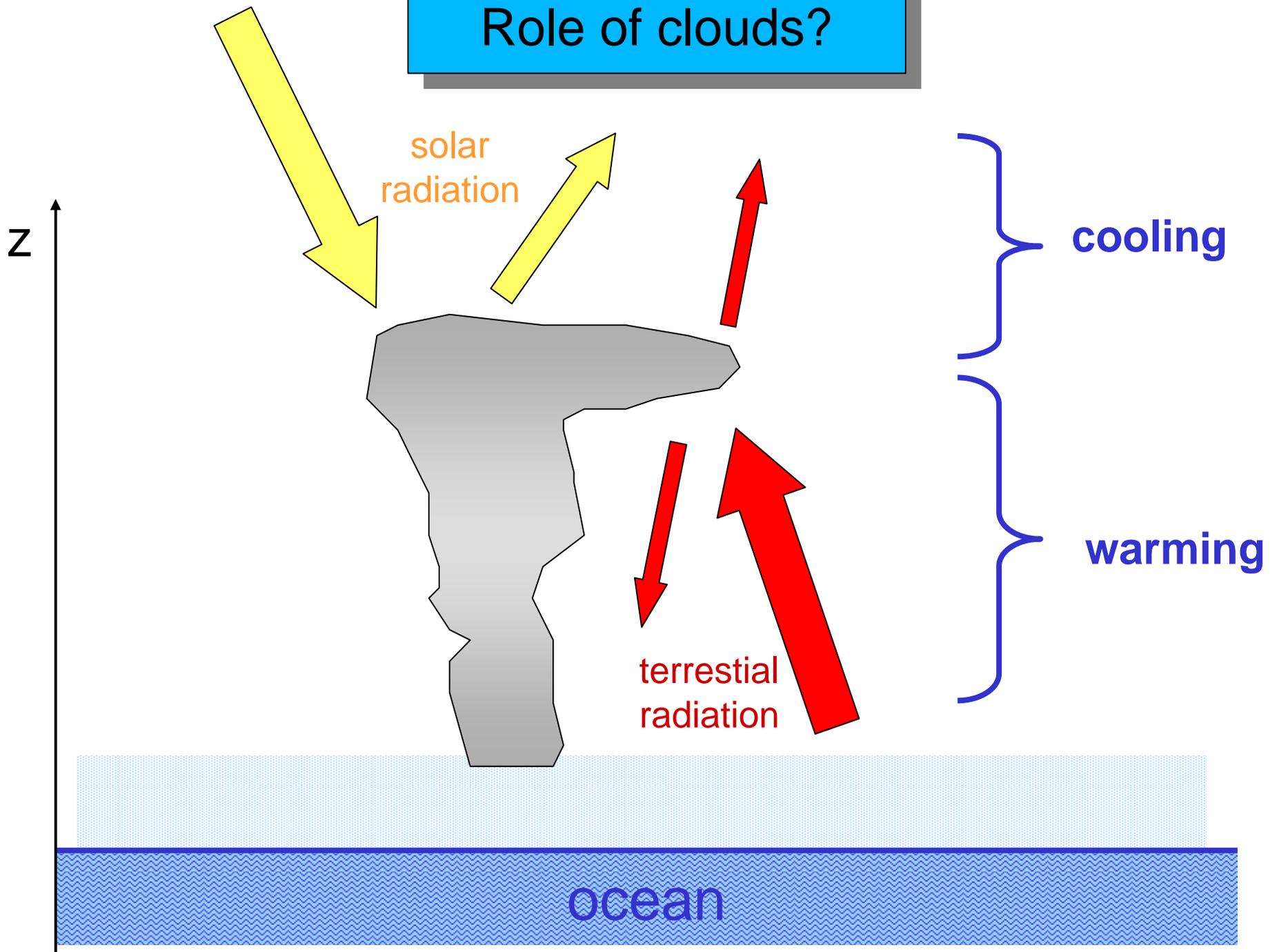


*Del Genio, Science, 2002*

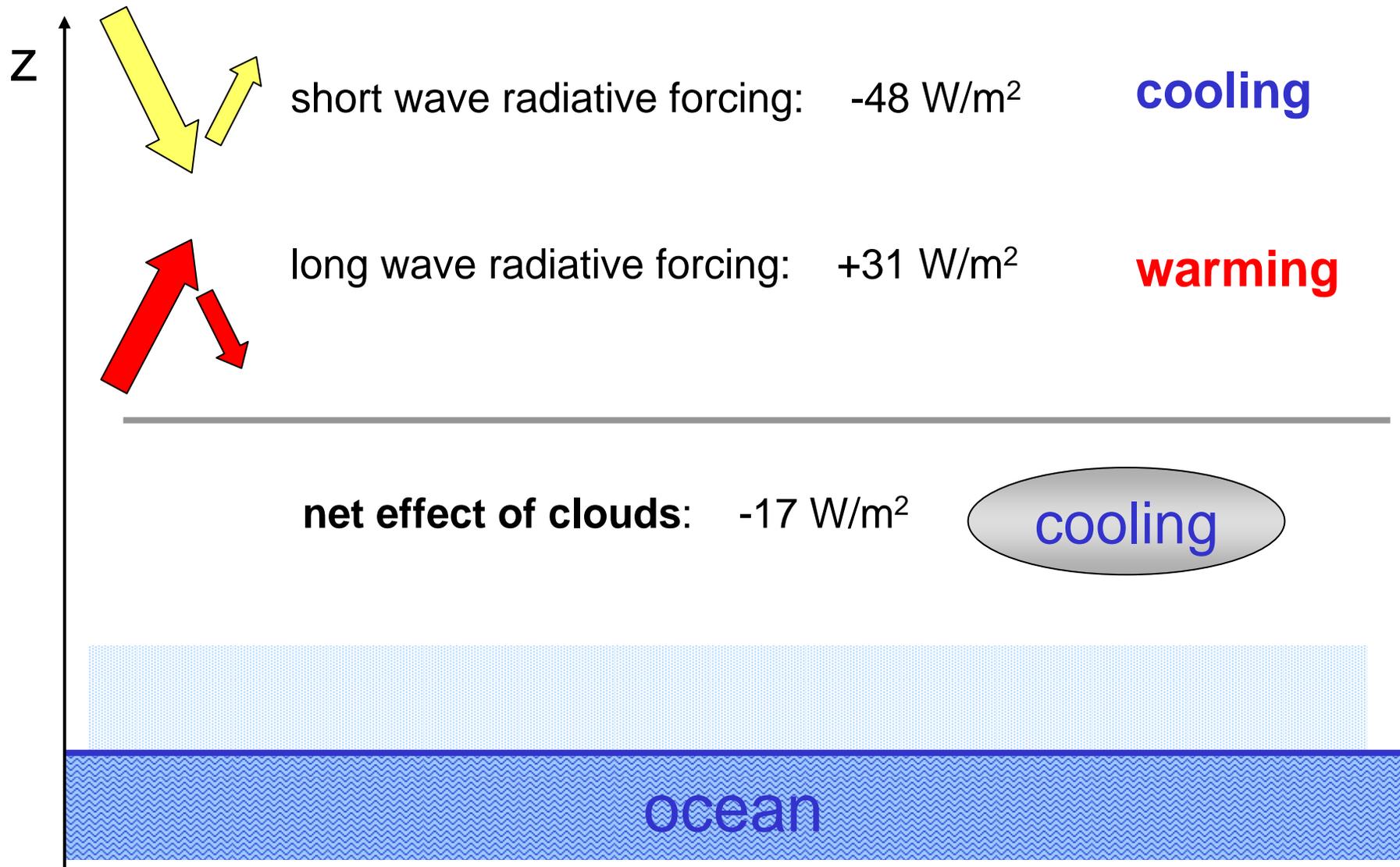
the role  
of clouds?



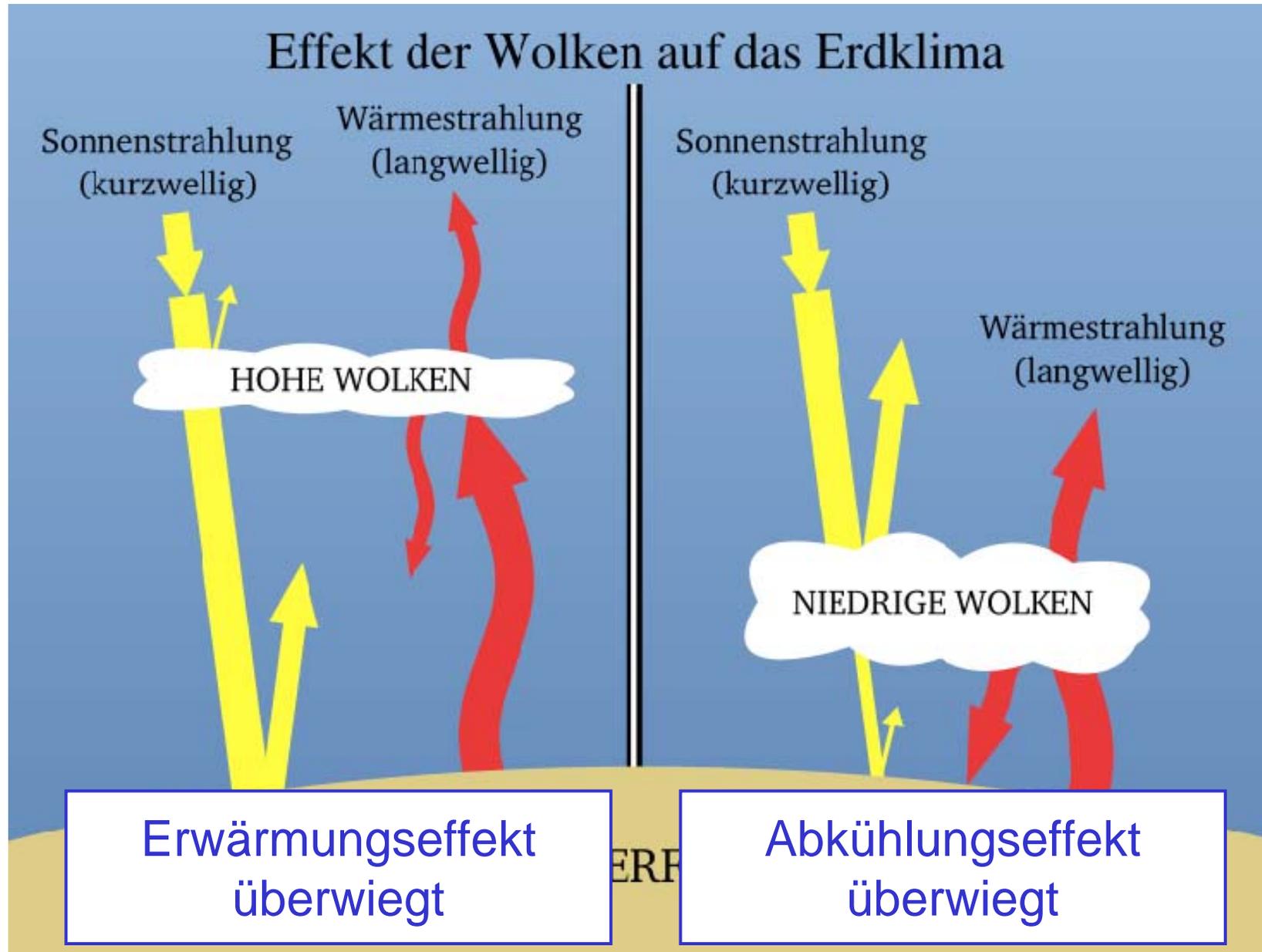
# Role of clouds?



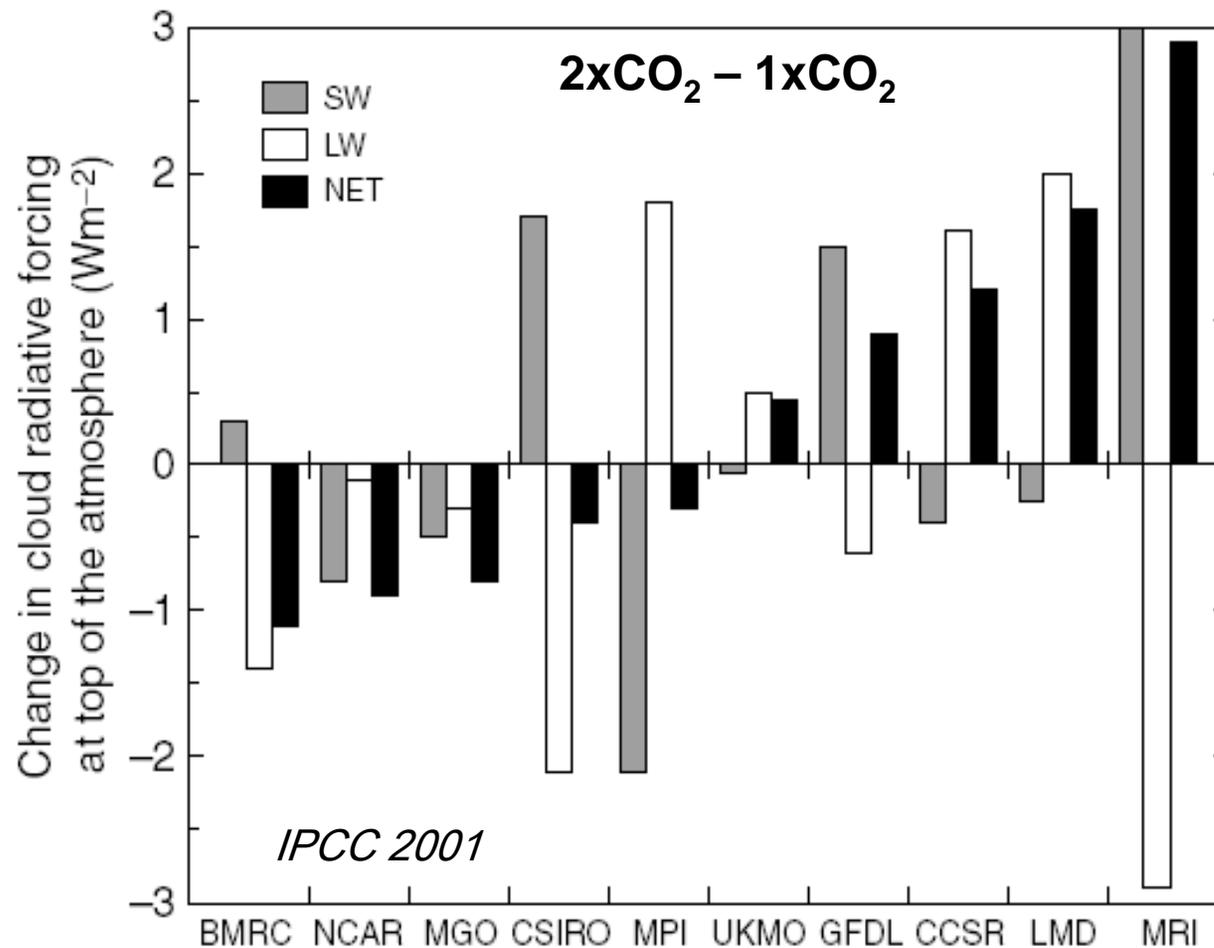
# Contradictory role of clouds



# Einfluss der Wolken?



# Role of clouds in different climate models



- large uncertainties
- possibly right for the wrong reasons

# Hydrologische Extreme

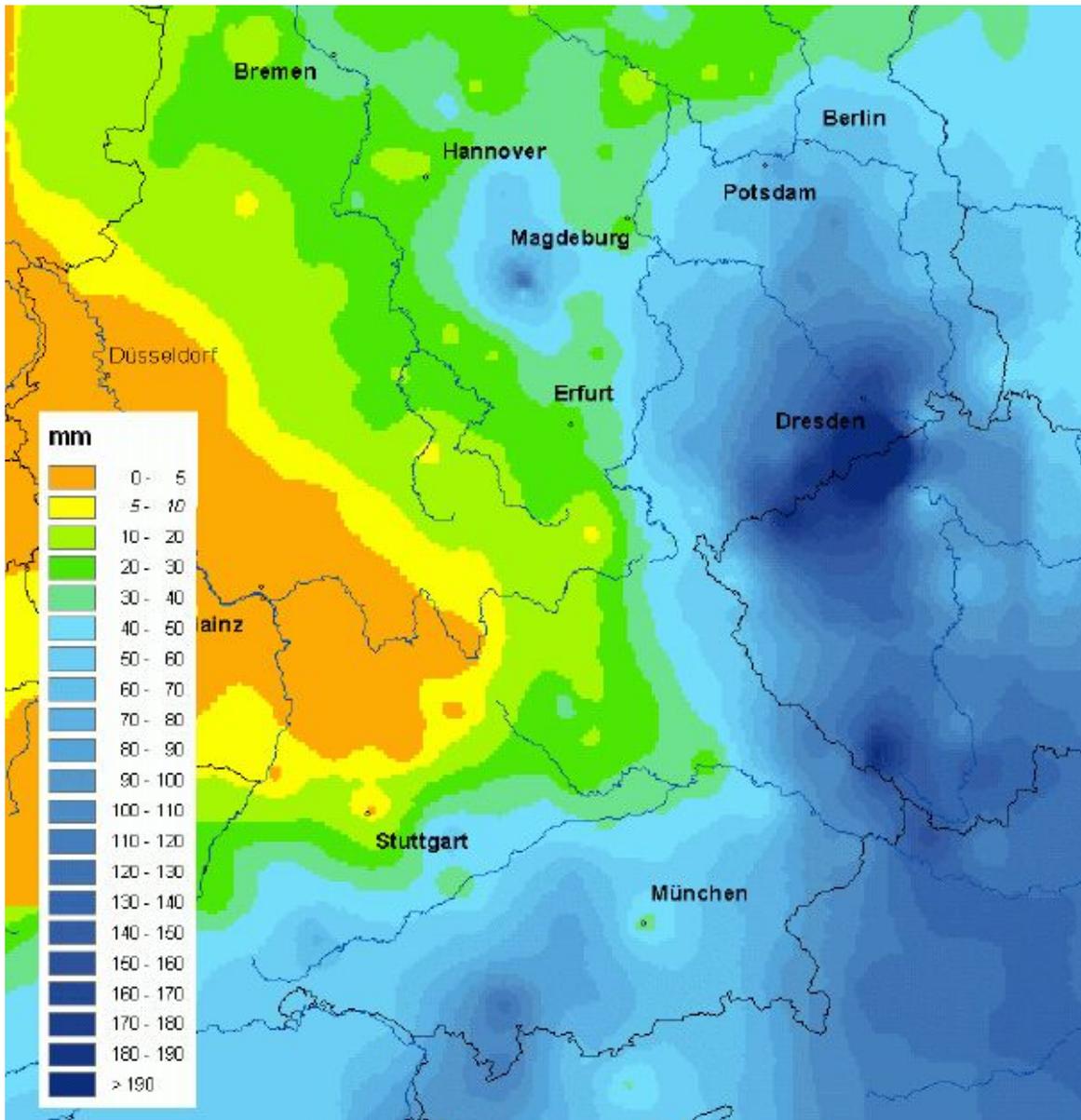
## 1. Starkregenereignisse



# August 2002

- Elbehöchststand seit Jahrhunderten
- Extreme Niederschläge im Erzgebirge
- ca 10 Mrd. Euro Schaden

# Niederschlag 10.-13. August 2002

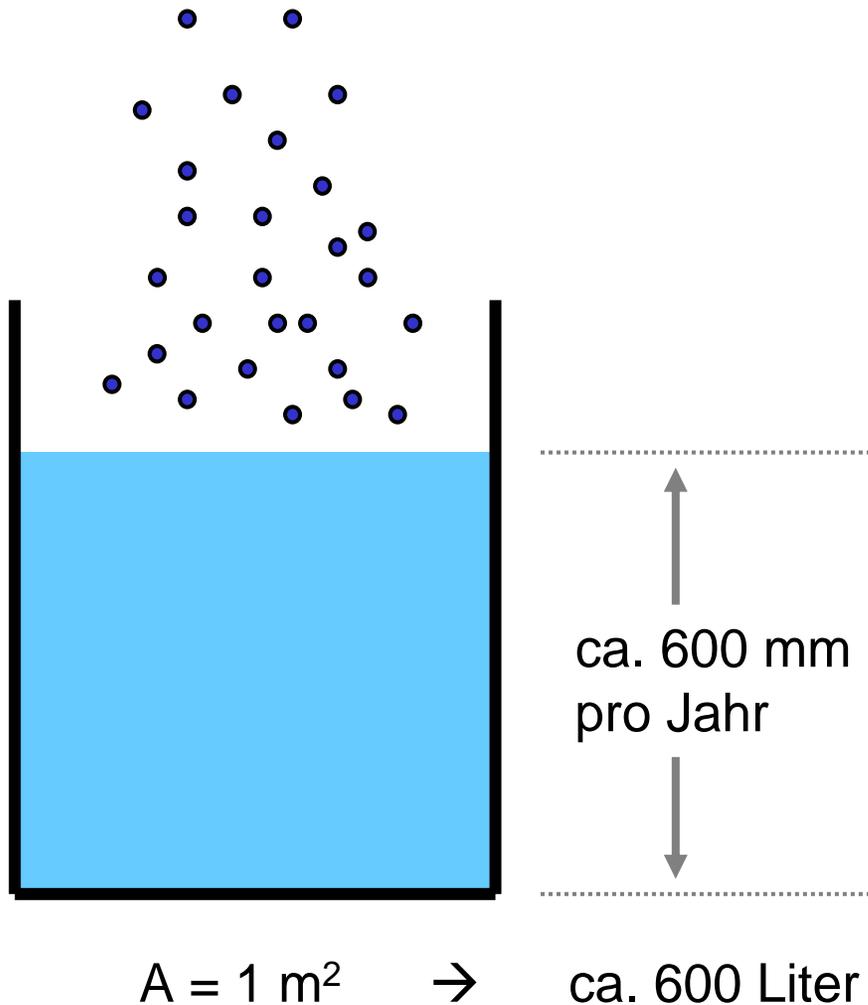


Höchster Wert  
in Zinnwald-  
Georgenfeld  
(südlich von  
Dresden):

**353 mm / 24 Std.**

(Quelle: DWD)

# Quantifizierung von Niederschlag



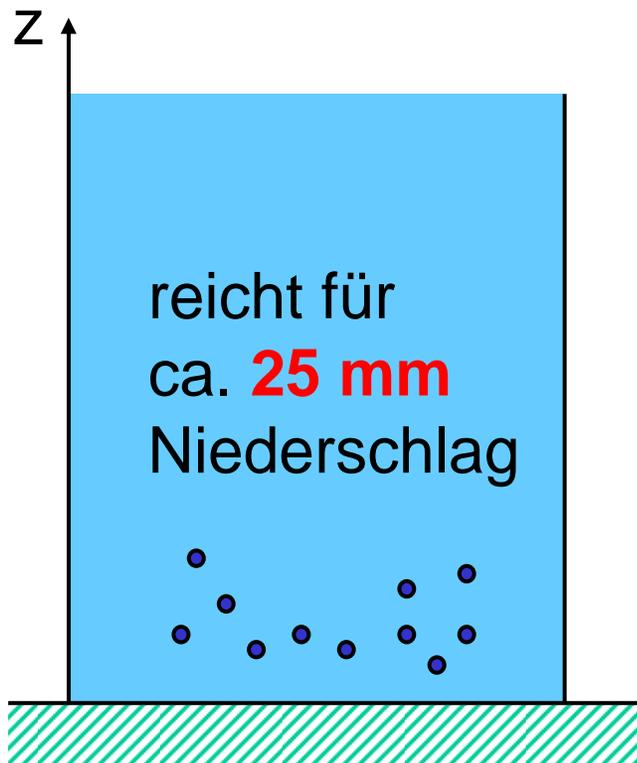
## Durchschnittliche Werte:

	pro Jahr	pro Tag
Mainz	<b>587 mm</b>	<b>1,6 mm</b>
Kemptner Hütte	<b>2000 mm</b>	<b>5,5 mm</b>
globales Mittel	<b>1000 mm</b>	<b>2,7 mm</b>

## Zinnwald-Georgenfeld (August 2002):

**353 mm / 24 h**

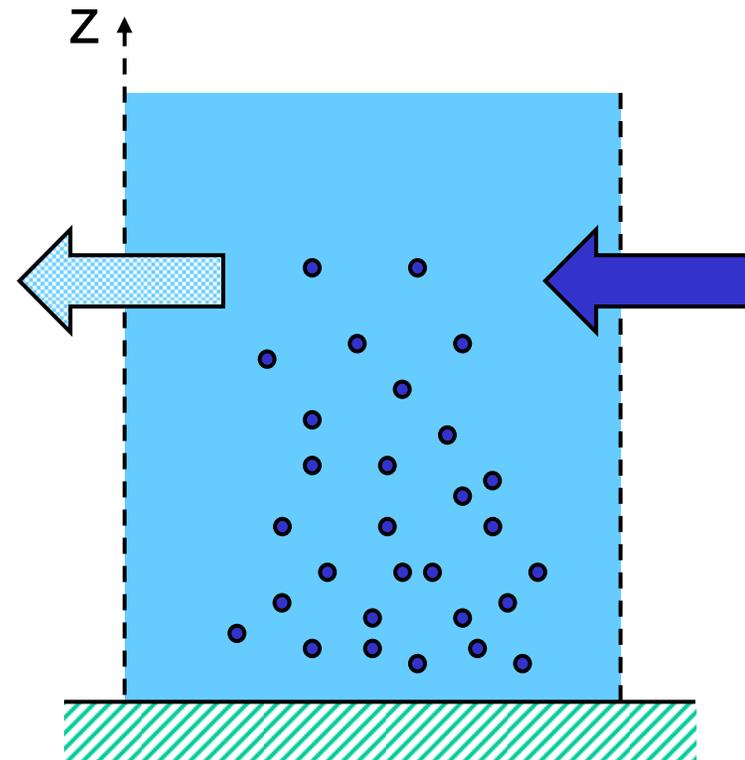
Wieviel Wasserdampf  
enthält die Atmosphäre  
unter normalen  
Bedingungen?



Wie kann es 353 mm  
in 24 Std. regnen?

Feuchte muss

- (a) kontinuierlich durch den Wind herangeschafft werden
- (b) lokal zum Ausregnen gebracht werden

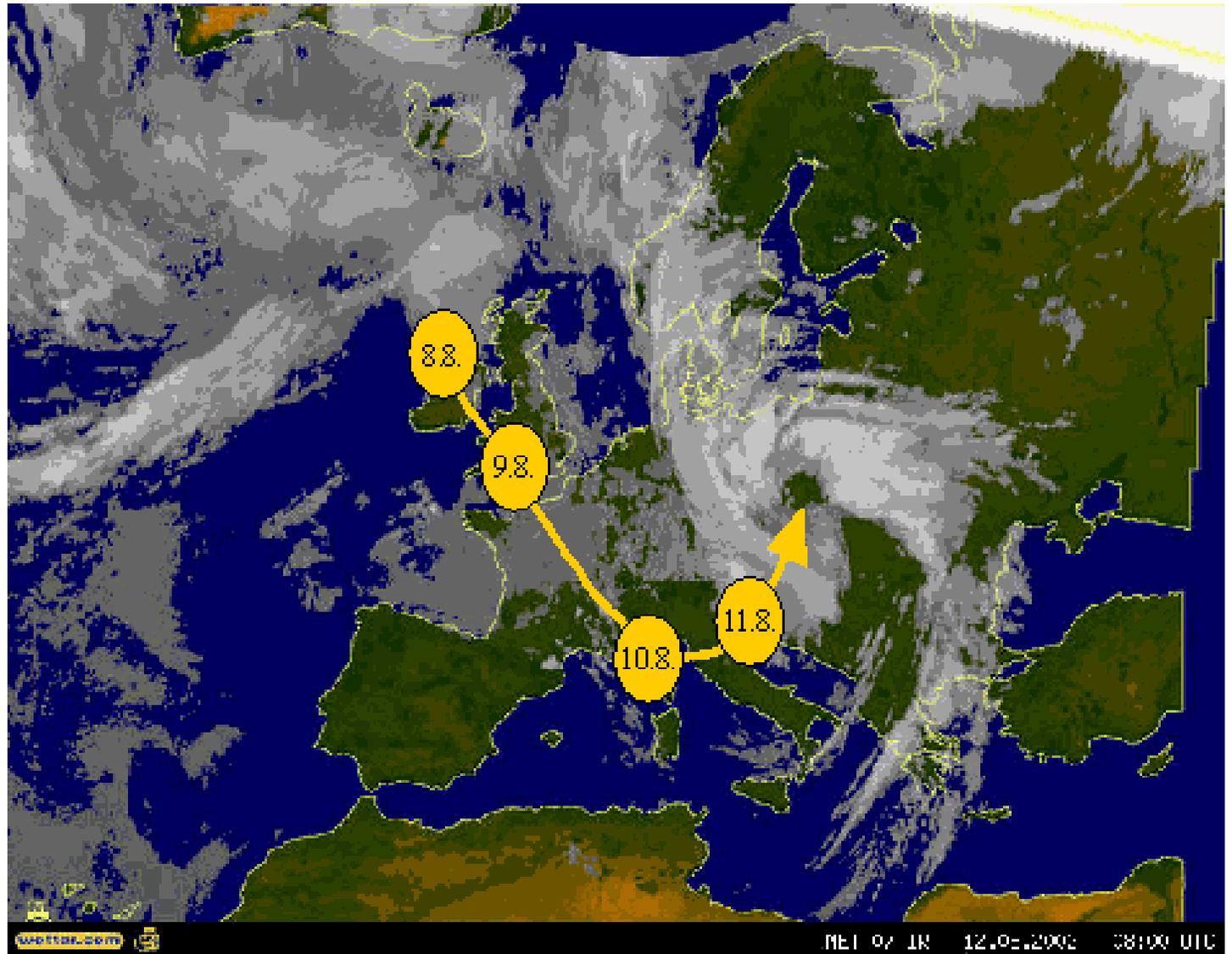


# Niederschlag verursacht durch das Tief Ilse 2

Meteosat  
Satellitenbild  
(IR Kanal)  
vom  
12. August 2002



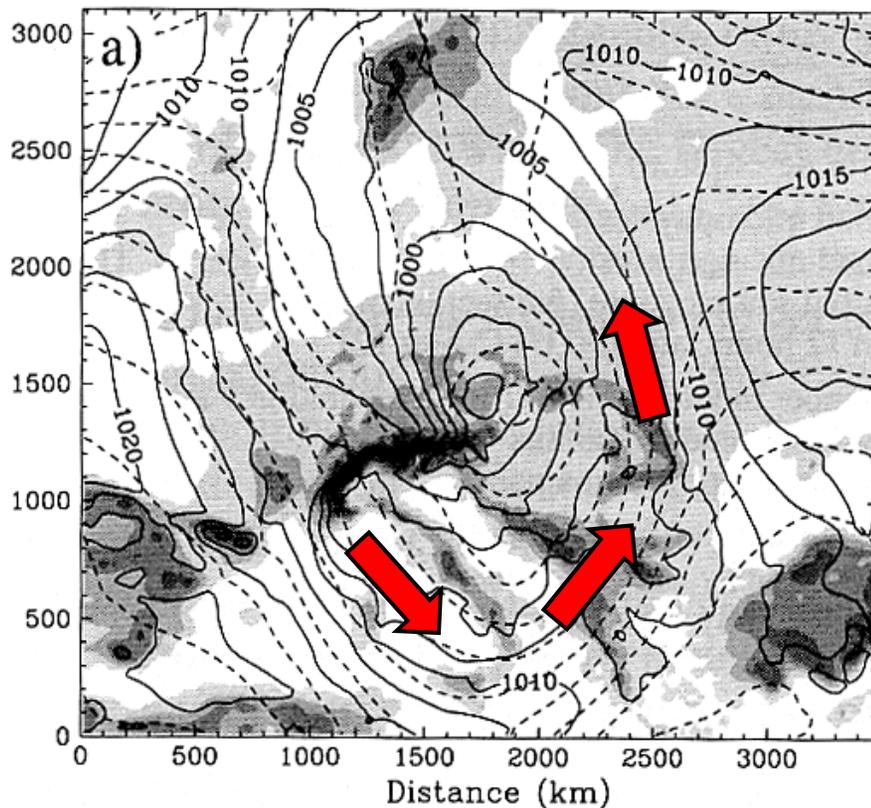
Zyklonen-  
zugbahn Vb



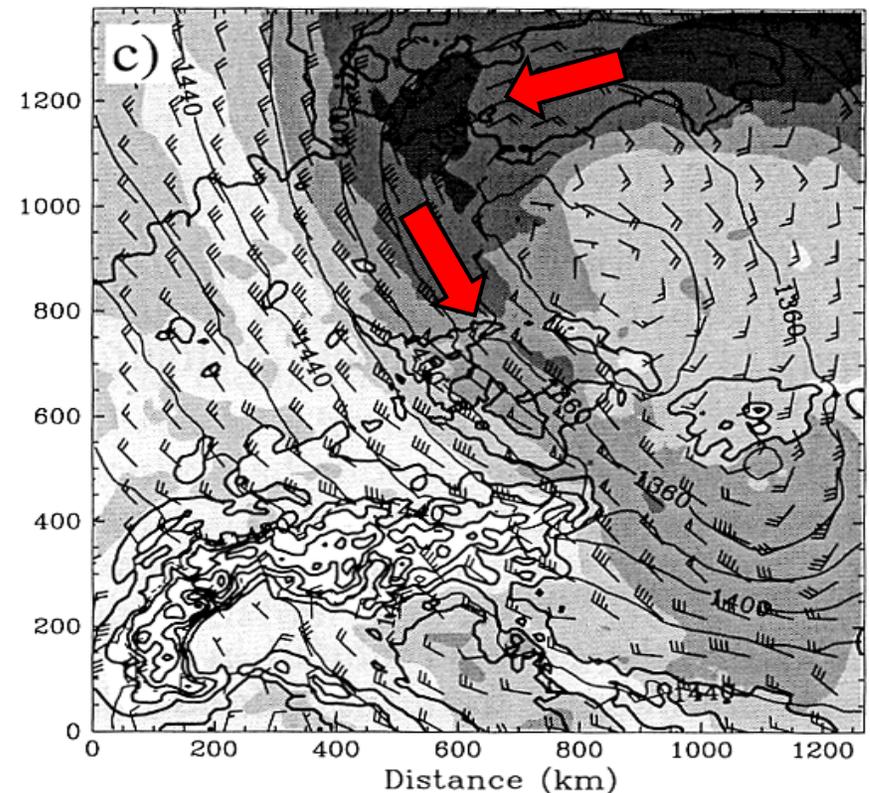
# Feuchtetransport durch das Tief Ilse 2

Quelle: G. Zängl (2004)

Bodendruck (durchgezogen) und  
500 hPa Geopotential (gestrichelt)  
am 12. August, 06 UTC



850 hPa Geopotential und Wind  
(Konturen und Symbole) und  
potentielles Regenwasser  
(schattiert) am 12. Aug., 18 UTC



(Max.: 45 mm pot. Regenwasser)

# Eine Summe von Faktoren

1. **Zugbahn Vb** mit Feuchtetransport aus dem Süden
2. **Orografisch** erzwungenes Aufsteigen am Erzgebirge  
→ Stau effekt und **lokales** Ausregnen
3. Tief nahezu **stationär**
4. Vorher schon zwei Episoden mit Starkniederschlägen  
→ **Boden gesättigt !**

# Hydrologische Extreme

## 2. Trockenperioden

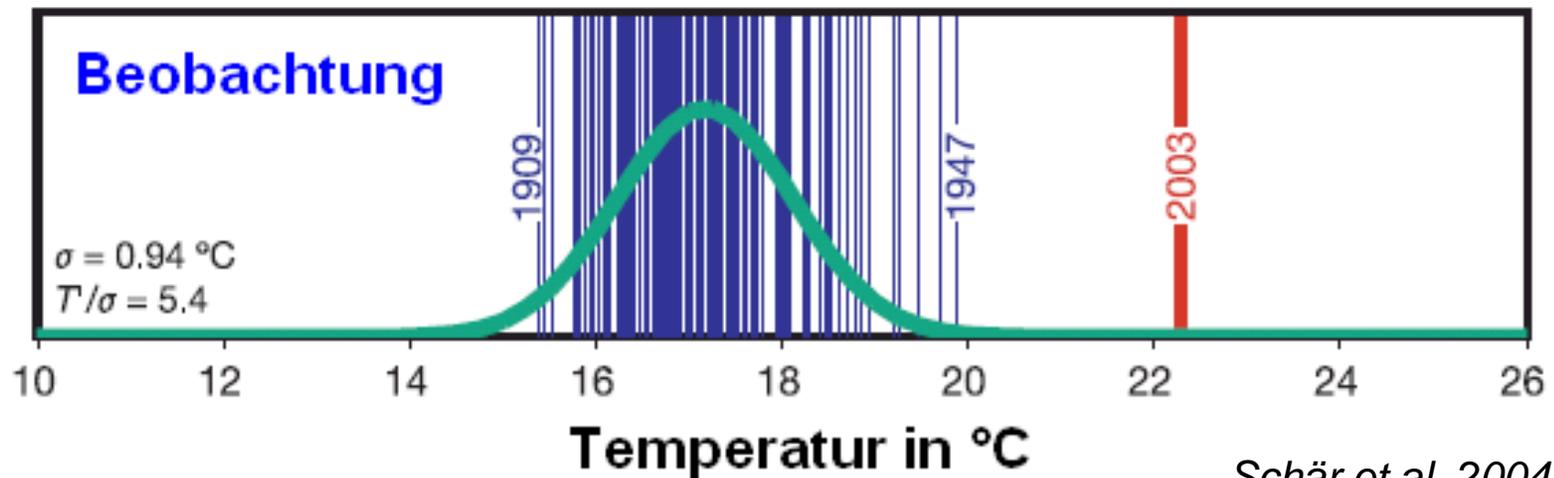


# Sommer 2003

- Über Wochen andauernde extrem hohe Temperaturen
- Maximum in Deutschland: 40.2 Grad C
- Sehr wenig Niederschlag
- >25000 zusätzliche Tote (bes. Frankreich)

# Verhältnisse in der Schweiz

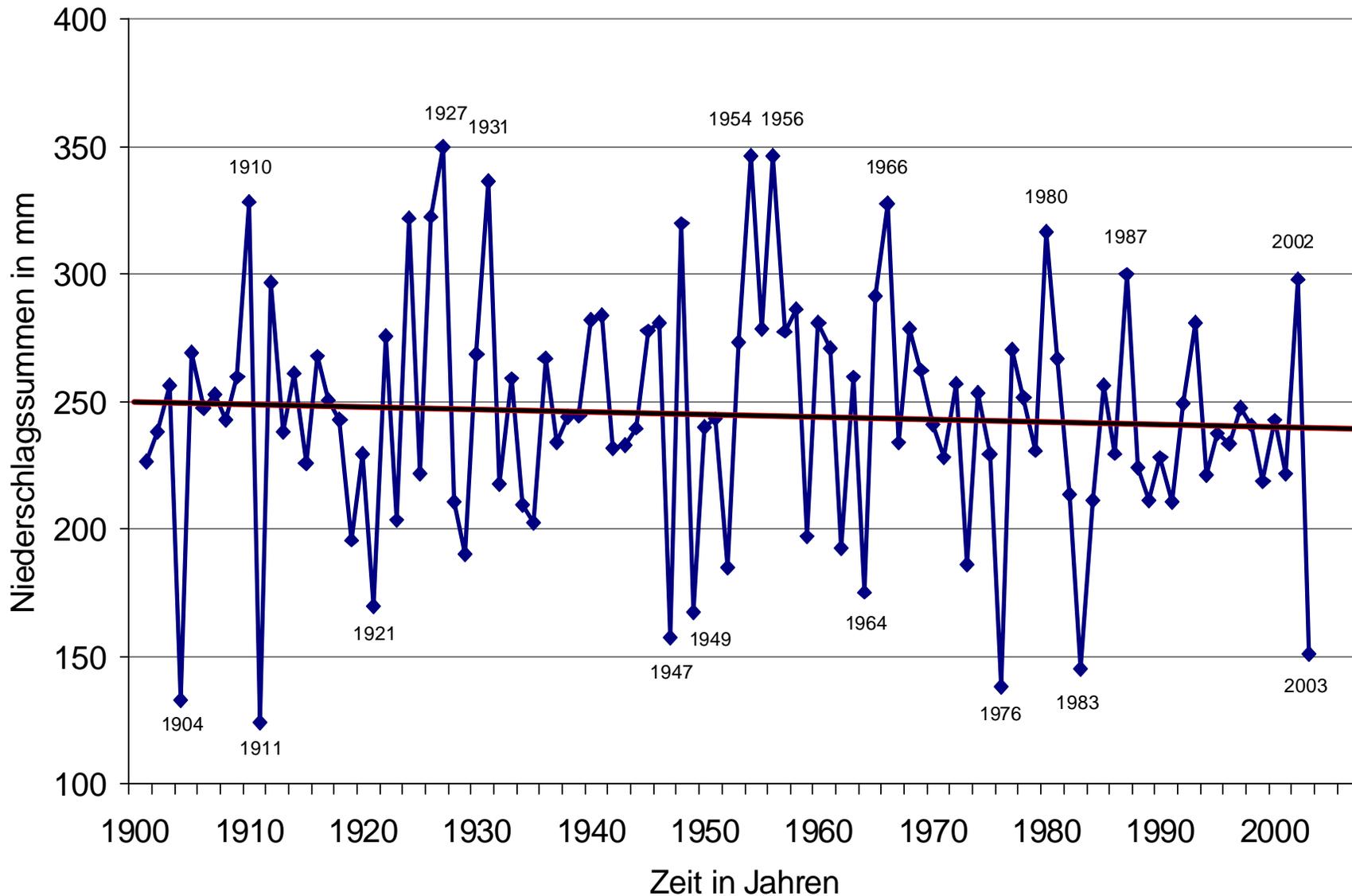
Sommertemperatur 2003 liegt 5.4 Standardabweichungen  
über dem Mittelwert  
(Standardabweichung ermittelt aus den Jahren 1864-2000)



**Sommer 2003: seltener als 1x alle 10000 Jahre**

# Sommer 2003: sehr trocken

Niederschlag Deutschland, Sommer, Flächenmittel 1901-2003



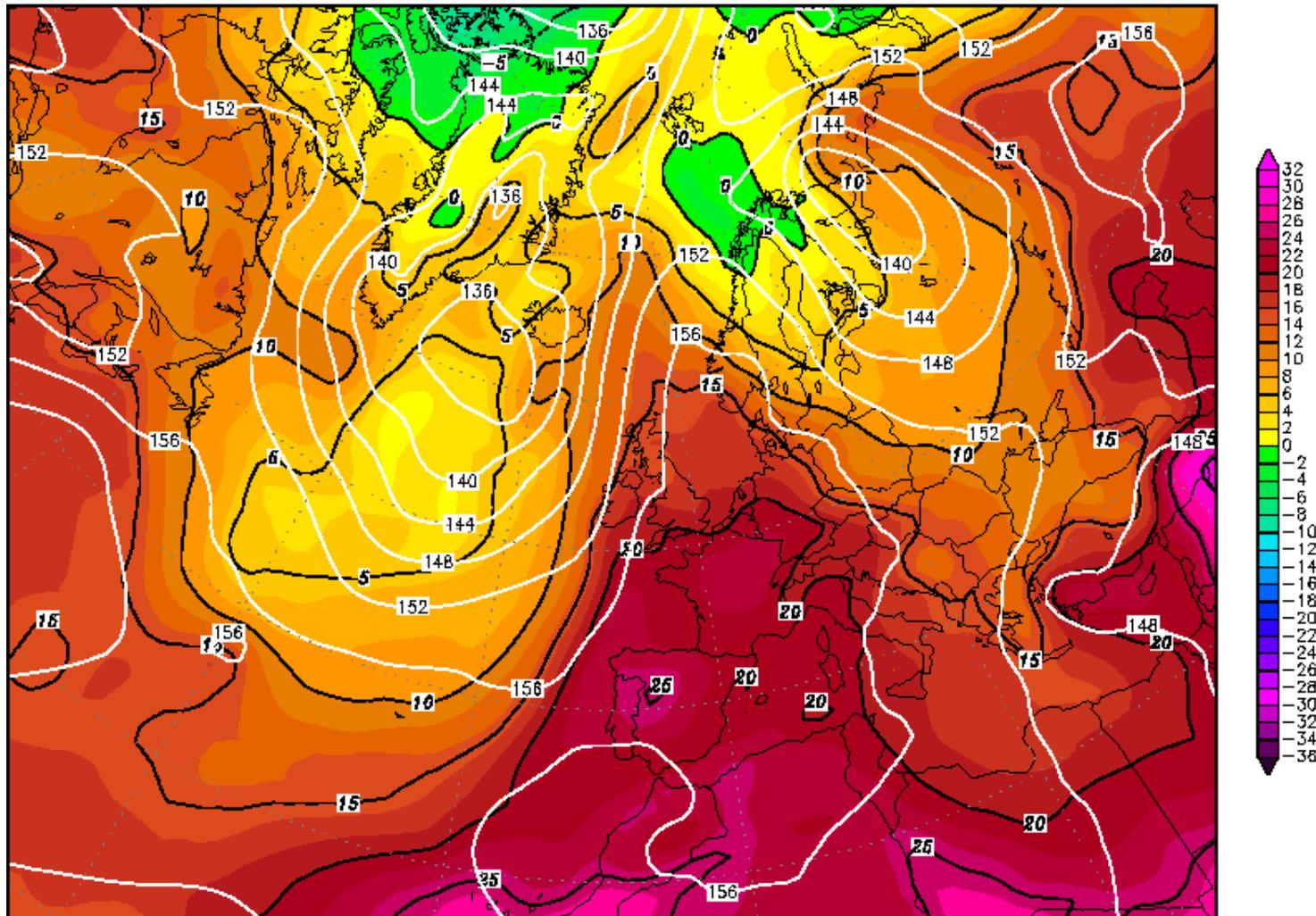
Quelle:  
Schönwiese  
et al. 2003

# Hochdruckkeil über Westeuropa

Init : Sat,09AUG2003 00Z

Valid: Sat,09AUG2003 00Z

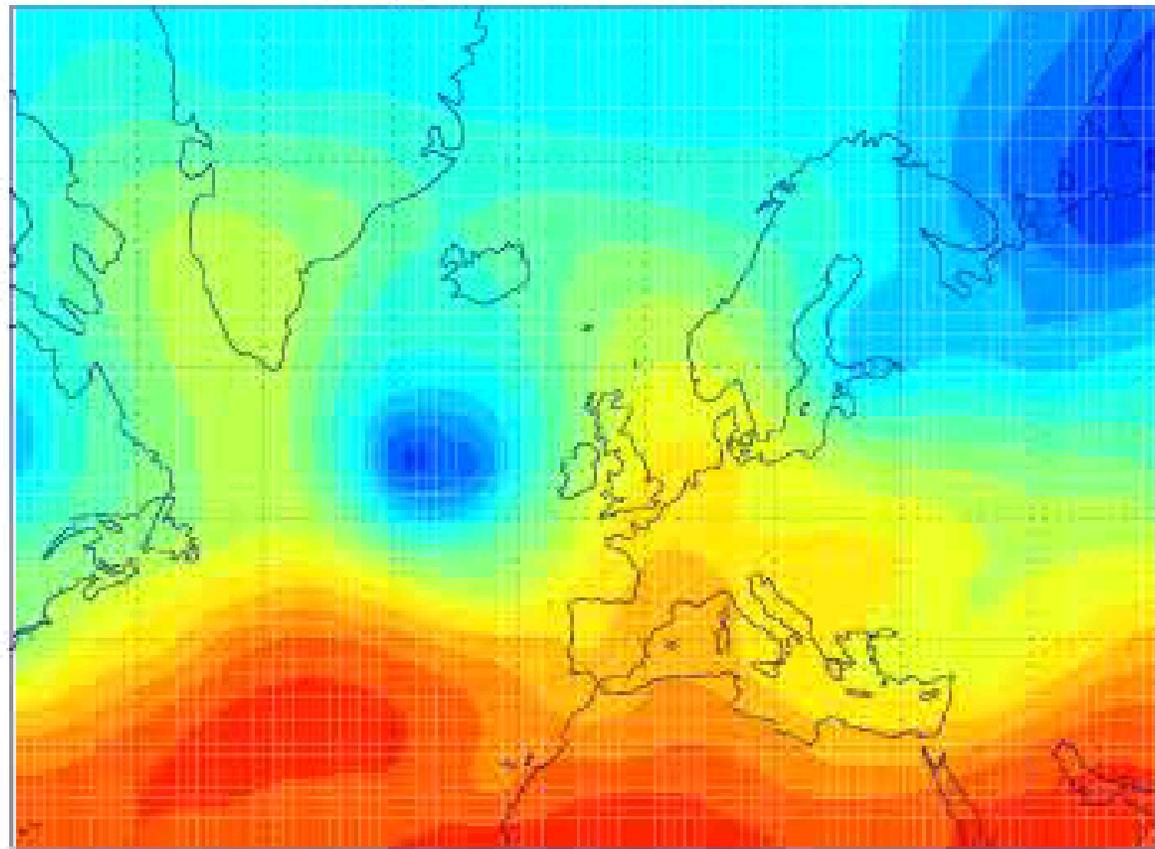
850 hPa Geopot. (gpdm) und Temperatur (Grad C)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

# Synoptische Entwicklung über Europa Juni bis August 2003

Geopotential at 500hPa



Daten:  
ECMWF-ERA

Bearbeitung:  
B. Wecker,  
D. Reinert

2003/6/1/0



# Verstärkung der Hitze durch Austrocknen der Böden

Hochdrucklage:

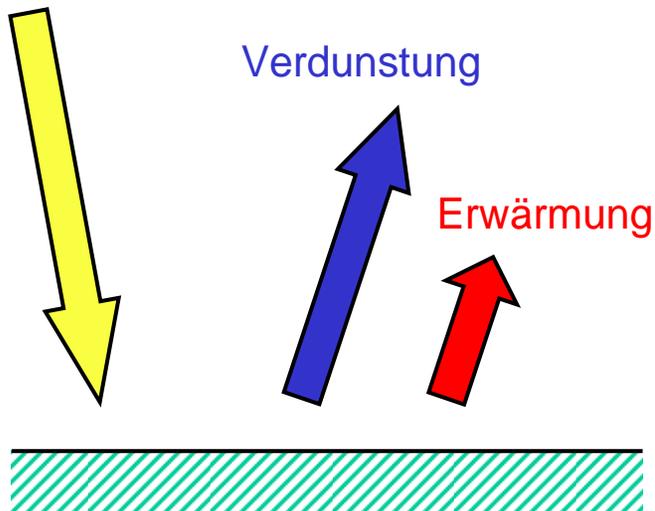
- Südwind
- Sonnenschein



- Hitze
- **Trockenheit**

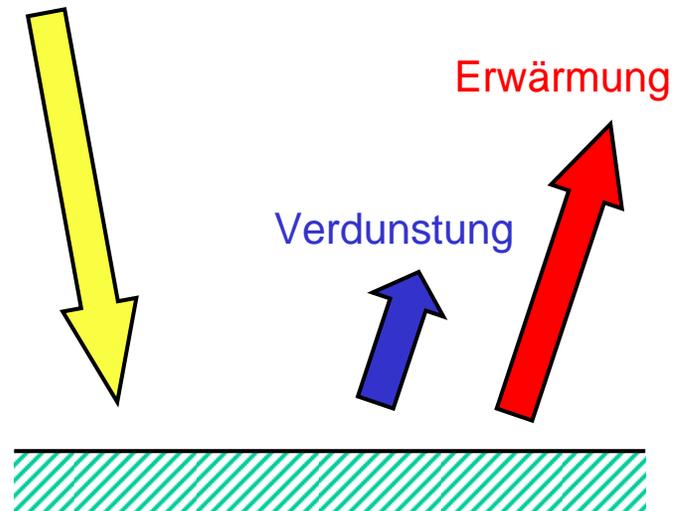
Lange Dauer → **Austrocknen der Böden** (*dauert 1-2 Monate!*)

eingestrahelte  
Energie



normaler Boden

eingestrahelte  
Energie



trockener Boden

# Wie sieht die Zukunft aus?

Wie ändert sich der Wasserkreislauf  
in einem sich ändernden Klima?

Wir gehen von einem  
anthropogenen **Klimawandel** aus

---

- Fragen:
- 1. Wie wirkt sich der auf den Wasserkreislauf aus?**
  - 2. Speziell:  
die hydrologischen Extreme?**

# Projektionen der Klimamodelle

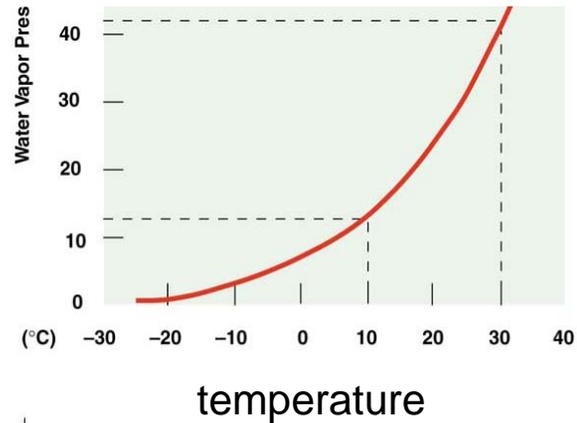
- Mehr Niederschlag im Winter
- Zunahme hydrologischer Extreme im Sommer
  - weniger Niederschlag im Sommer (*siehe Sommer 2003*) ....
  - ... aber Zunahme von sommerlichen Starkniederschlägen  
(*siehe Sommer 2002*)

**PARADOX...**

# Wasserspeicherkapazität der Atmosphäre

zur Erinnerung:  
**Clausius-Clapeyron**

**+7%/K**

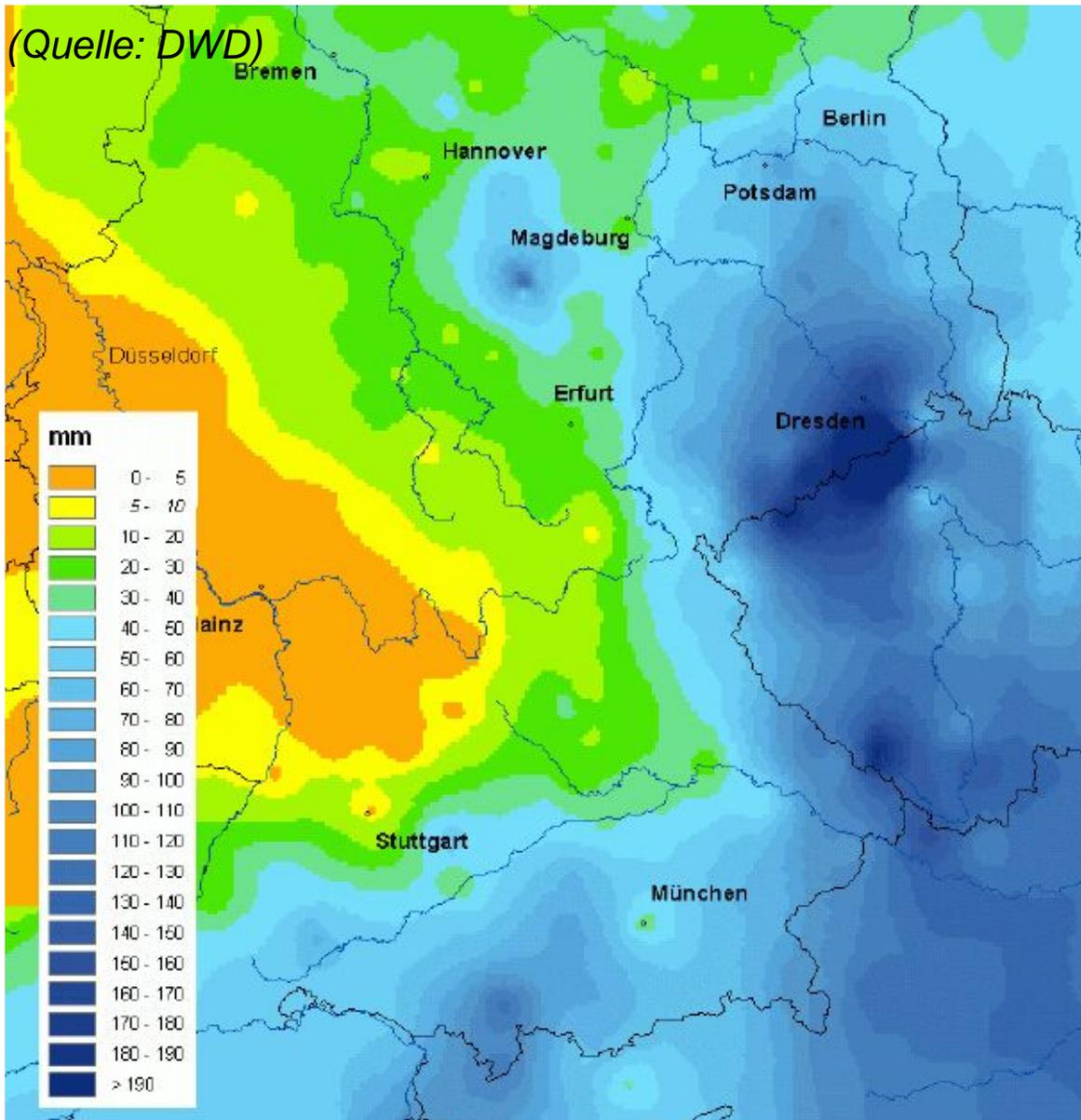


Atmosphäre

**25 mm**  
**Wasser(dampf)**

Ozean / Erdoberfläche

# Niederschlag 10.-13. August 2002



Höchster Wert  
in Zinnwald-  
Georgenfeld  
(südlich von  
Dresden):

**353 mm / 24 Std.**

$$\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$$

Clausius-Clapeyron:  
35% mehr Wasser.

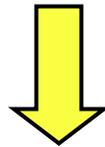
→ **477 mm / 24 Std.**

# Wie wirkt die Klimaveränderung auf den Niederschlag P?

**Wasserspeicherkapazität** der Atmosphäre:

- hängt stark von T ab (Clausius-Clapeyron)
- 7% mehr Wasser pro Grad Erwärmung

Im Einzelfall steht deutlich mehr Wasser für P zur Verfügung



➤ Extremniederschläge könnten zunehmen

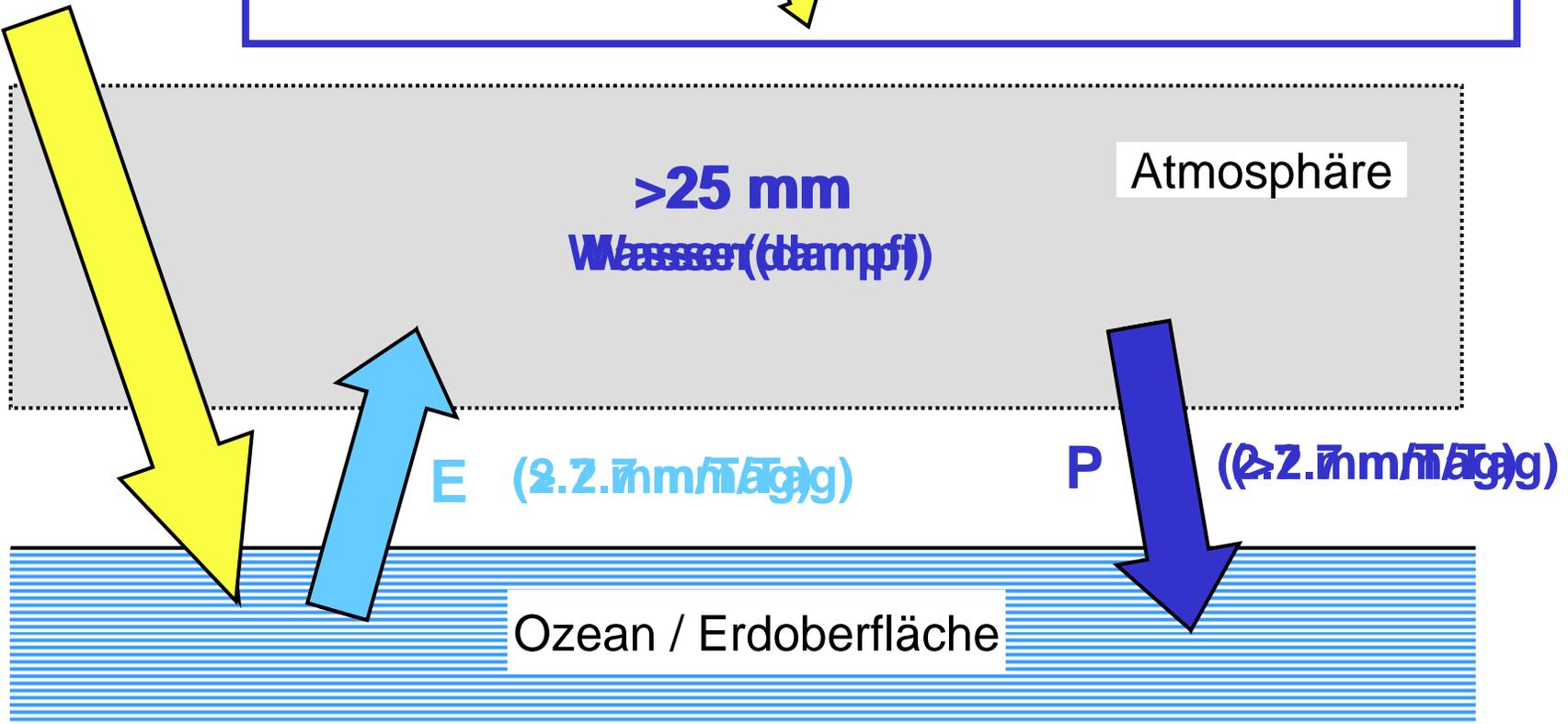
**aber: nehmen Niederschläge insgesamt zu?**

# Wie wirkt die Klimaveränderung auf den **mittleren** Niederschlag?

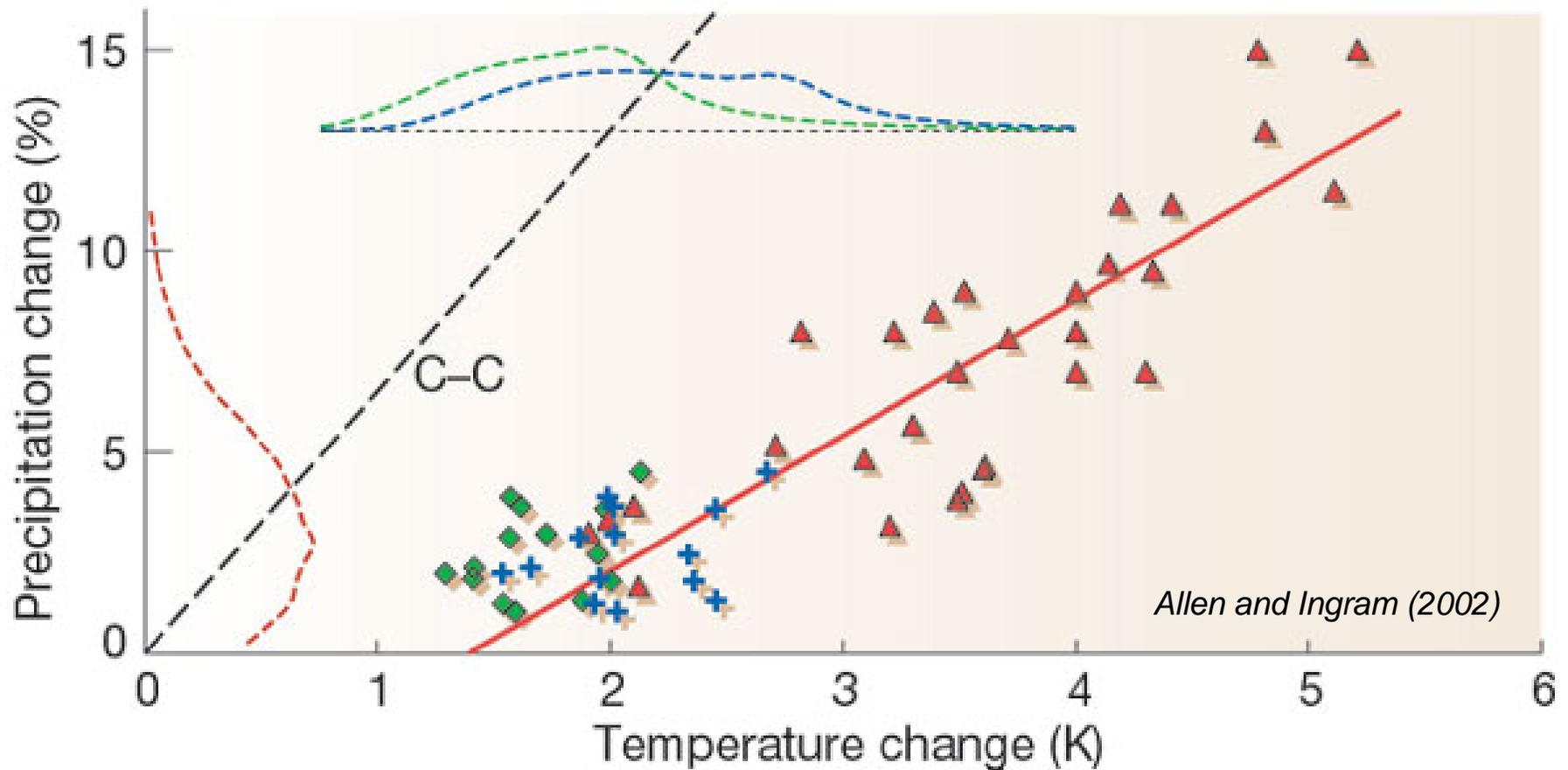
- Auf lange Sicht global gemittelt gilt: *Niederschlag*  $P$  = *Verdunstung*  $E$
- Verdunstung von der Oberfläche erfordert Energie!

**P und E wird durch ↓ determiniert, nicht durch T!**

eingestrahelte  
Energie



## Klimamodelle: Zunahme des Niederschlags in Abhängigkeit der Erwärmung

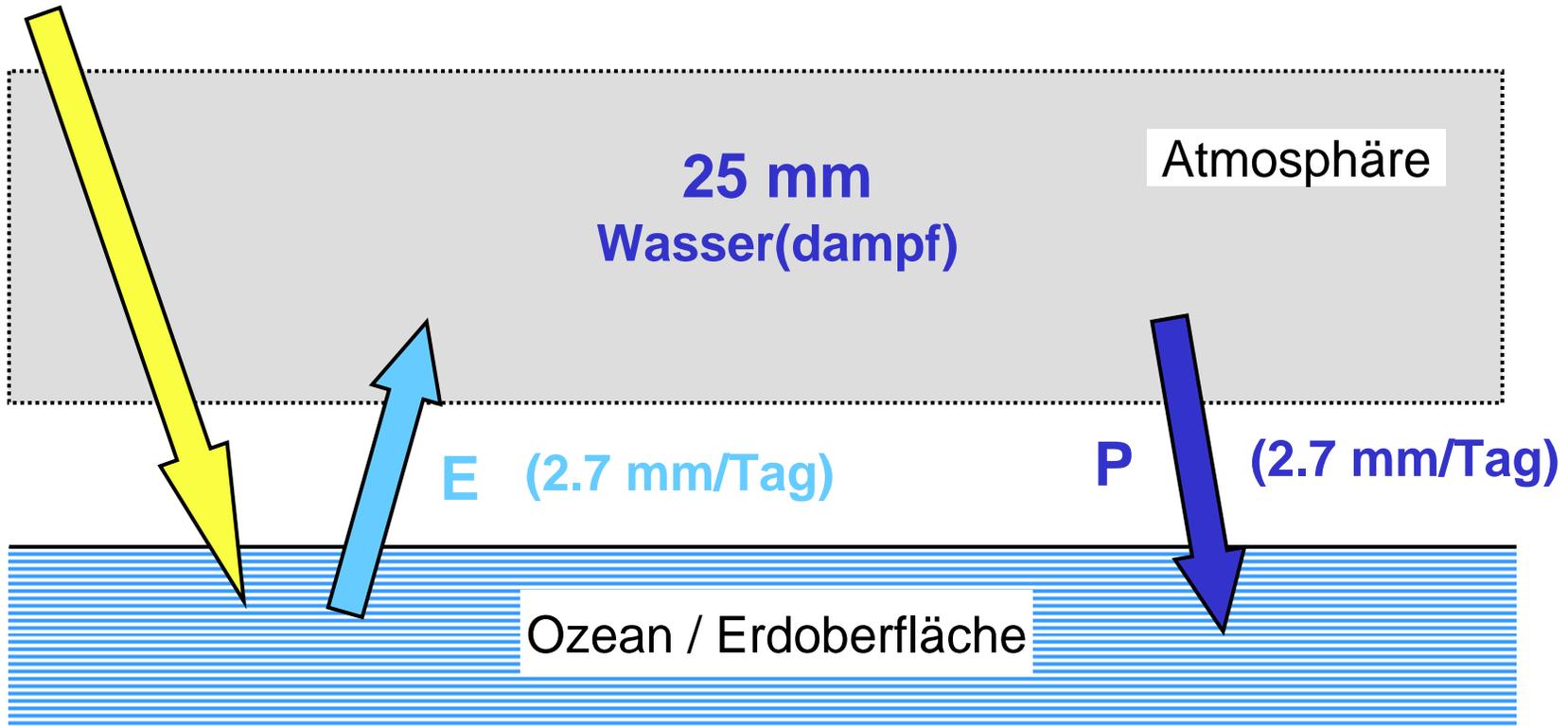


**$\Delta P = 2\%/K$  (viel weniger als CC =  $7\%/K$ !)**

# Residenzzeit des Wassers in der Atmosphäre

$$\text{Residenzzeit} = \frac{\text{Speicherterm}}{\text{Fluss}} = \frac{25 \text{ mm}}{2.7 \text{ mm/Tag}} = 9 \text{ Tage}$$

eingestrahelte  
Energie



# Residenzzeit des Wassers in der Atmosphäre

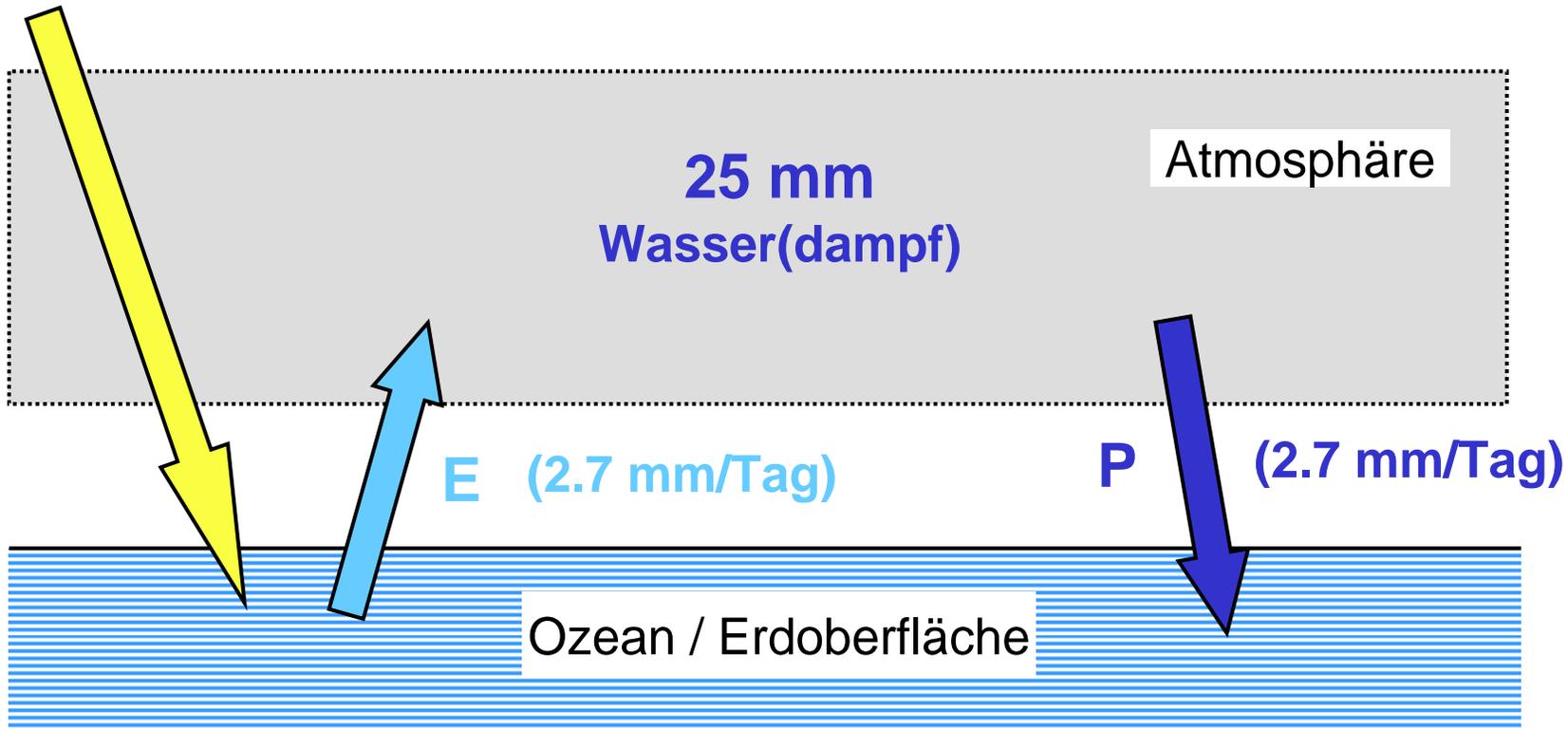
$$\text{Residenzzeit} = \frac{\text{Speicherterm}}{\text{Fluss}}$$

+7%/K

+2%/K

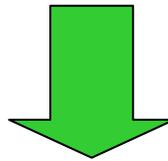
Residenzzeit von Wasser in der Atmosphäre erhöht sich

eingestrahelte Energie



## Veränderung des hydrologischen Kreislaufs

- **Wasserspeicherkapazität der Atmosphäre erhöht sich**
- **Residenzzeit von Wasser in der Atmosphäre erhöht sich**



- **stärkere Niederschläge im Einzelfall**
- gleichzeitig: Möglichkeit für **längere Trockenphasen**

# Zusammenfassung

# Wasser in der Atmosphäre

## **Drei Phasen:**

gasförmig, flüssig, fest

physikalische Eigenschaften (Strahlung/Albedo)

## **Treibhauseffekt:**

Wasserdampf: wichtigstes Treibhausgas

Wasserdampf-Rückkopplung

Rolle der Wolken

## **Hydrologische Extreme**

Sommer 2002, Sommer 2003

## **Wasserkreislauf bei Klimaänderung?**

Wasserspeicherkapazität

Residenzzeit

→ Zunahme von hydrologischen Extremen



**Vielen Dank!**