

# Klimawandel in der Region CISBL

**Klima-Werkstatt CISBL  
Kick-Off Veranstaltung 12. Oktober 2007**

**A. Marx, M. Mast, R. Knoche, H. Kunstmann, W. Seiler  
Forschungszentrum Karlsruhe, IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen**

# Bestandsaufnahme: Der beobachtete Klimawandel

## Das Klima der Zukunft

## Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

## Physikalischer Hintergrund:

- Höhere Temperaturen  $\Rightarrow$  höhere Verdunstungen
- Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit transportieren  $\Rightarrow$  erhöhter atm. Wassergehalt
- Latente Wärmeenergie  $\Rightarrow$  höherer atmosphärischer Energieinhalt

**$\Rightarrow$  Intensivierung des Wasserkreislaufs**

## Folgen

- Veränderte Niederschlagsintensitäten
- Veränderte zeitliche & räumliche Verteilung

**$\Rightarrow$  Zunahme von Hochwassergefahr**

# Nachweis zum Klimawandel erbracht!



## Globales Änderungssignal

- Ca. 0.9 °C seit Beginn der Temperaturmessungen in 1860; ca. 0.2 °C in den letzten 30 Jahren mit Maximum in 2005
- Temperaturschwankungen zwischen der letzten Periode und der vorletzten Periode hat gerade einmal 4°C betragen
- Steigender mittlerer Jahresniederschlag
- Starke regionale Differenzen

## Regionale Auswirkungen

- Anstieg der Temperatur um bis zu 2.0°C
- Steigender Niederschlag mit Anstieg im Frühjahr/ Spätwinter und Abnahme im Sommer (mehr als 20%),  
Aber große regionale Unterschiede!
- Steigende Anzahl und Intensitäten von meteorologischen Extremereignissen (u.a. Starkniederschlag, Trockenheit, Hitzewellen, Sturm)

**Klimawandel bedeutet Zunahme von Extremereignissen!**

# Extremereignisse: Hochwasser



Bad Kötzting 2002



Eschenlohe 1999



Chiemsee 2002



Eschenlohe 2005

# Extremereignisse: Trockenheit und Dürren

- global ca. 50% der Todesfälle durch Naturkatastrophen seit 1950



Bestandsaufnahme: Der beobachtete Klimawandel

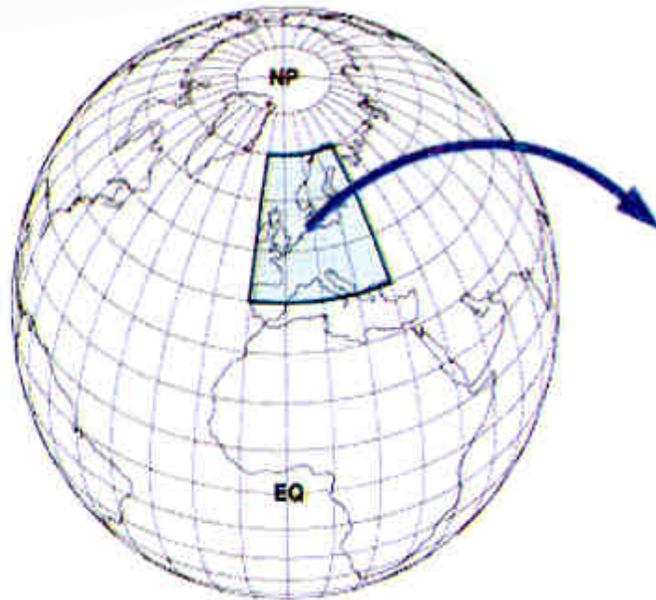
## Das Klima der Zukunft

Auswirkungen auf den Wasserhaushalt?

# Regionale Klimamodellierung

## Impulserhaltung

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -f \vec{k} \times \vec{v} - \nabla \Phi - \frac{1}{\rho_a} \nabla p_a + \frac{\eta_a}{\rho_a} \nabla^2 \vec{v} + \frac{1}{\rho_a} (\nabla \cdot \rho_a \mathbf{K}_m \nabla) \vec{v}$$



## Gasgleichung

$$p = \frac{nR^*T}{V}$$

## Wassermassenerhaltung

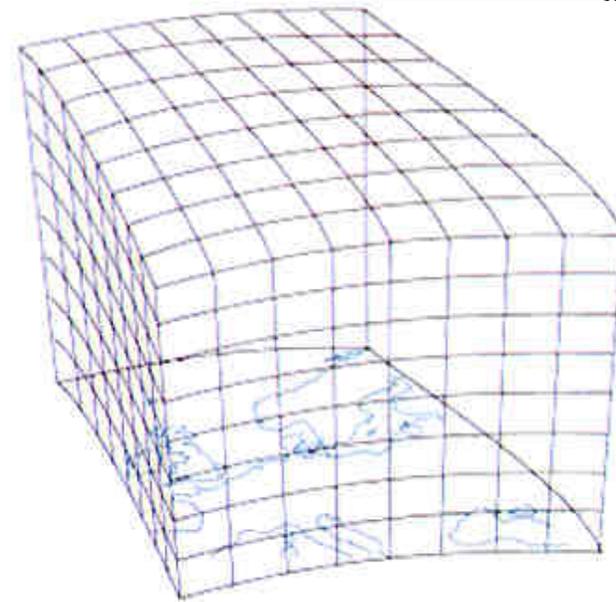
$$\begin{aligned} \frac{\partial q_v}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) q_v &= \frac{1}{\rho_a} (\nabla \rho_a \mathbf{K}_h \nabla) q_v + R_{evap} - R_{cond} - R_{iini} - R_{idep/sub} \\ \frac{\partial q_c}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) q_c &= \frac{1}{\rho_a} (\nabla \rho_a \mathbf{K}_h \nabla) q_c + R_{cond} + R_{iini} + R_{idep/sub} - R_{aconv} - R_{accr} \\ \frac{\partial q_r}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) q_r &= \frac{1}{\rho_a} (\nabla \rho_a \mathbf{K}_h \nabla) q_r - R_{evap} + R_{aconv} + R_{accr} - \frac{\partial V_f \rho_a g q_r}{\partial z} \end{aligned} \quad (2.32)$$

## Niederschlagsphysik

$$R_{evap} (rain) = \frac{2\pi N_{0r} (S_w - 1)}{A_r + B_r} \left[ \frac{0.78}{\Lambda_r^2} + 0.32 \left( \frac{a_r \rho}{\eta_a} \right)^{1/2} S_c^{1/3} \frac{\Gamma(5/2 + b_r/2)}{\Lambda_r^{5/2 + b_r/2}} \right]$$

## Energieerhaltung

$$\frac{\partial \theta_v}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \theta_v = \frac{1}{\rho_a} (\nabla \cdot \rho_a \mathbf{K}_h \nabla) \theta_v + \frac{\theta_v}{c_{p,d} T_v} \sum_{n=1}^N \frac{dQ_n}{dt}$$



## Luftmassenerhaltung

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} \rho_a) = 0$$

## Energieerhaltung Landoberfläche

$$\begin{aligned} L_v E + H + G &= SW_{net} + LW_{net} \\ &= (1 - \alpha) SW \downarrow + LW \downarrow - \epsilon \sigma_B T_{surf}^4 \end{aligned}$$

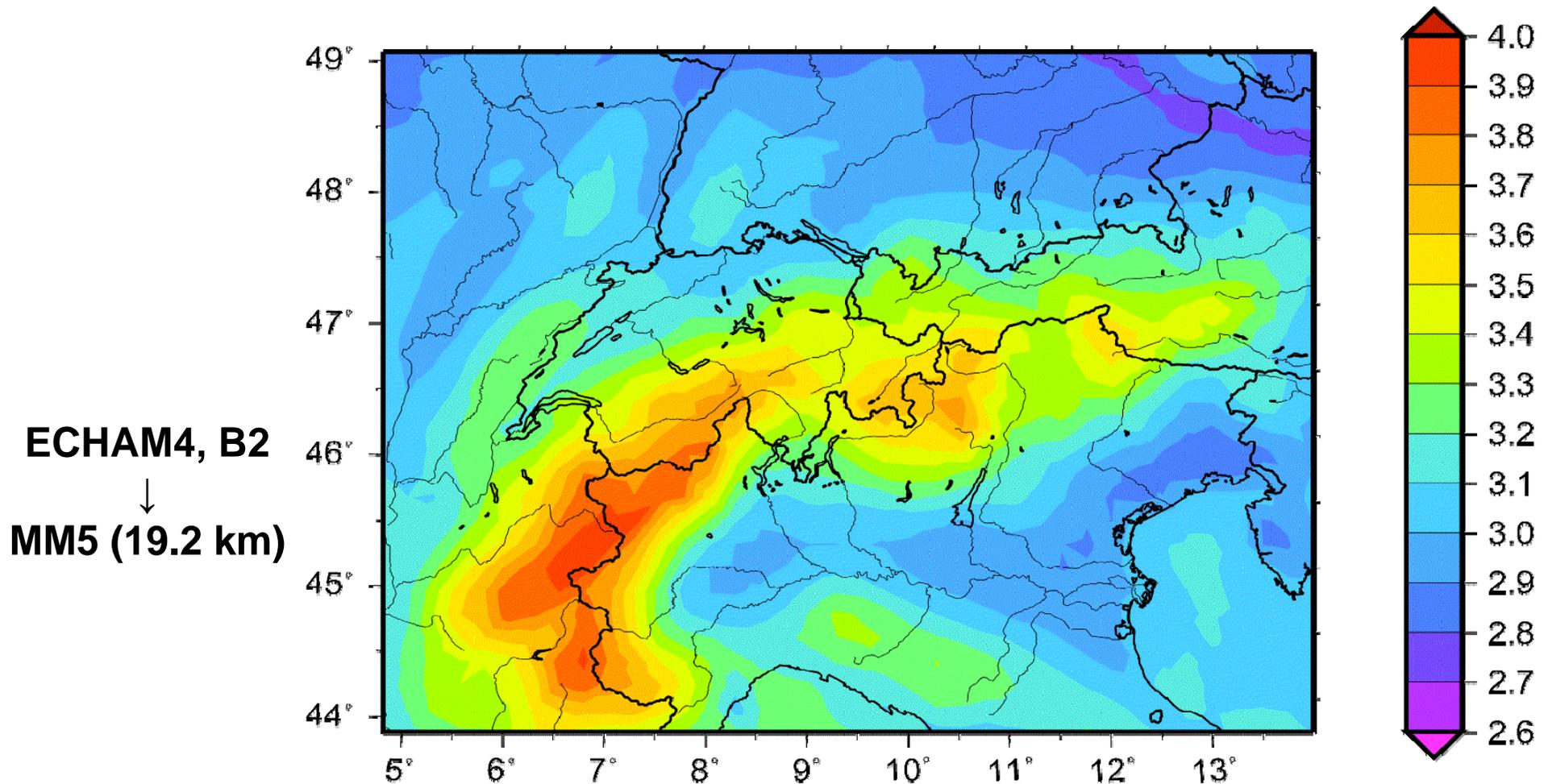
## Bodenwärmediffusion

$$C_v(\Theta) \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_t(\Theta) \frac{\partial T_s}{\partial z} \right]$$

## Bodenwasserinfiltration

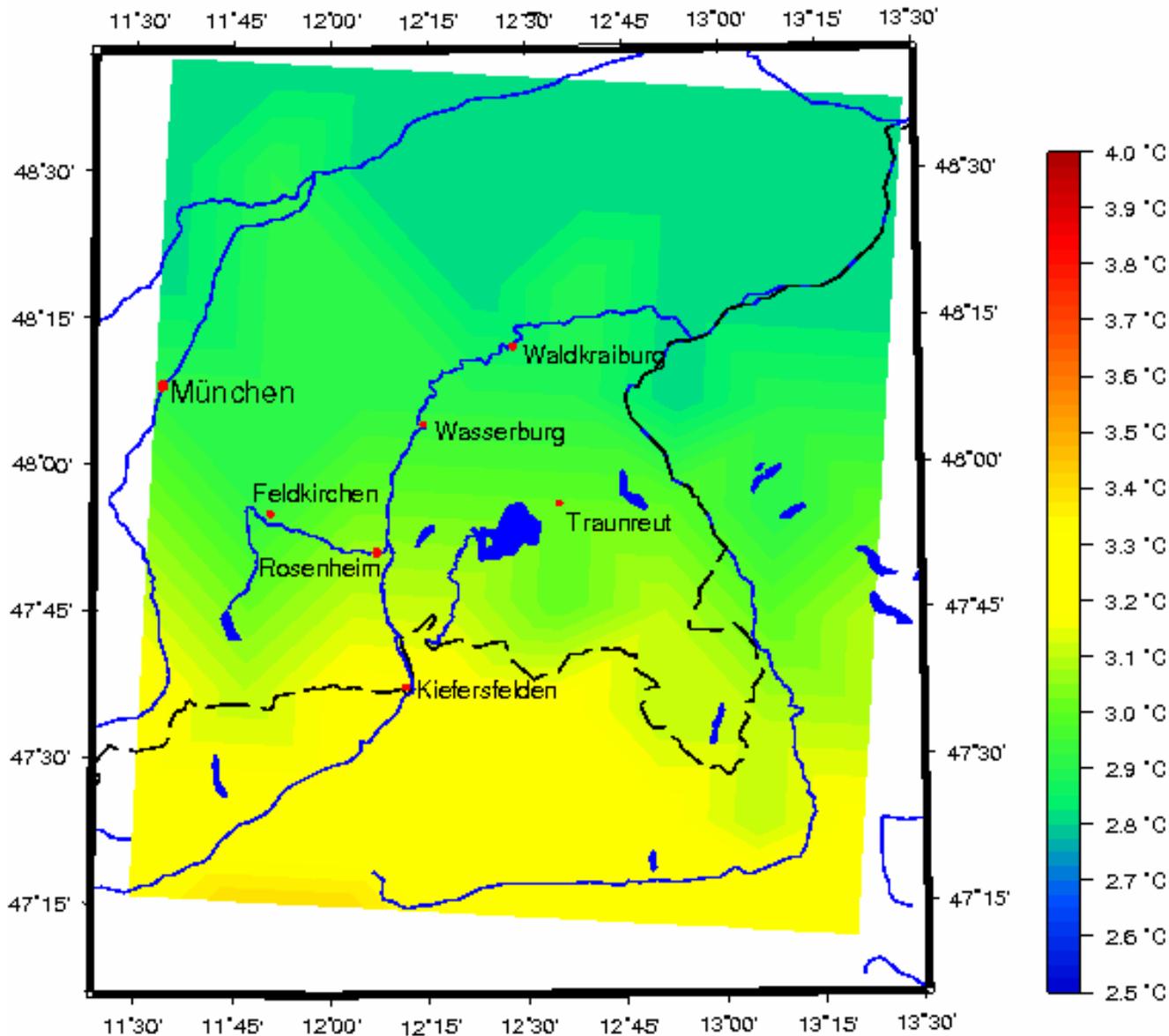
$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\Theta) \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\Theta)}{\partial z}$$

## Änderung mittlere Jahrestemperatur 2070-99 vs. 1960-89 [°C]



⇒ **Regional bis zu 4°C Temperaturzunahme!**

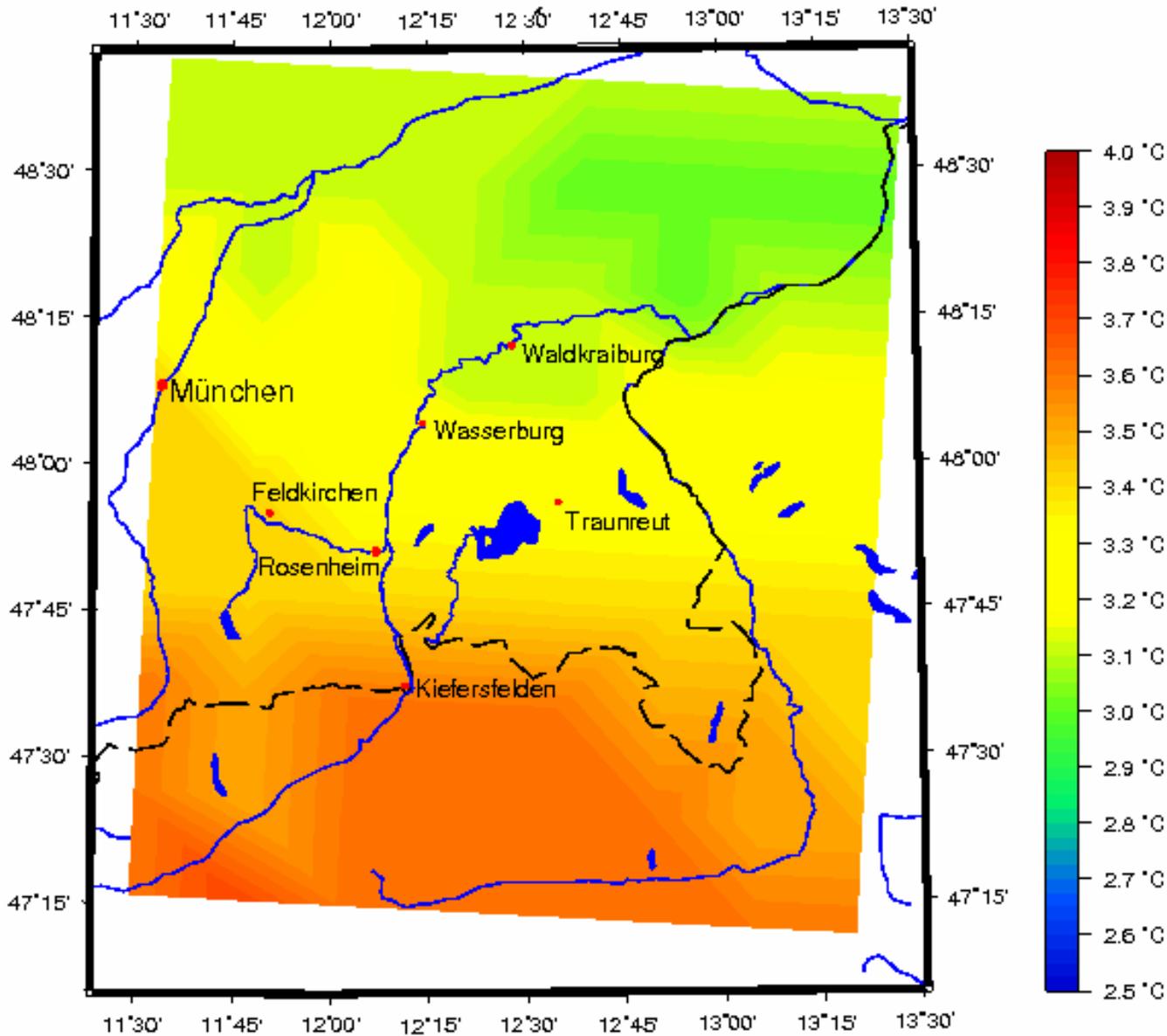
# Regionale Klimaänderung CISBL



Änderung der mittleren  
**Jahrestemperatur**  
2070-99 vs. 1960-89 [°C]

⇒ **~3°C**  
**Temperaturzunahme!**

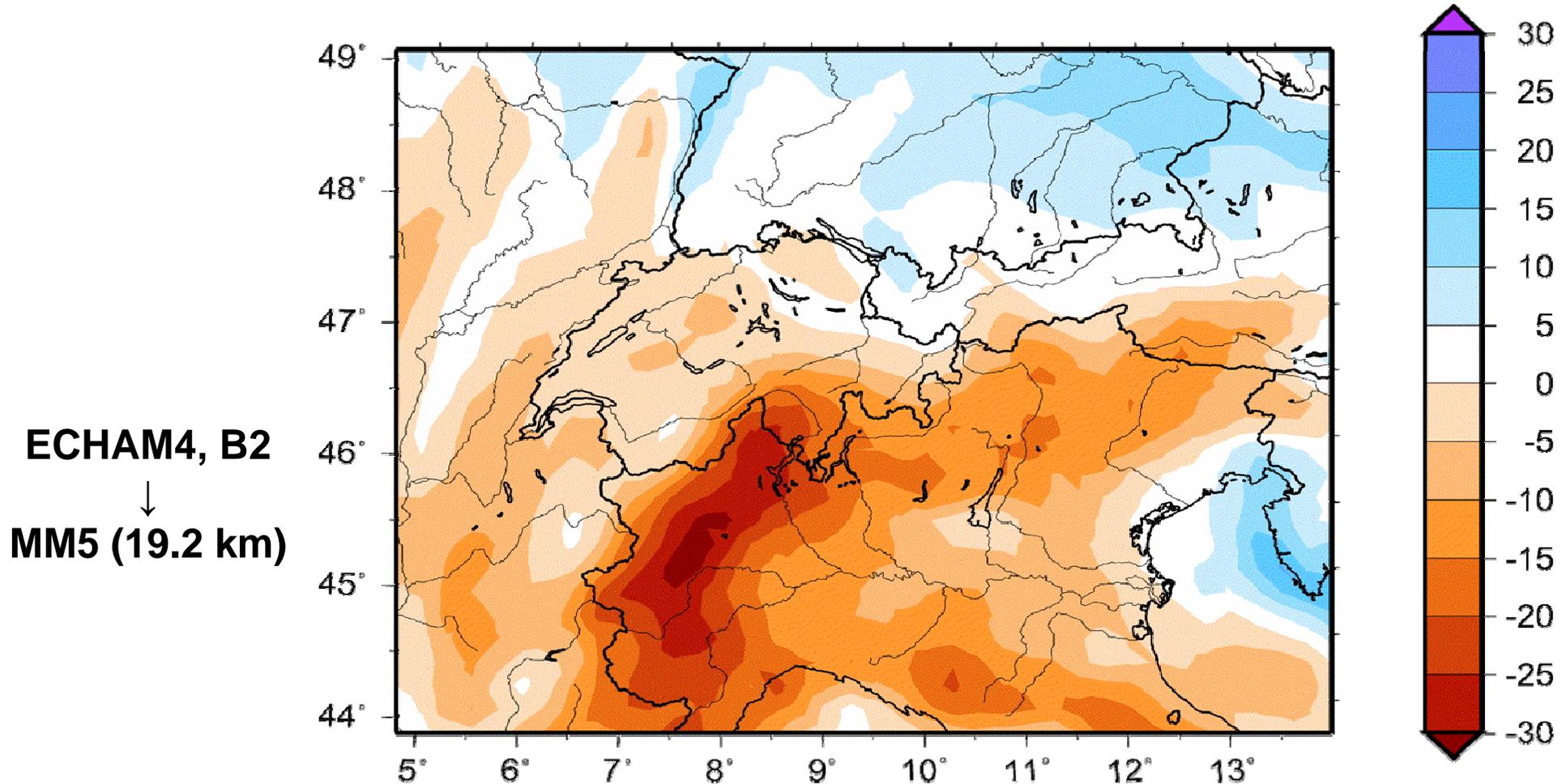
# Regionale Klimaänderung CISBL



Änderung der mittleren  
**Sommertemperatur**  
2070-99 vs. 1960-89 [°C]

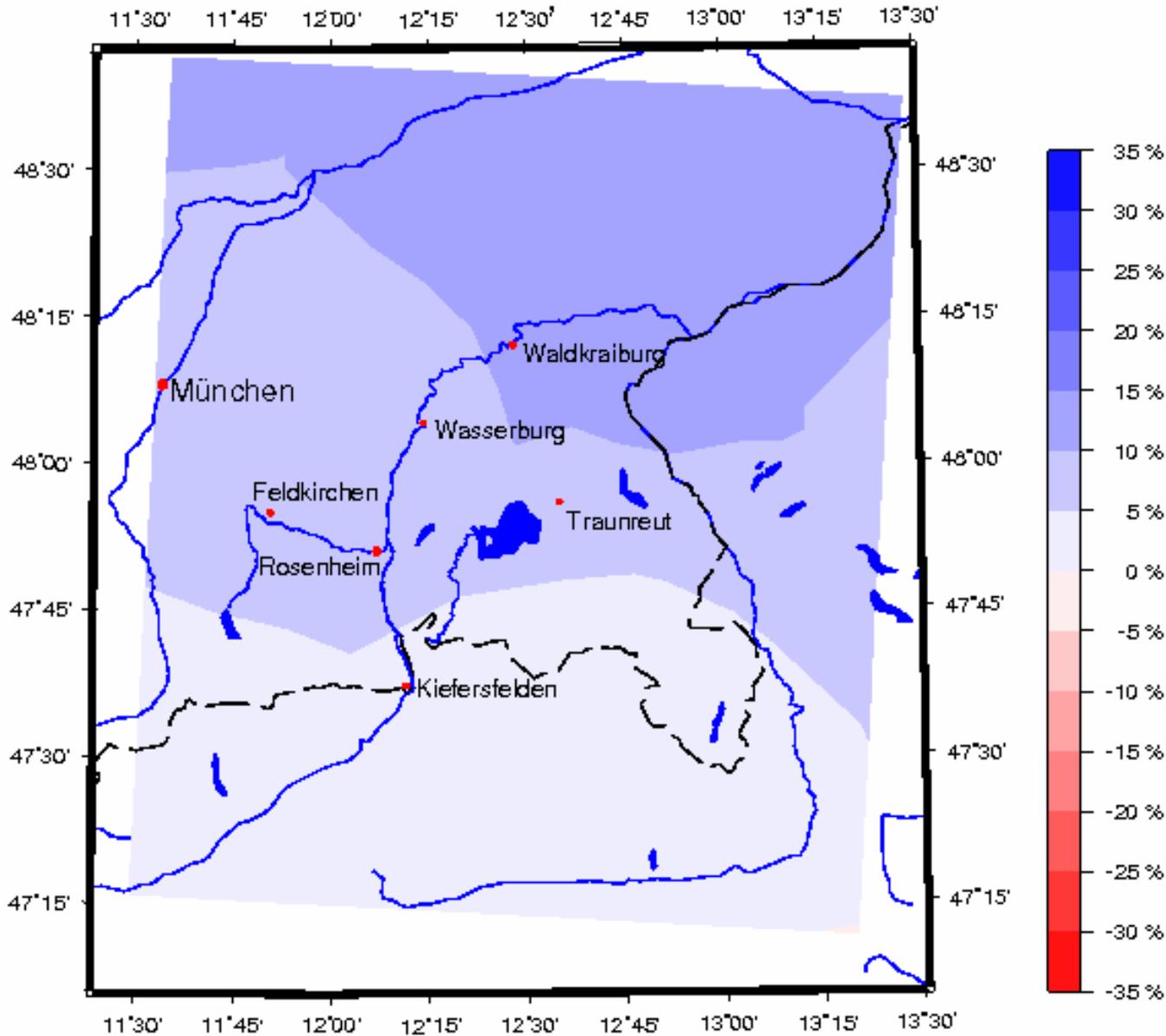
⇒ **~3 - 4°C**  
**Temperaturzunahme!**

## Änderung mittlerer Jahresniederschlag 2070-99 vs. 1960-89 [%]



- ⇒ Regional bis zu 30% weniger Gesamtniederschläge
- ⇒ Zunahme bis zu 20% in Süddeutschland!

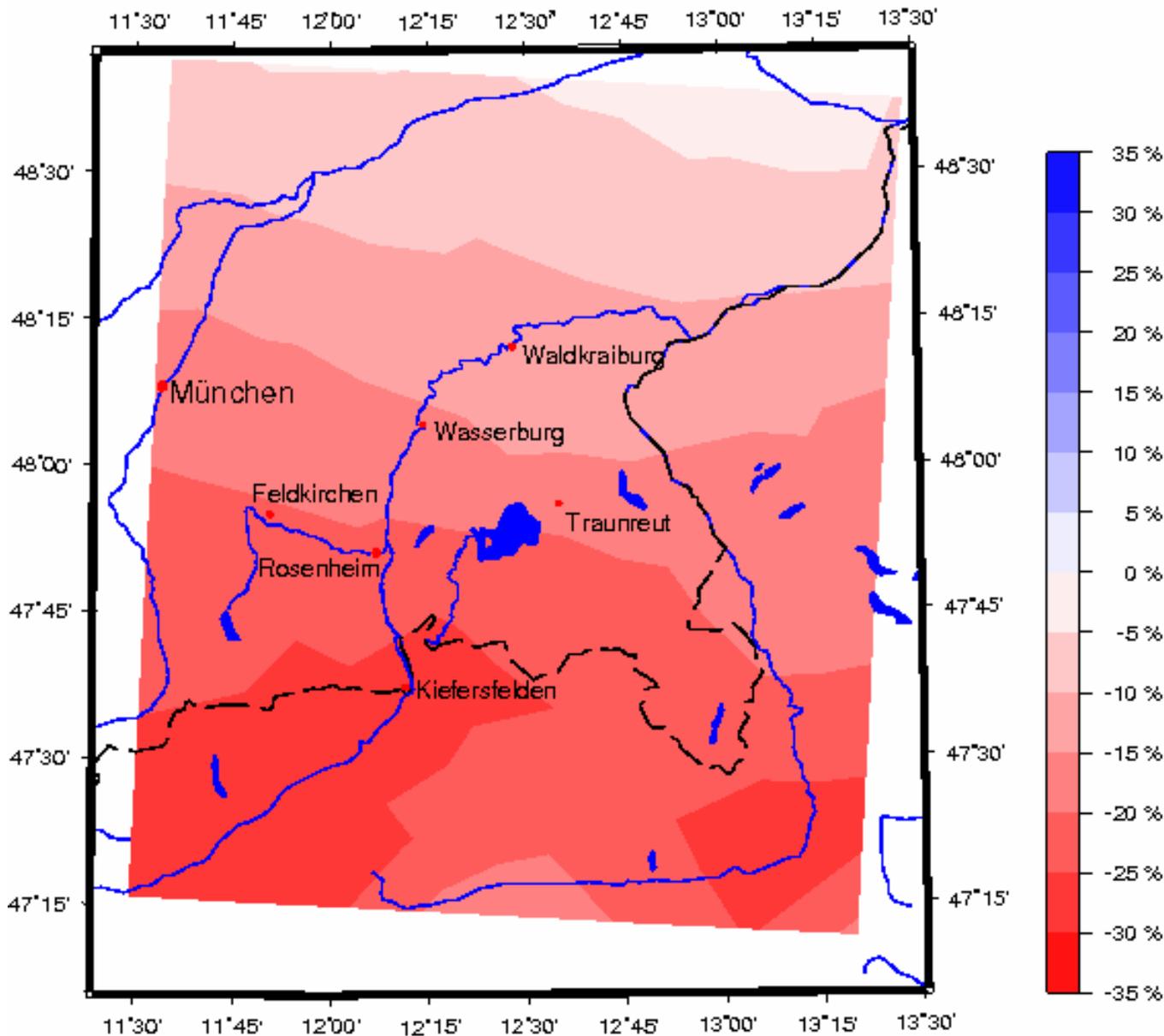
# Regionale Klimaänderung CISBL



Änderung des mittleren  
**Jahresniederschlages**  
2070-99 vs. 1960-89 [°C]

⇒ **Zunahme des  
mittleren  
Jahresniederschlages!**

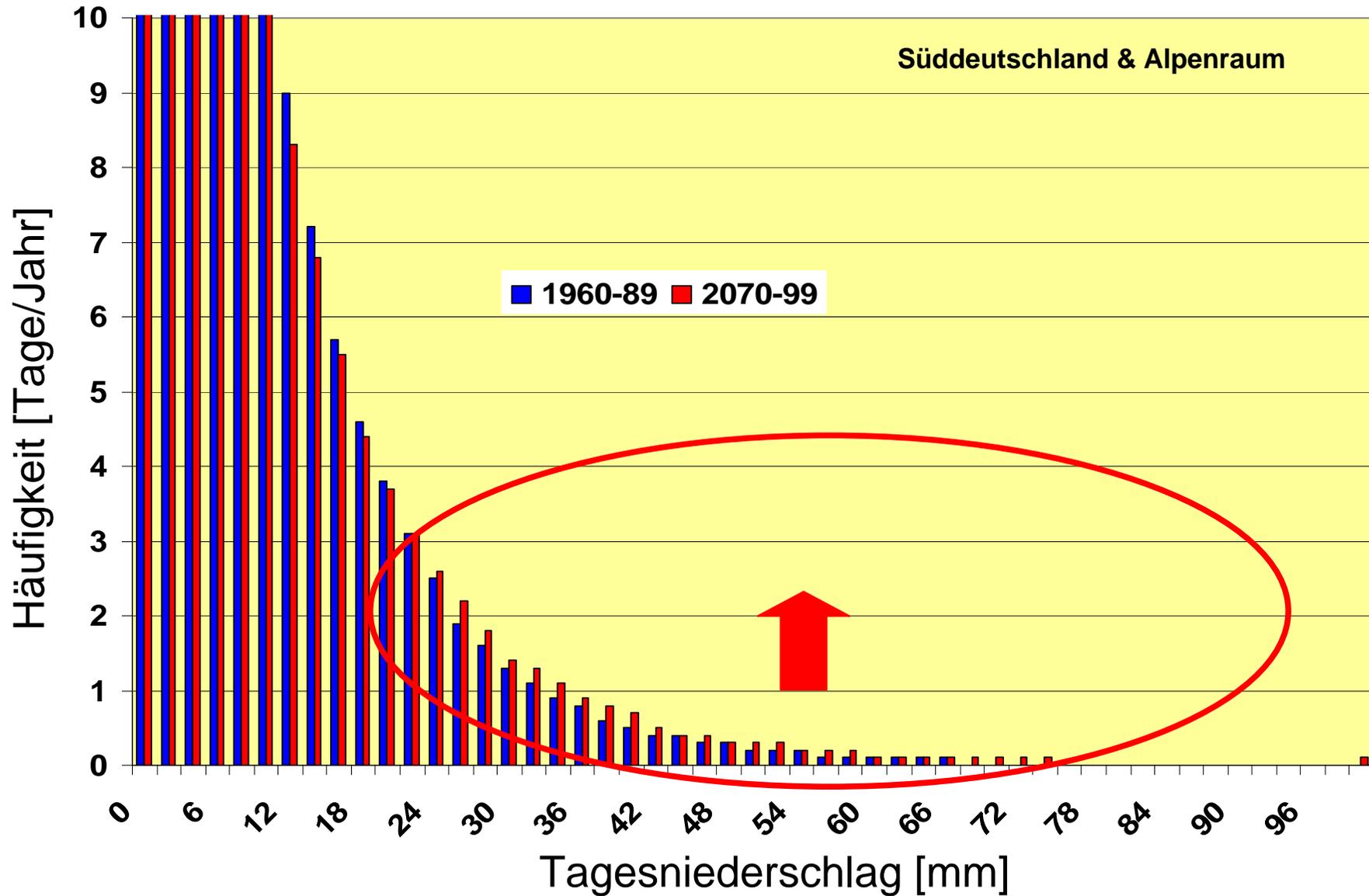
# Regionale Klimaänderung CISBL



Änderung des mittleren  
**Sommerniederschlages**  
2070-99 vs. 1960-89 [°C]

⇒ **Deutliche Abnahme des  
Sommerniederschlages  
bis -30%**

# Änderung der Tagesniederschläge

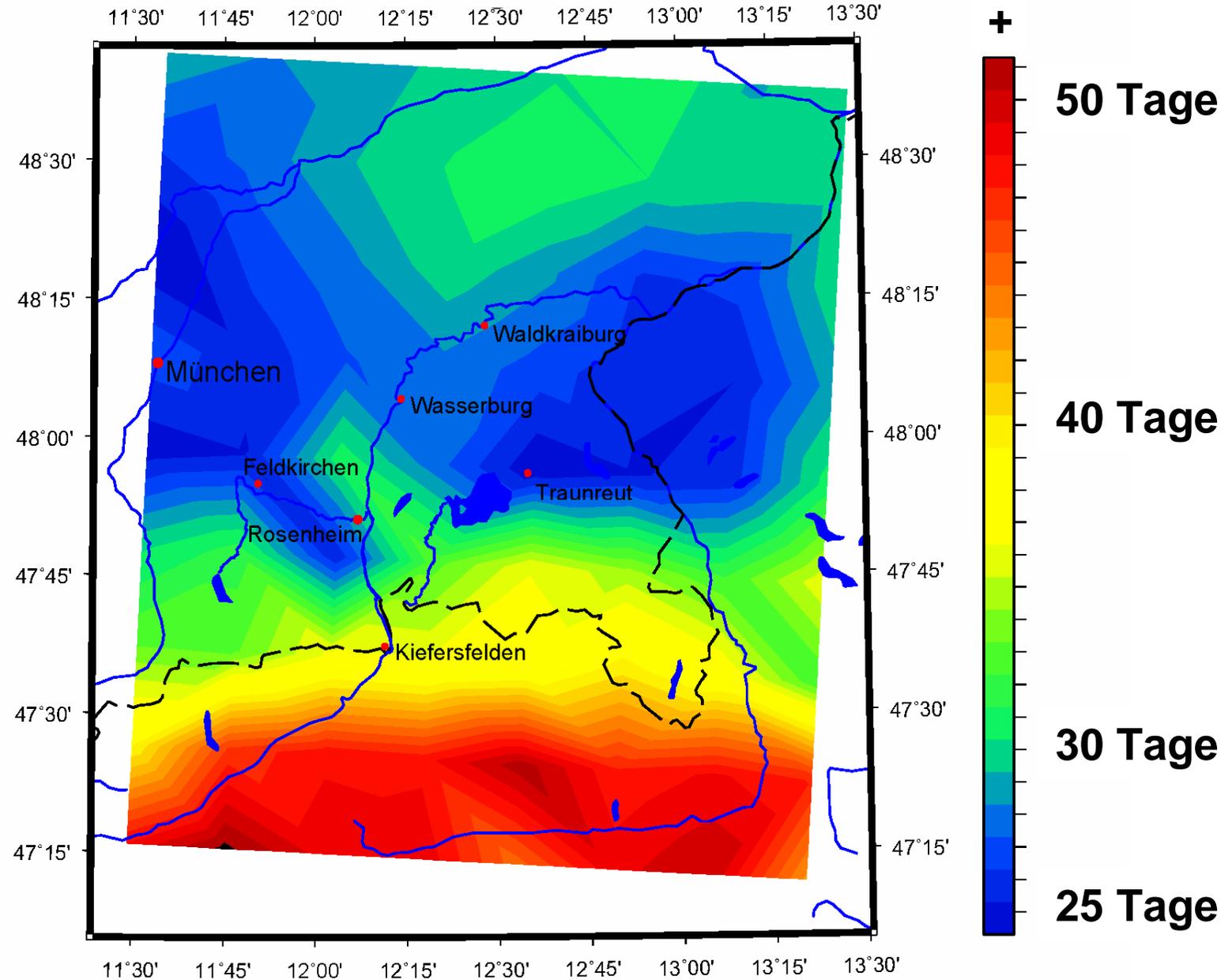


**Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen !**

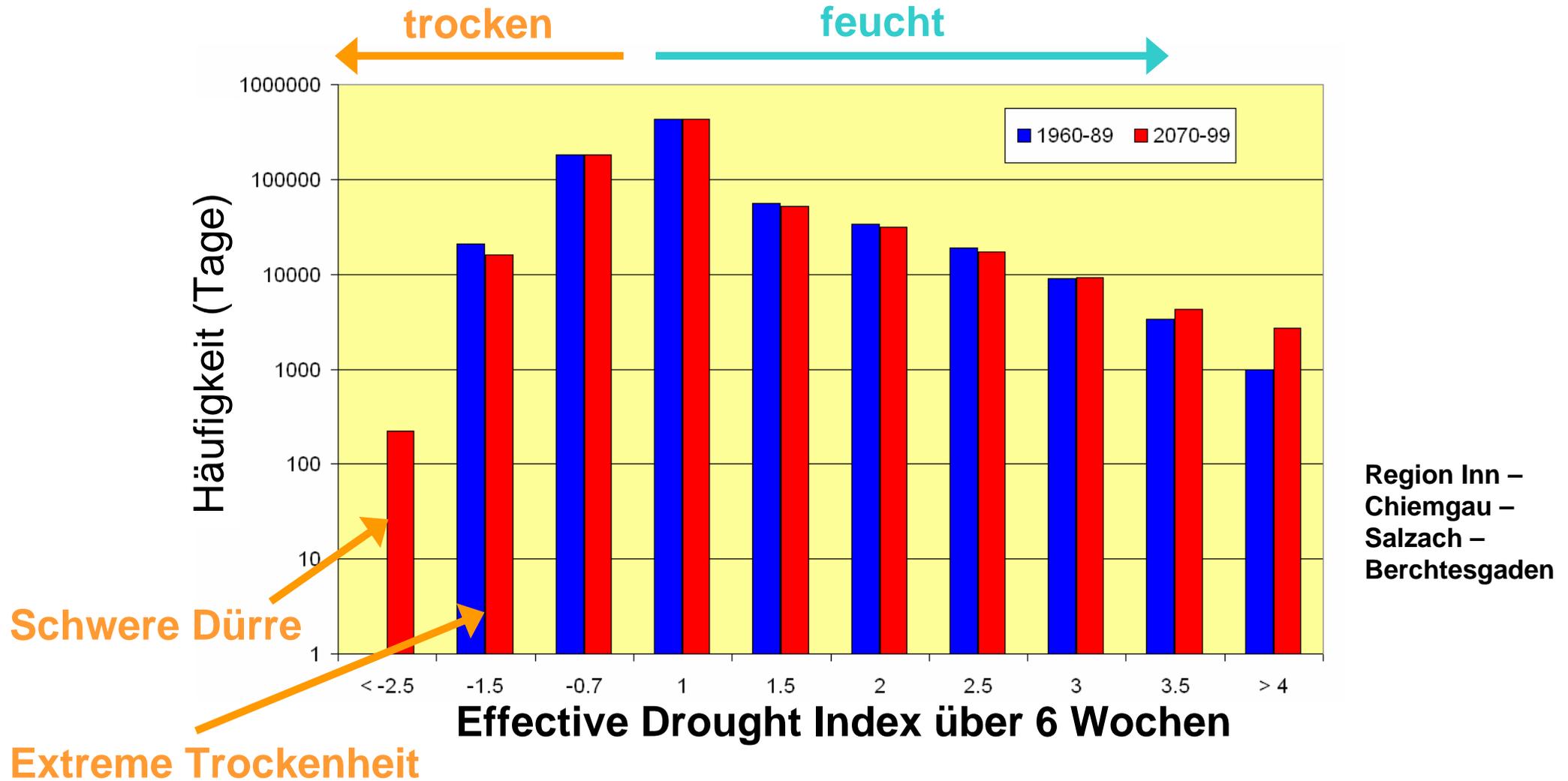
# Änderung der Vegetationsperiode

Änderung Tage/Jahr  
mit Tagesmittel-  
temperatur > 5°C

1960-89 vs. 2070-99



# Änderung von Trockenperioden



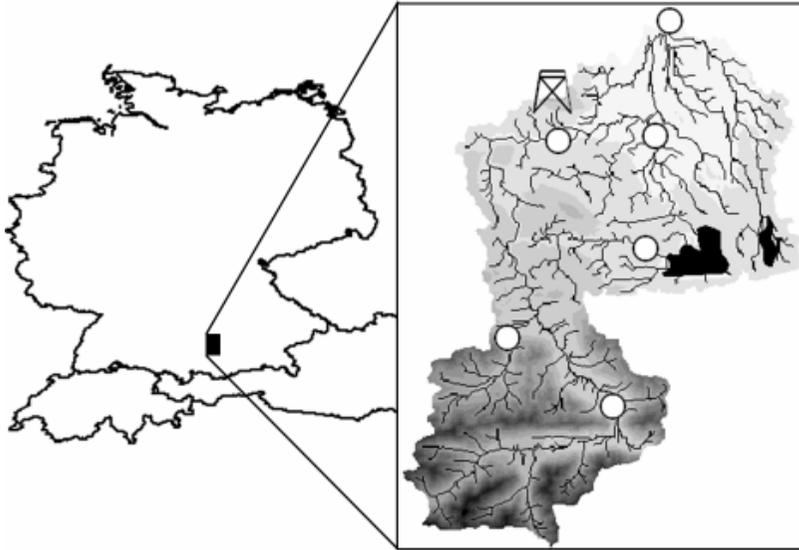
**Zunahme der Intensität und Länge von Trockenzeiten!**

# Bestandsaufnahme: Der beobachtete Klimawandel

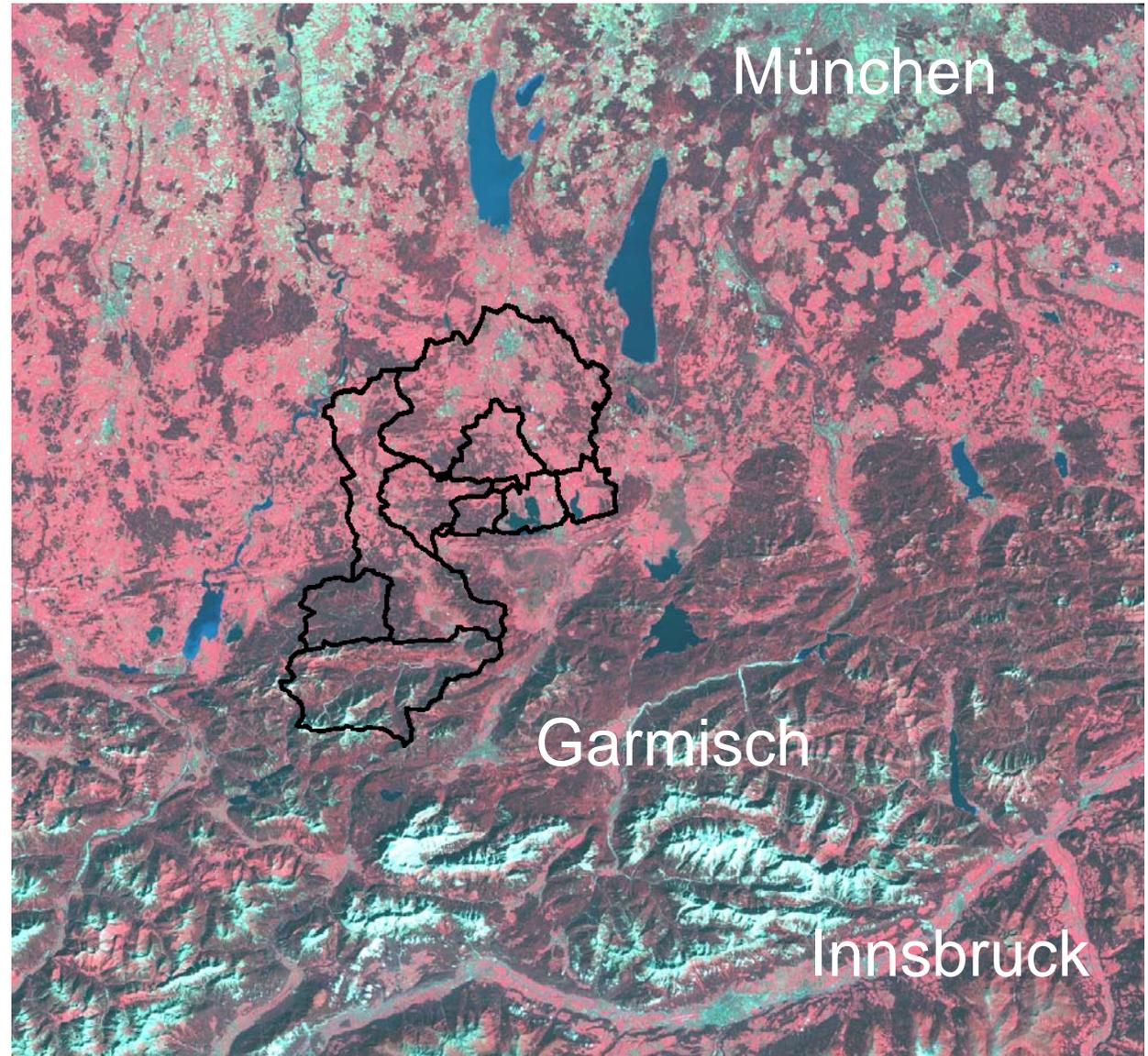
## Das Klima der Zukunft

### **Auswirkungen auf den Wasserhaushalt?**

# Ammer-Einzugsgebiet

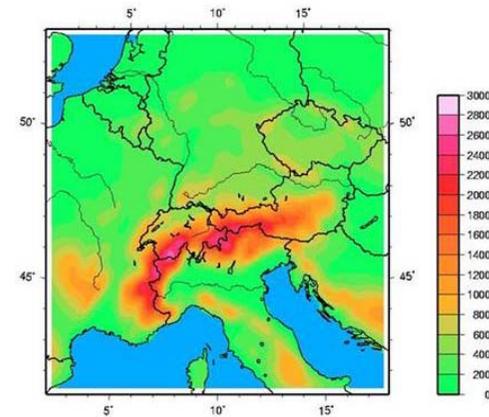
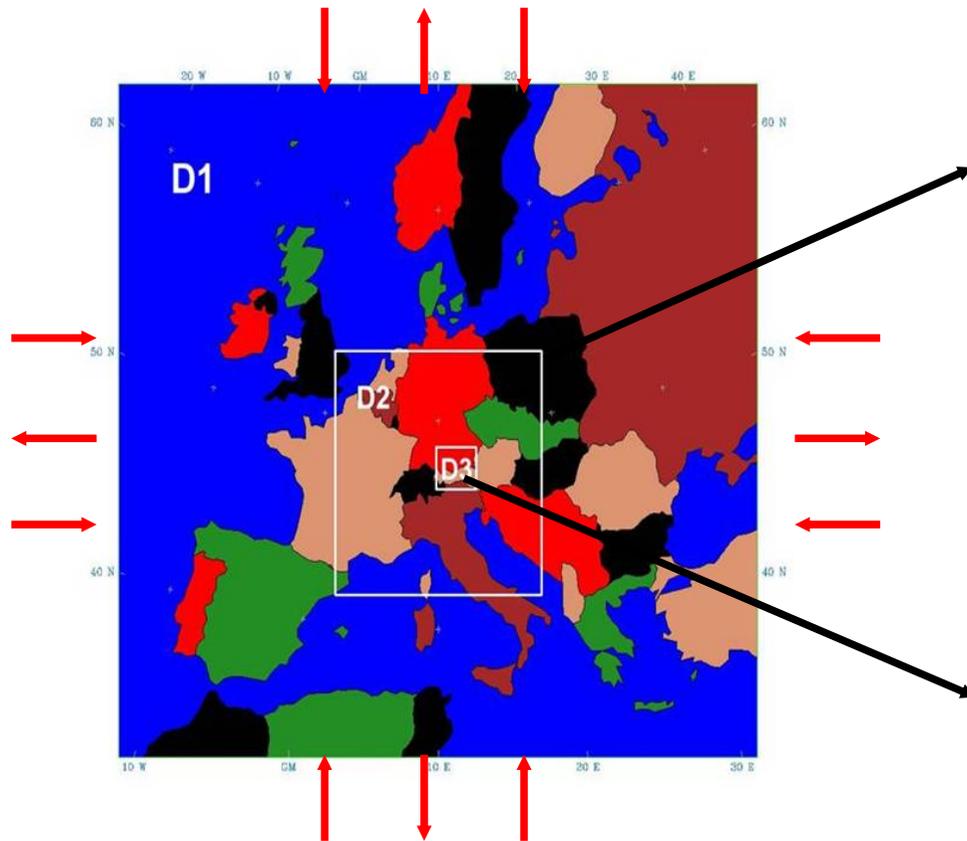


**Landsat TM (30m)**  
**[ch 7-5-3]**  
**30.08.1991**

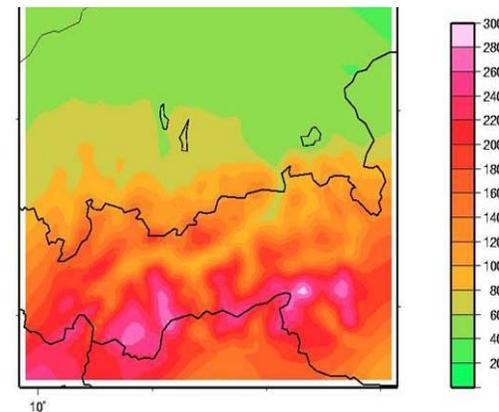


# Klimasimulation 1990-99 und 2030-39

ECHAM4 (T42, ca. 2.5°), IS92a



Orographie in  
20x20 km<sup>2</sup>  
Auflösung



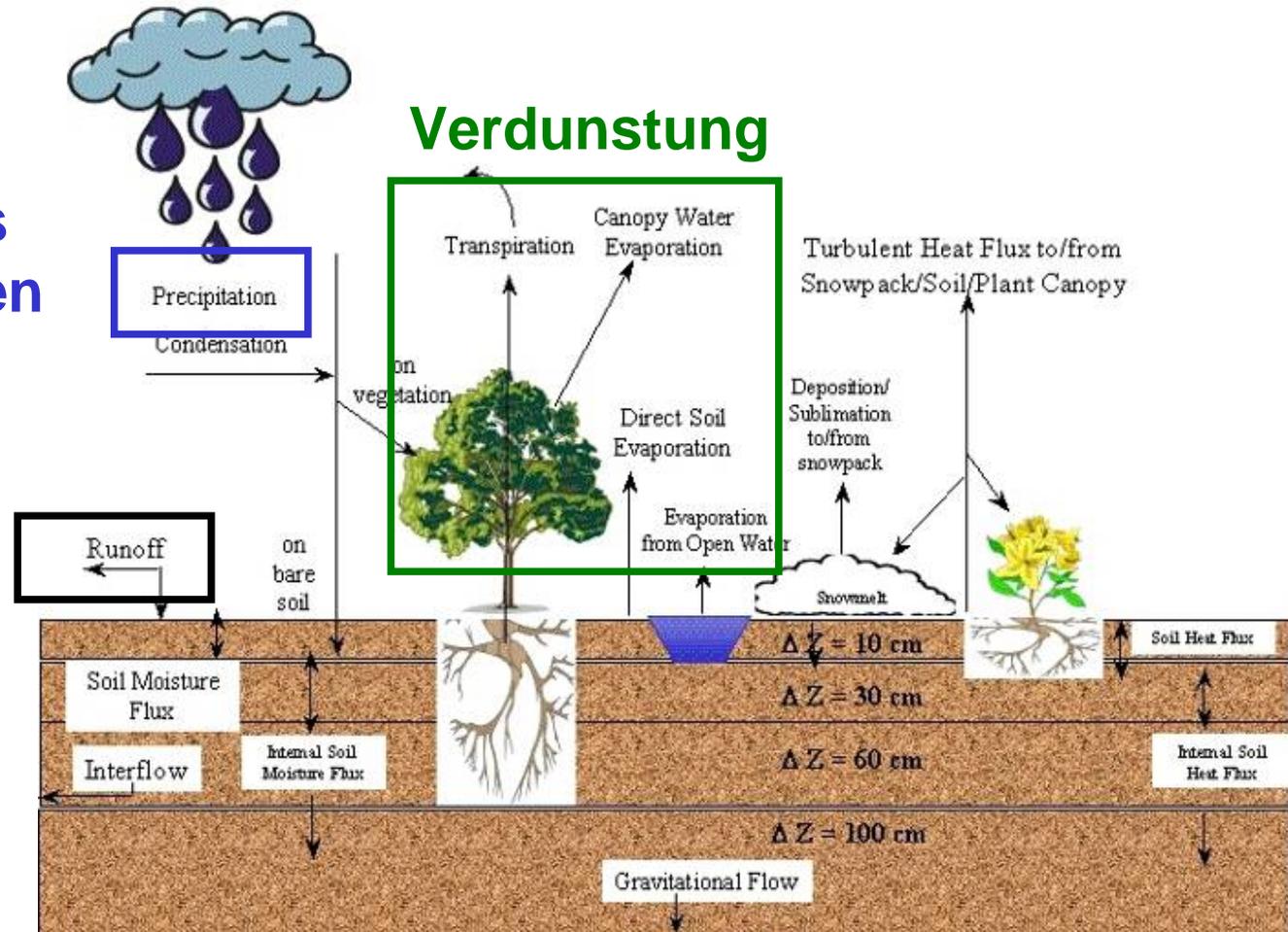
Orographie in  
4x4 km<sup>2</sup>  
Auflösung

**Antrieb Globales Klimaszenario ⇒ Langfristige Entwicklung Wasserhaushalt**

Niederschlag aus  
Klimasimulationen

Abfluss

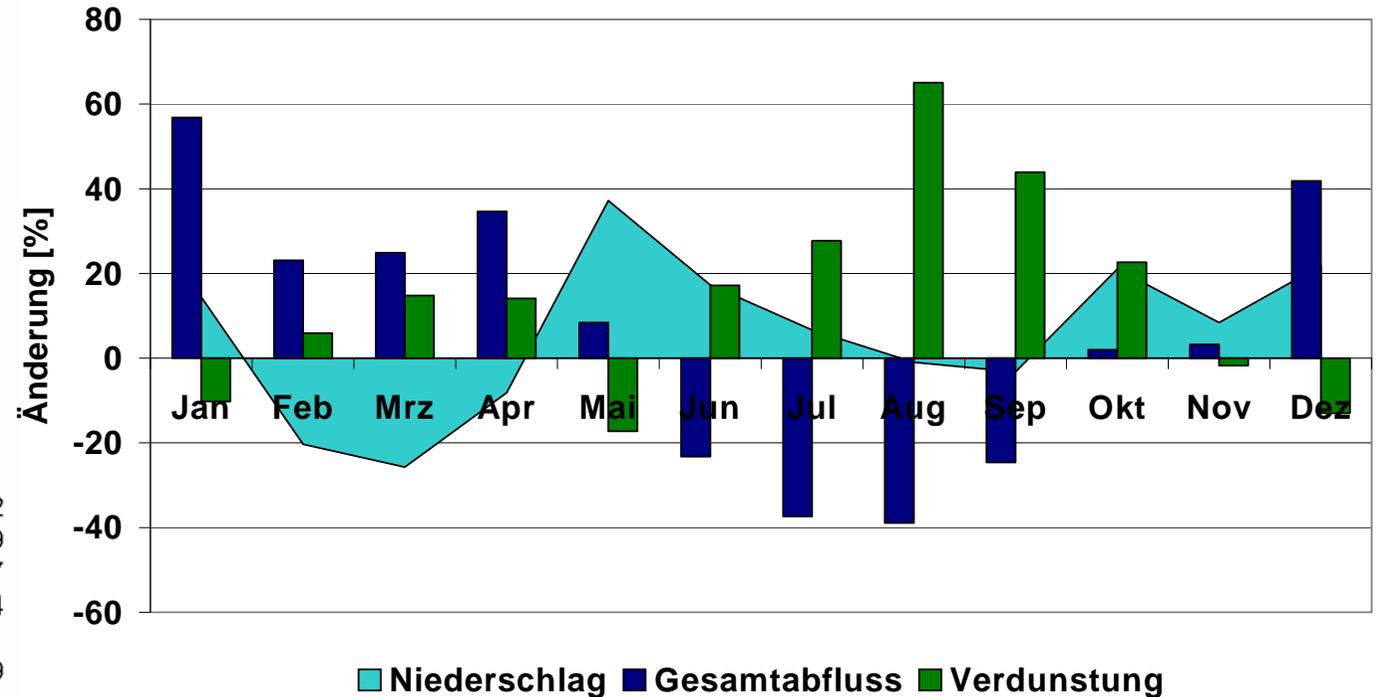
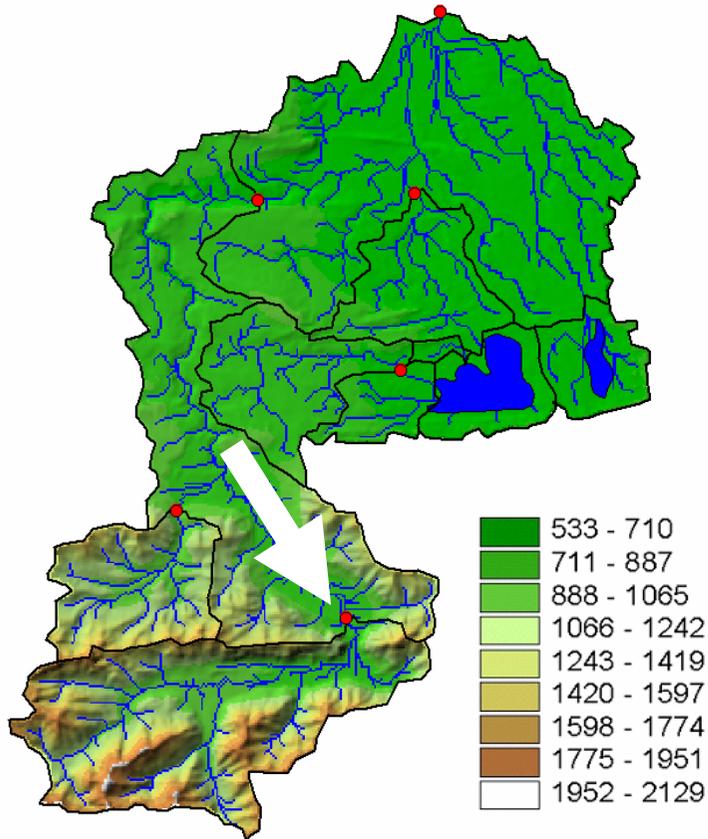
Grundwasser ⇐



Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer models

Modellkette ECHAM4 – MM5 – WaSiM

## Oberammergau

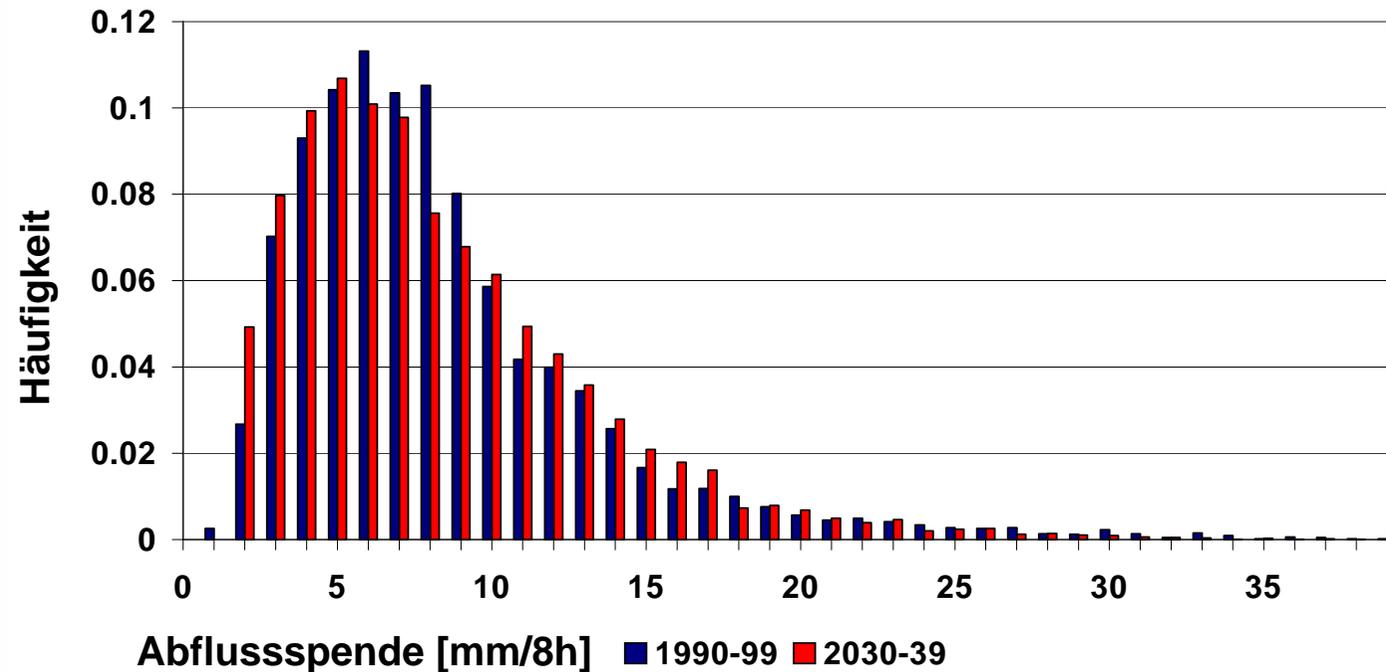
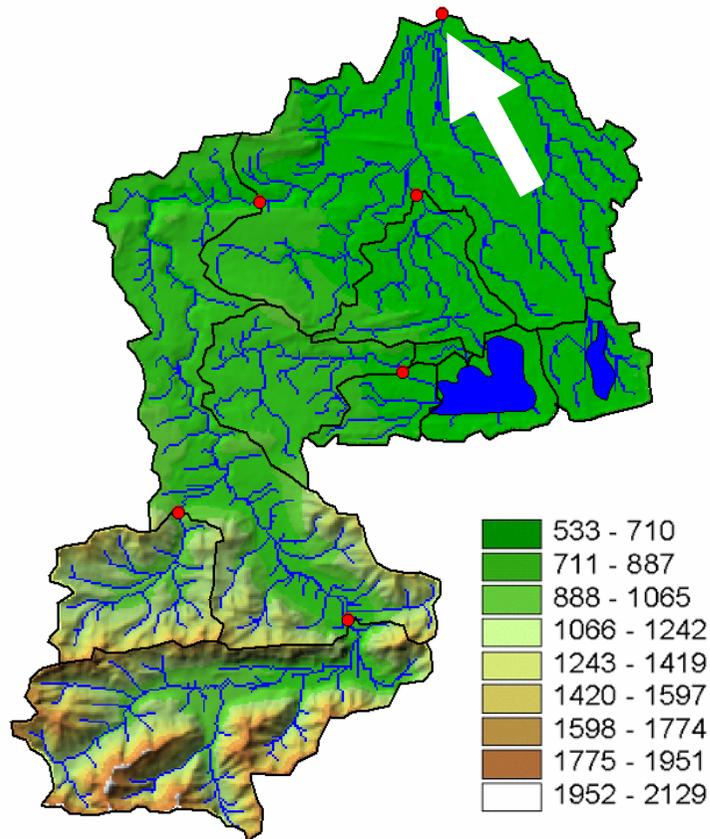


Änderung 1990-99 vs. 2030-39

**Zunahme der Winter- (weniger Schnee!) und Verminderung der Sommerabflüsse**

Modellkette ECHAM4 – MM5 – WaSiM

## Weilheim



**Veränderung der Häufigkeiten: Zunahme von Niedrigwasserperioden**



# Klimawandel - Das Ende der Geranien?

