

# Der globale Klimawandel: Ursachen, Folgen, Maßnahmen

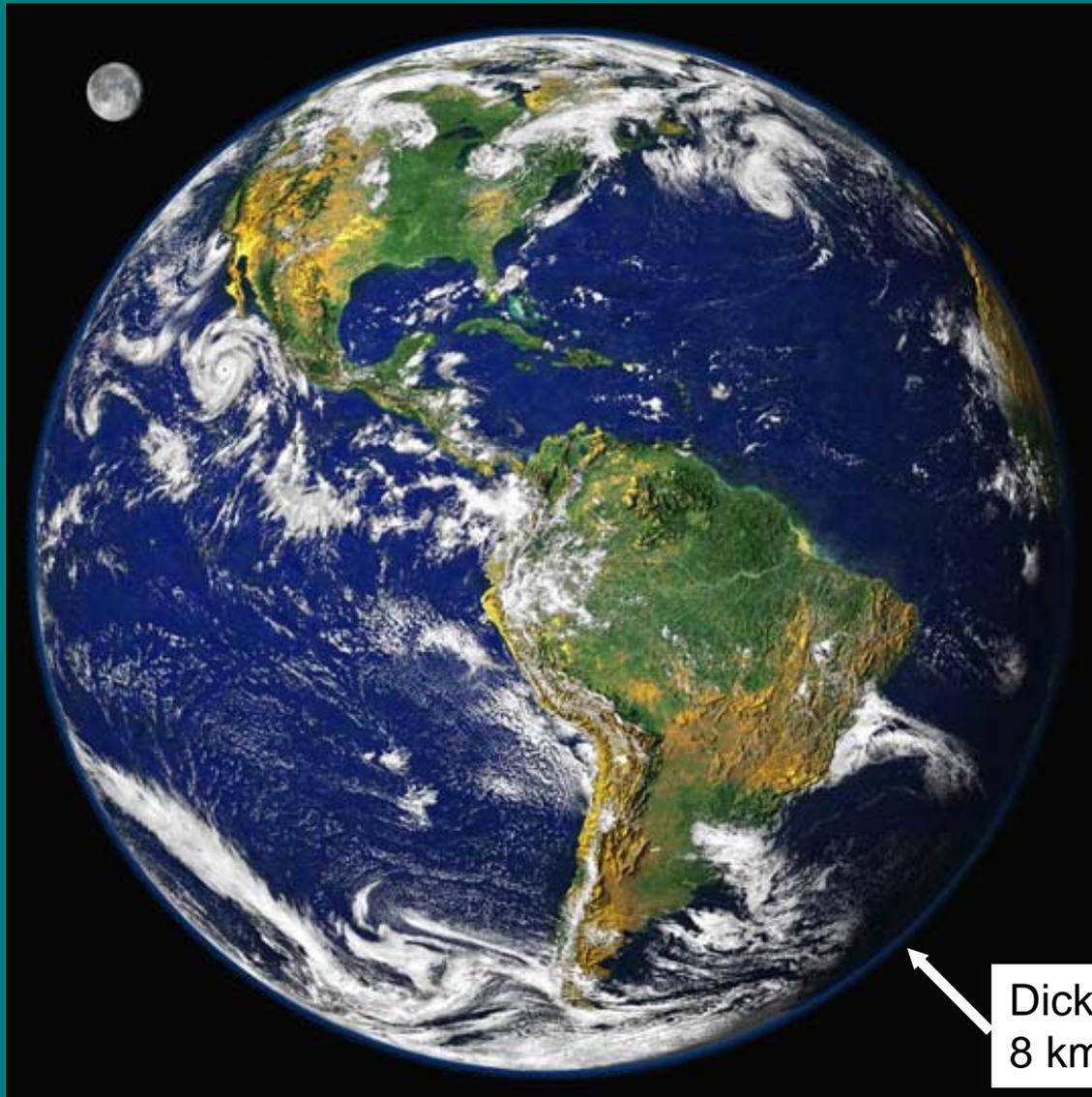
Jahrestagung der bayerischen Energiesparschulen  
Ulm-Lehr, 05. April 2004

Prof. Dr. Wolfgang Seiler  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU)  
Forschungszentrum Karlsruhe

82467 Garmisch-Partenkirchen  
Kreuzeckbahnstr. 19

# Fragestellungen:

- Hat sich das globale Klima bereits geändert?
- Welche Ursachen sind dafür verantwortlich?
- Wie wird sich das Klima weiter entwickeln?
- Welche Auswirkungen sind zu erwarten?
- Welche Maßnahmen müssen ergriffen werden?



N<sub>2</sub> : 78%  
O<sub>2</sub> : 21%  
Ar : 0.4%

Rest : 0.6%

Dicke der Atmosphäre:  
8 km

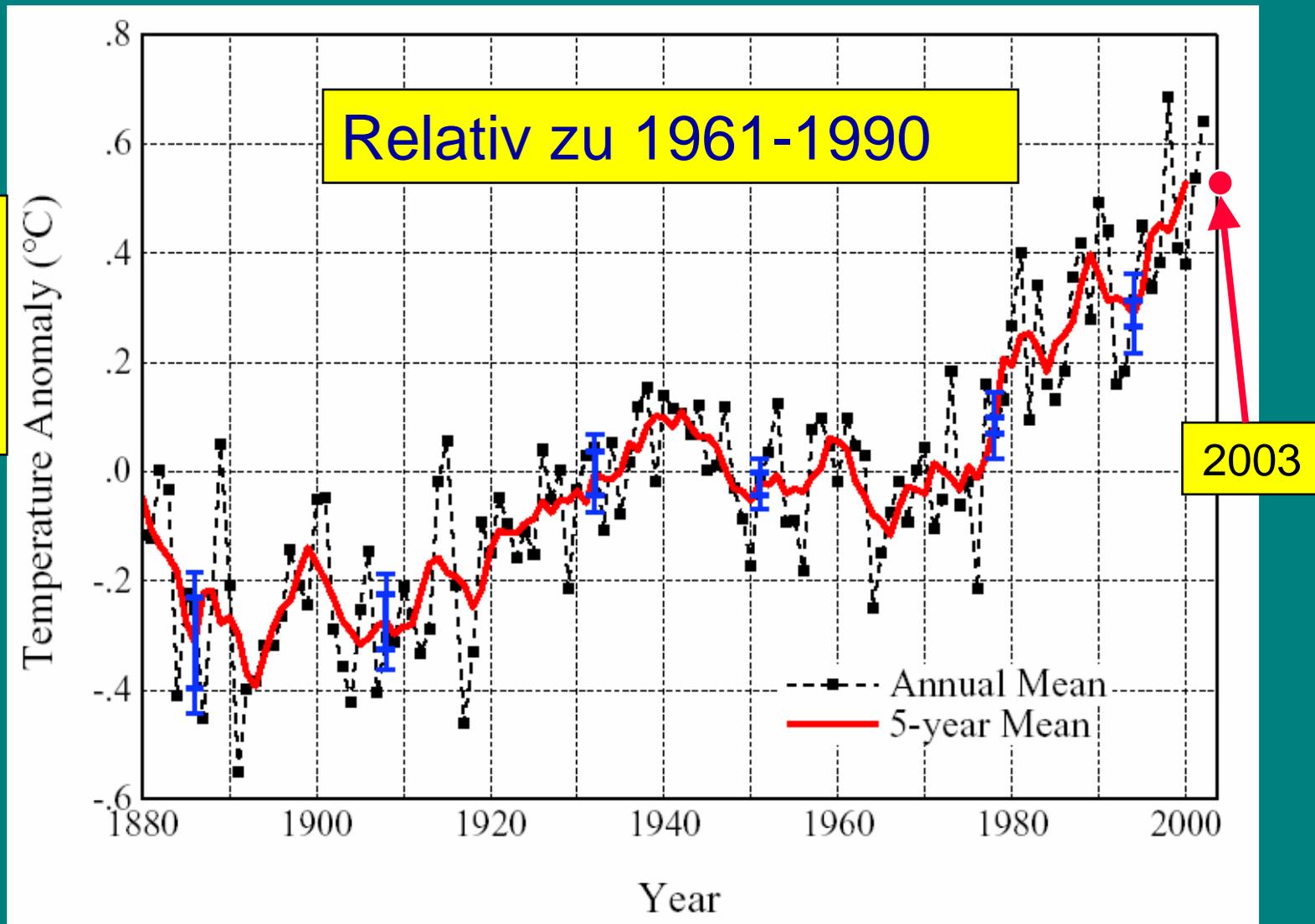
Die Erde –  
Der Blaue Planet  
( Apollo 17 )

Befinden uns inmitten eines umfangreichen **globalen und regionalen Klimawandels** mit erheblichen **ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen.**

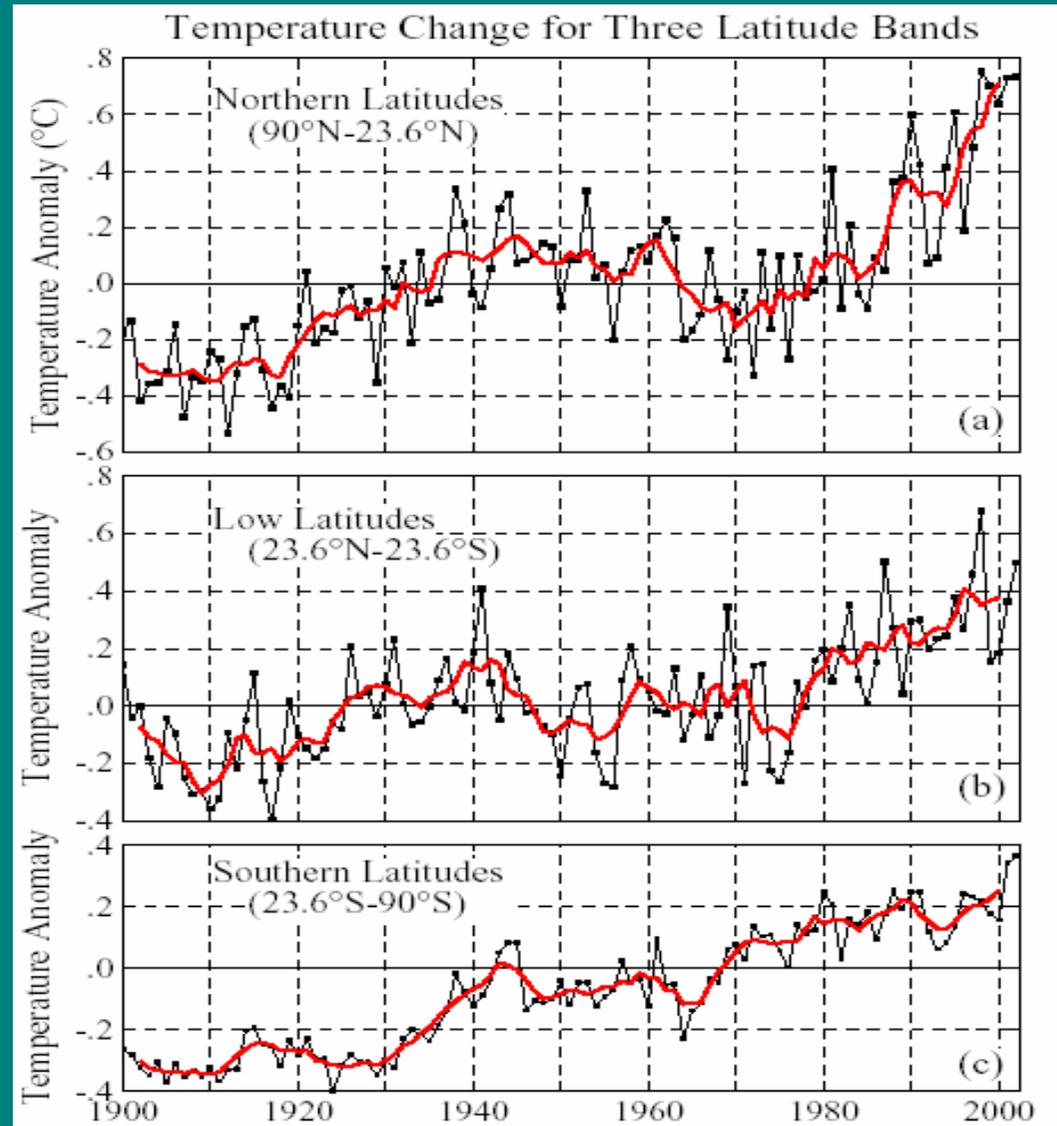
- Weltweite volkswirtschaftliche Schäden in 2002: 55 Mrd US \$
- 20 - 25 Millionen Umweltflüchtlinge in 2002 (UNEP 2003)

Temperaturdifferenz  
zwischen heutiger  
Warmzeit und  
letzter Eiszeit:  
ca. 4-5°C

Hansen, et al.  
(2001)

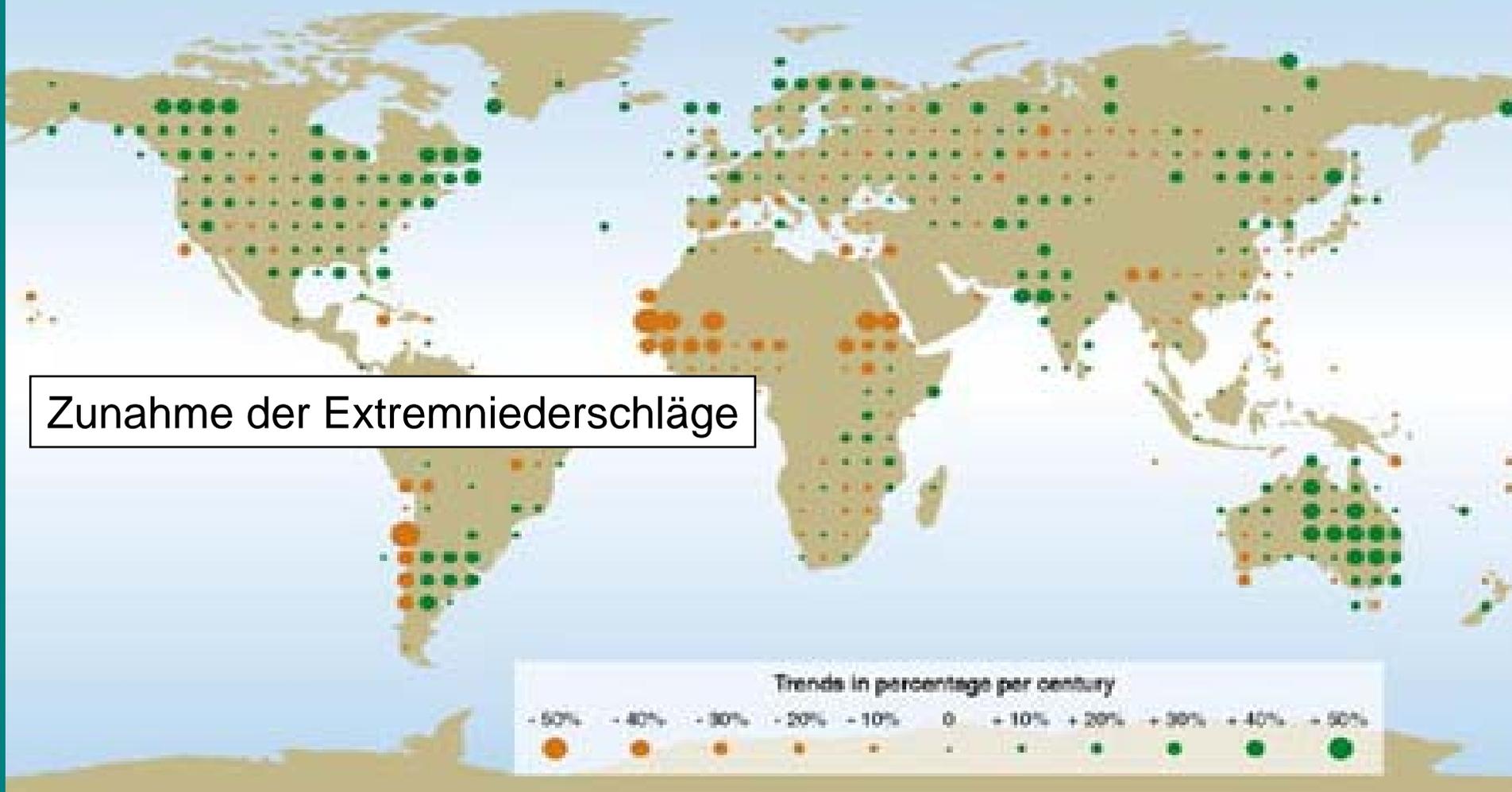


Änderung der Temperaturen  
nach Breitenzonen  
(relativ zu Mittelwert  
zwischen 1961 und 1990)



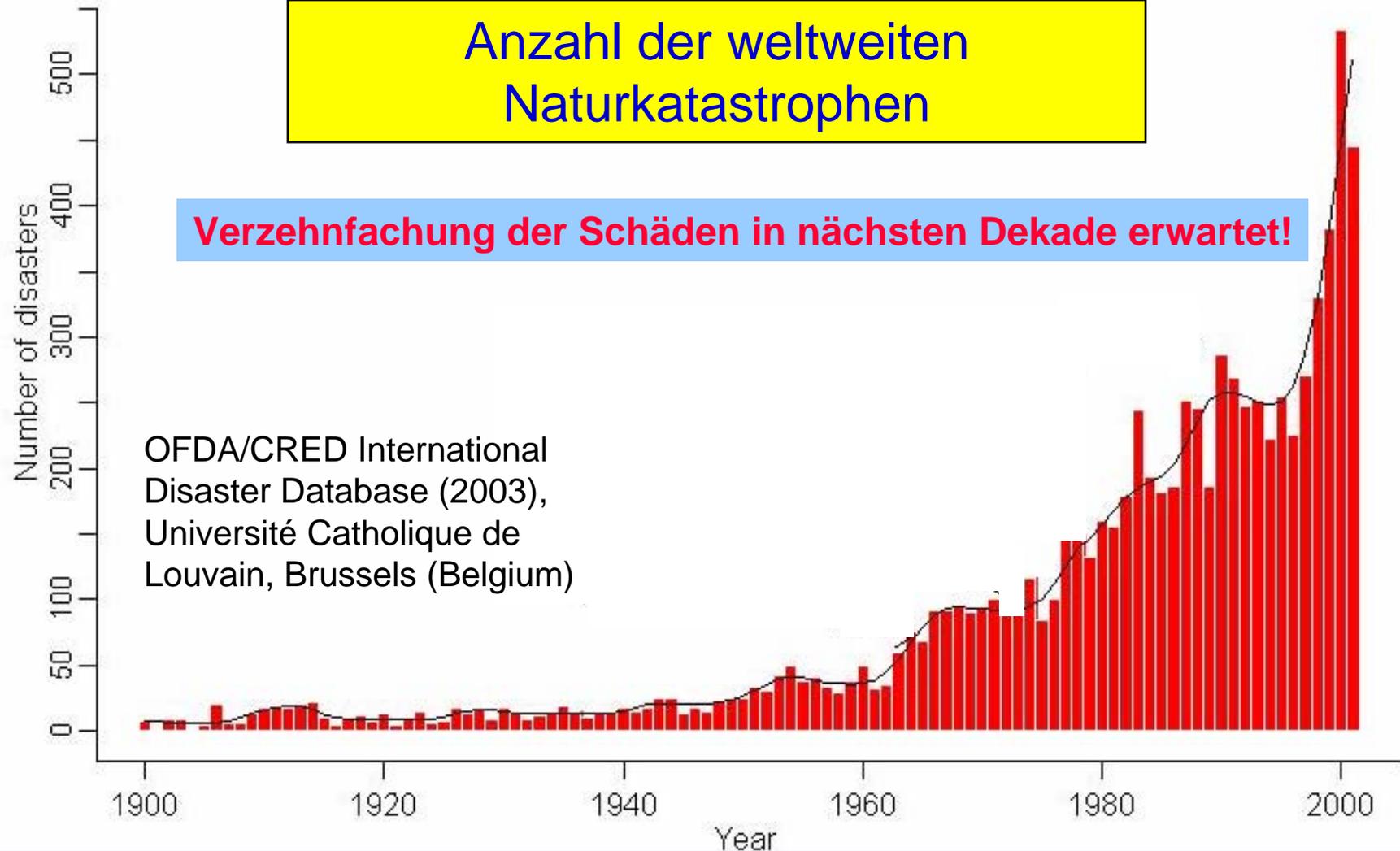
Hansen, et al. (2001)

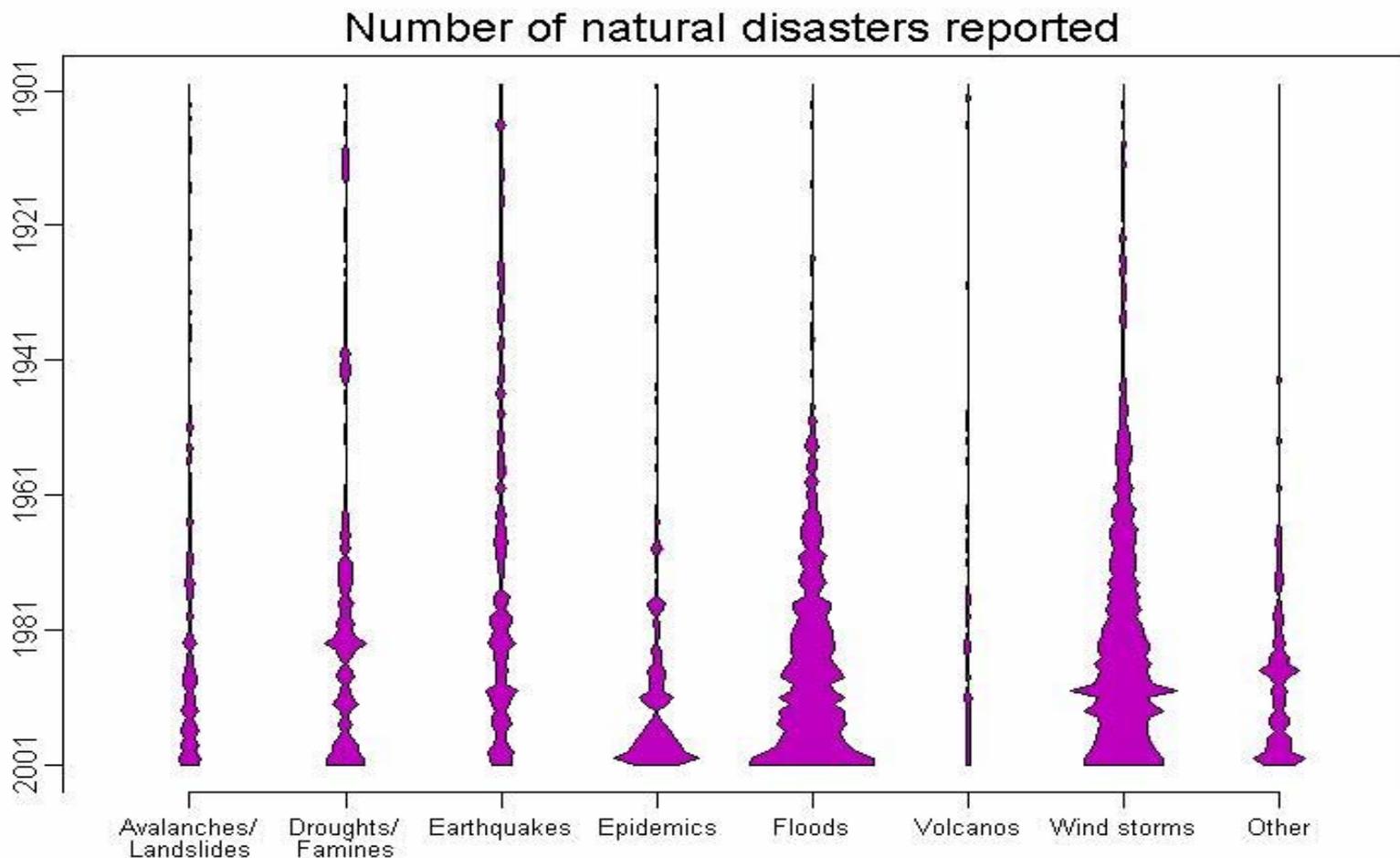
### Annual precipitation trends: 1900 to 2000



## Anzahl der weltweiten Naturkatastrophen

**Verzehnfachung der Schäden in nächsten Dekade erwartet!**





EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database  
(<http://www.cred.be>)

## Klimaänderungen in Bayern in letzten 50 Jahren

- Anstieg der **Temperatur** um ca. 1.4°C und Anstieg der **Schneefallgrenze** um ca. 100 m
- Zunahme der **Niederschlagssumme im Frühjahr** im nördlichen/westlichen Alpenraum um 20-30%
- Rückgang der **Niederschlagssumme im Sommer** um ca. 20%
- Anstieg der meteorologischen **Extremereignisse (Wind, Dürren, Niederschlag, Hagel)**
- Rückgang der **Gletscher** um ca. 50% (Volumen) im letzten Jahrhundert

## Rückgang des Gepatsch-Ferner, Kaunertal, (1904/2000)



(c) Sammlung der Gesellschaft für ökologische Forschung: Gepatsch-Ferner, Kaunertal / Tirol / Österreich, 1904



(c) Gesellschaft für ökologische Forschung / Sylvia Hamberger: Gepatsch-Ferner, Kaunertal, Tirol / Österreich, 13.8.2000

Quelle: Gesellschaft für ökologische Forschung, München

# Gletscherschwund Pasterze 1900/2000



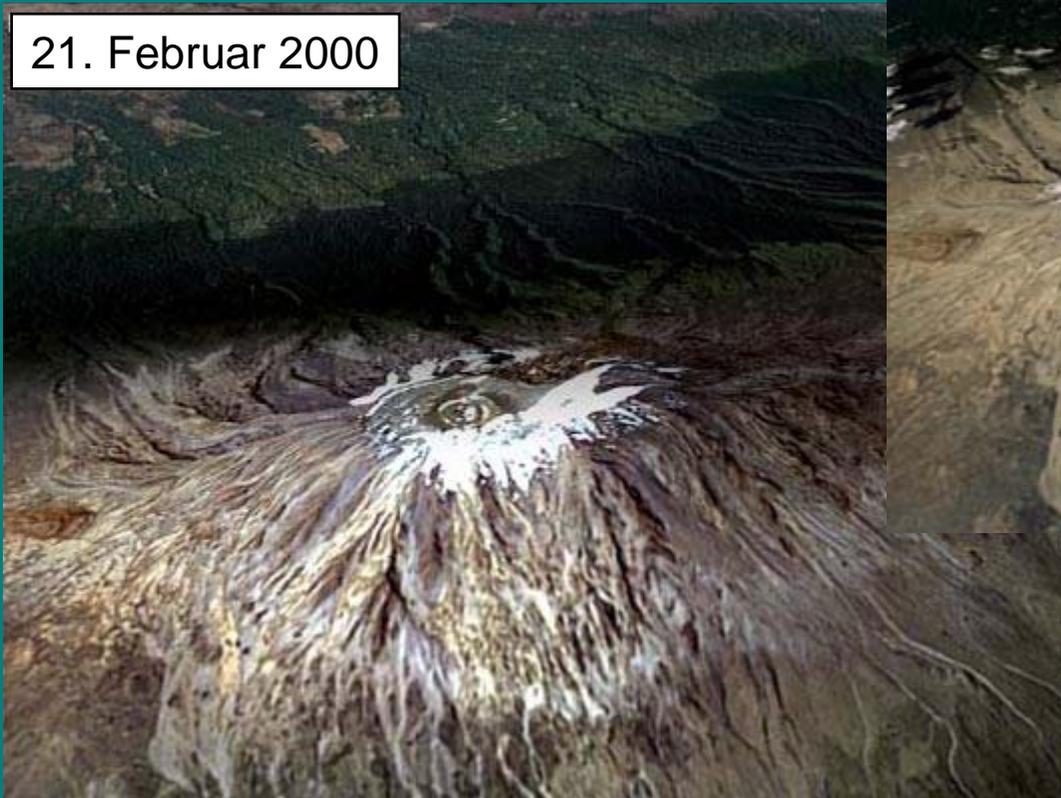
Quelle: Gesellschaft für  
ökologische Forschung, München

## Abschmelzen des Schnees auf Kilimanjaro

17. Februar 1993

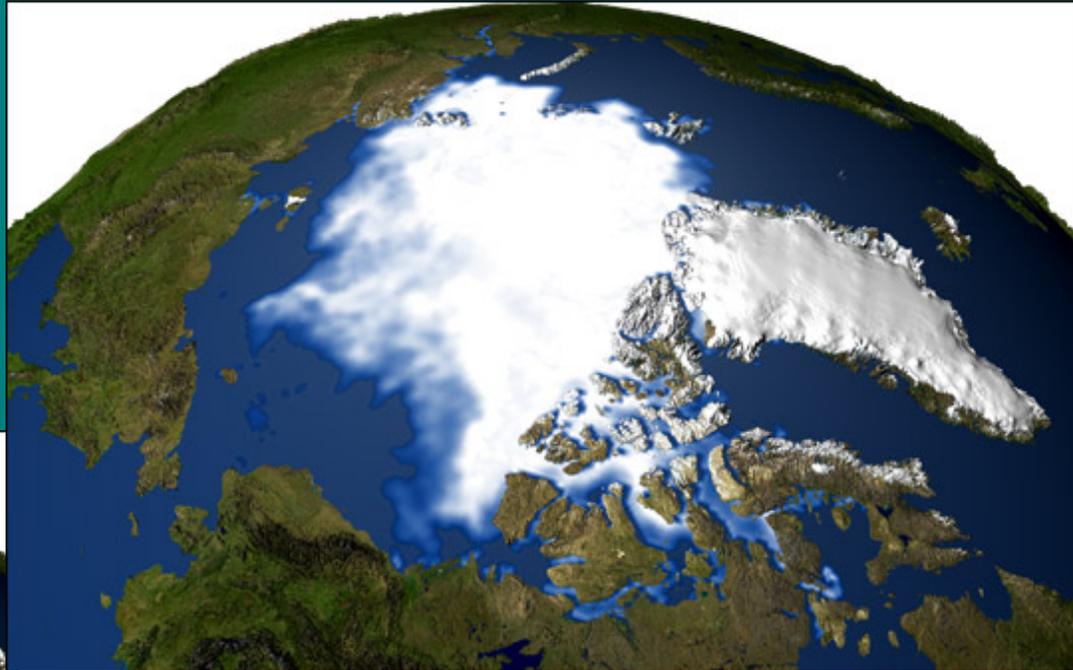


21. Februar 2000



NASA

Decrease of Arctic perennial sea ice  
Rate: 9 % per decade since the 1970s.

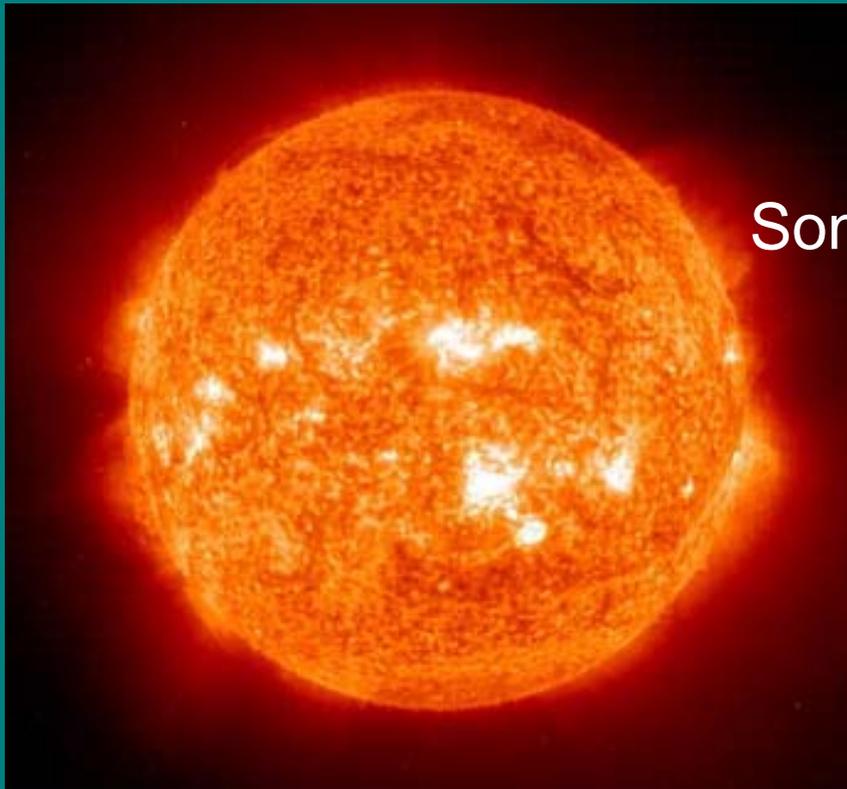


NASA 2003

Welche Prozesse sind für den  
Klimawandel der letzten  
hundert Jahre verantwortlich?

## Ursachen des Klimawandels

Sonnenstrahlung: ca. 30%



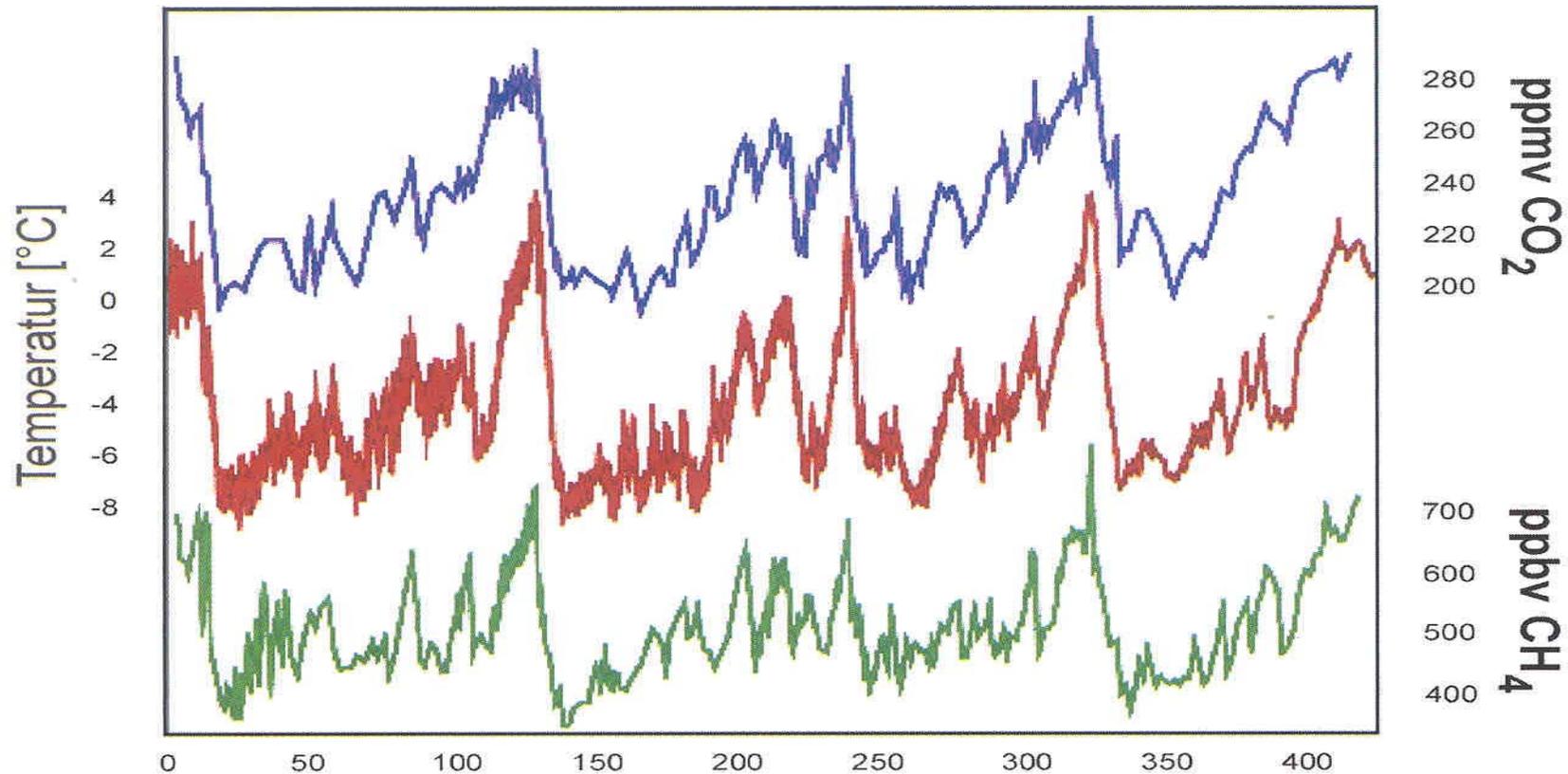
Anthropogene Aktivitäten: ca. 70%

Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, FCKW)

-18°C → +15°C



Temperatur sowie CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Konzentrationen in Eisbohrkernen der Vostok Bohrung, Antarktis (Petit et. al, 1999)

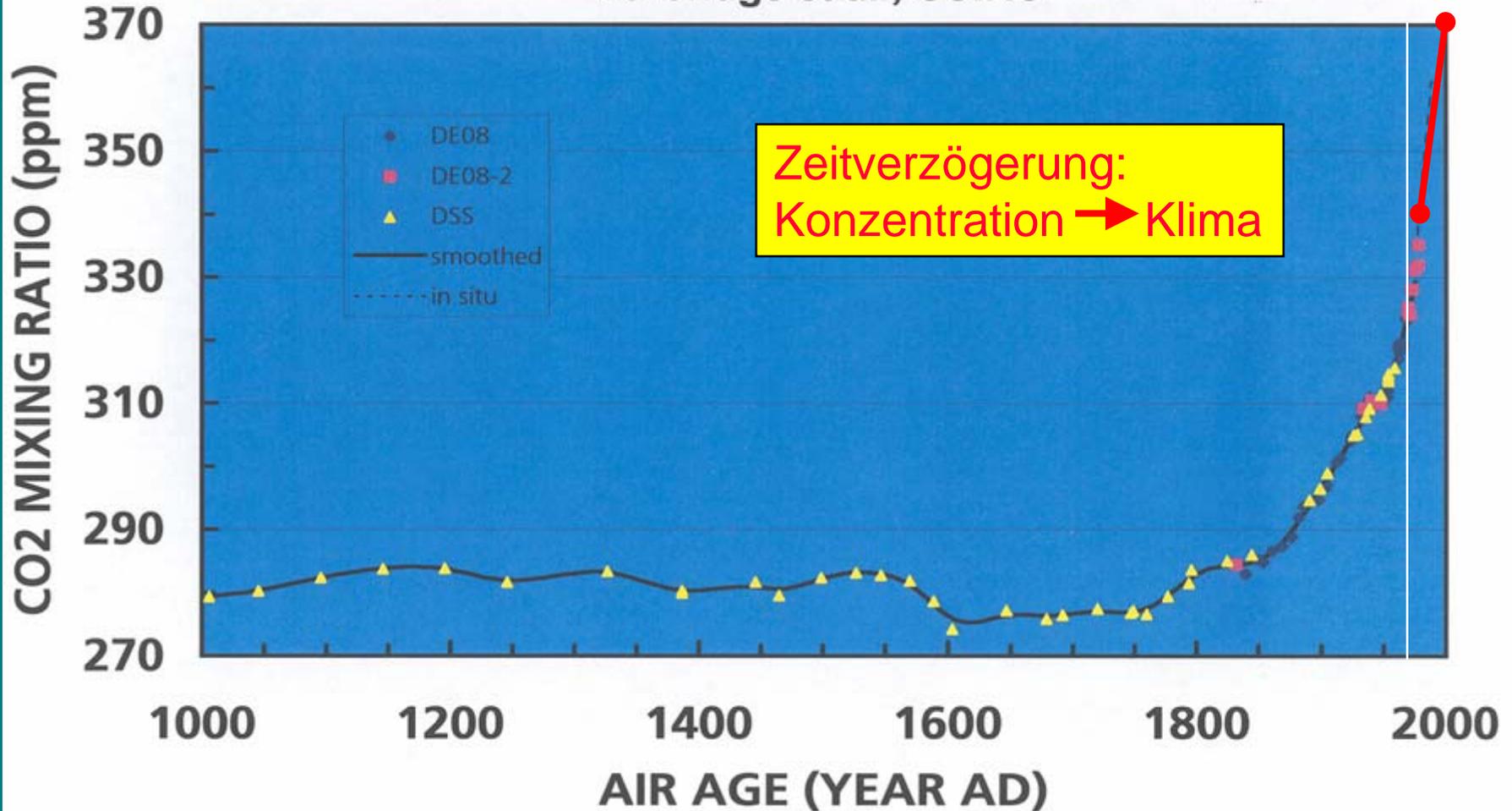


Eigenschaften der wichtigsten anthropogenen klimarelevanten Spurengase  
Zeitverzögerung: Emission → Konzentration

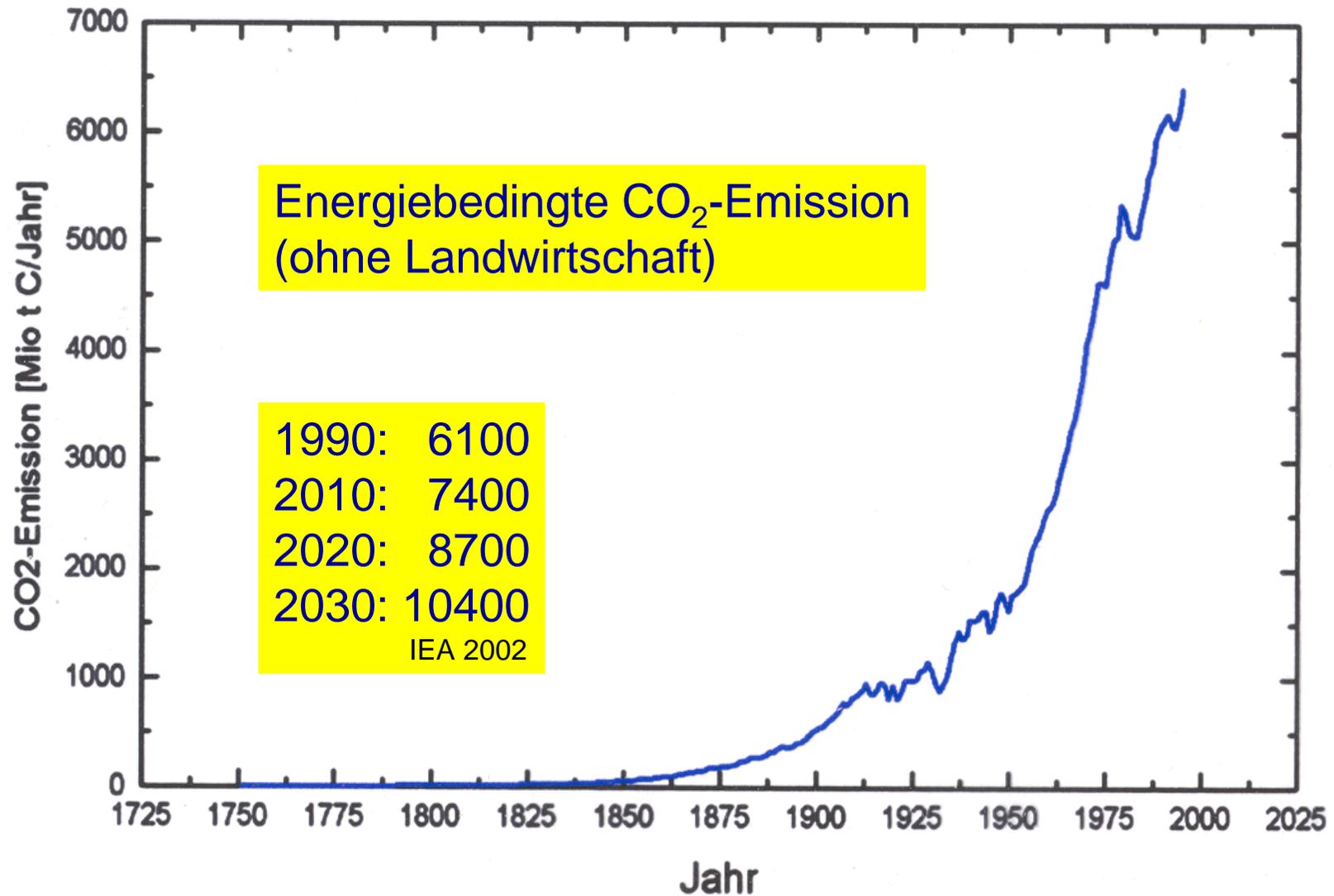
	Kohlendioxid	Methan	Distickstoffoxid	Troposph. Ozon	FCKW
Anteil am Treibhauseffekt (%)	50	13	5	7	24
Konzentrationszunahme (1860 - 2000)	280 - 370 ppm	700 -1750 ppb	270 - 316 ppb	15 - 50 ppb	0 - 880 ppt
Zunahme in %	31	151	17	233	
<b>Verweilzeit (Jahre)</b>	<b>60-120</b>	<b>10-12</b>	<b>120</b>	<b>Variabel</b>	<b>13-130</b>
Treibhauswirksamkeit (Zeithorizont:100 Jahre)	1	23	296	variabel, ca. 50	>1000

## LAW DOME, ANTARCTICA ICE CORES

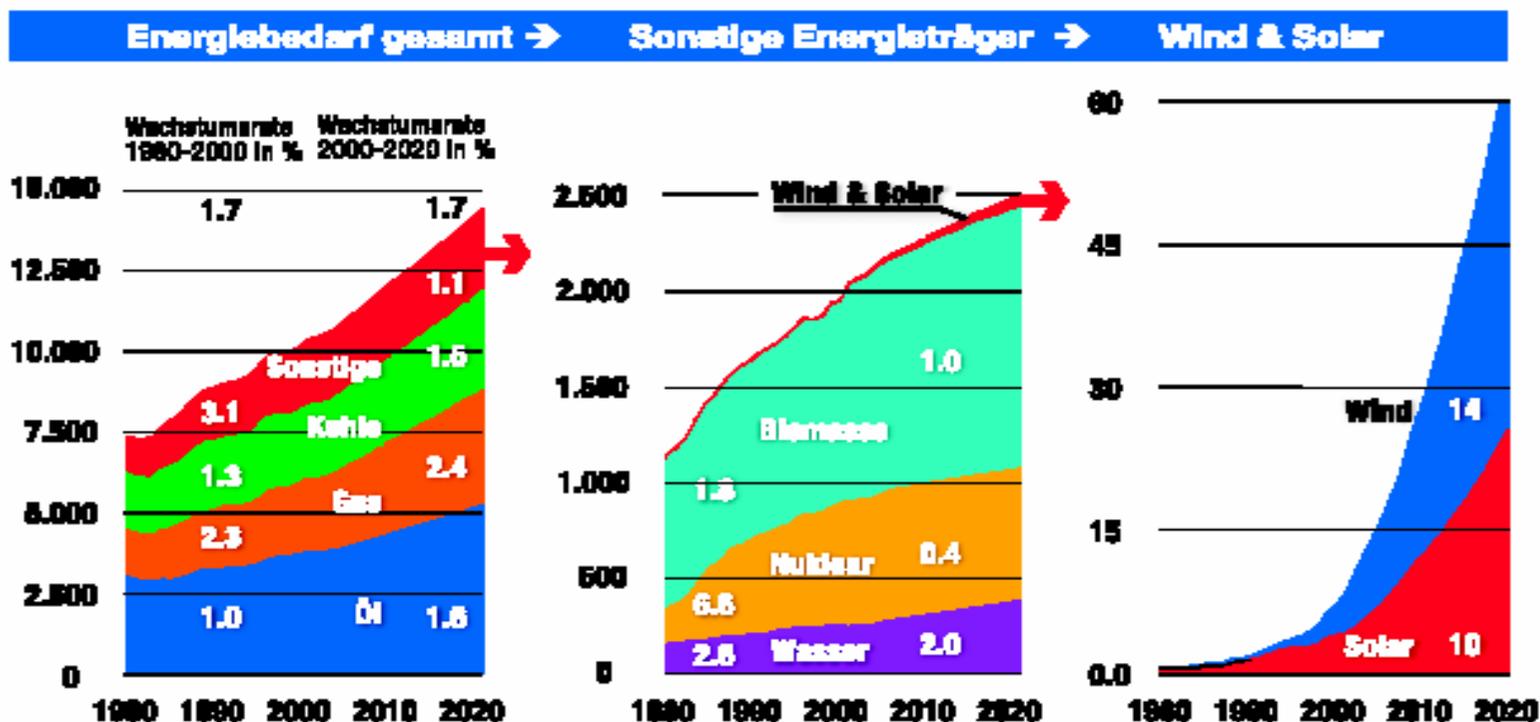
Etheridge et al., CSIRO



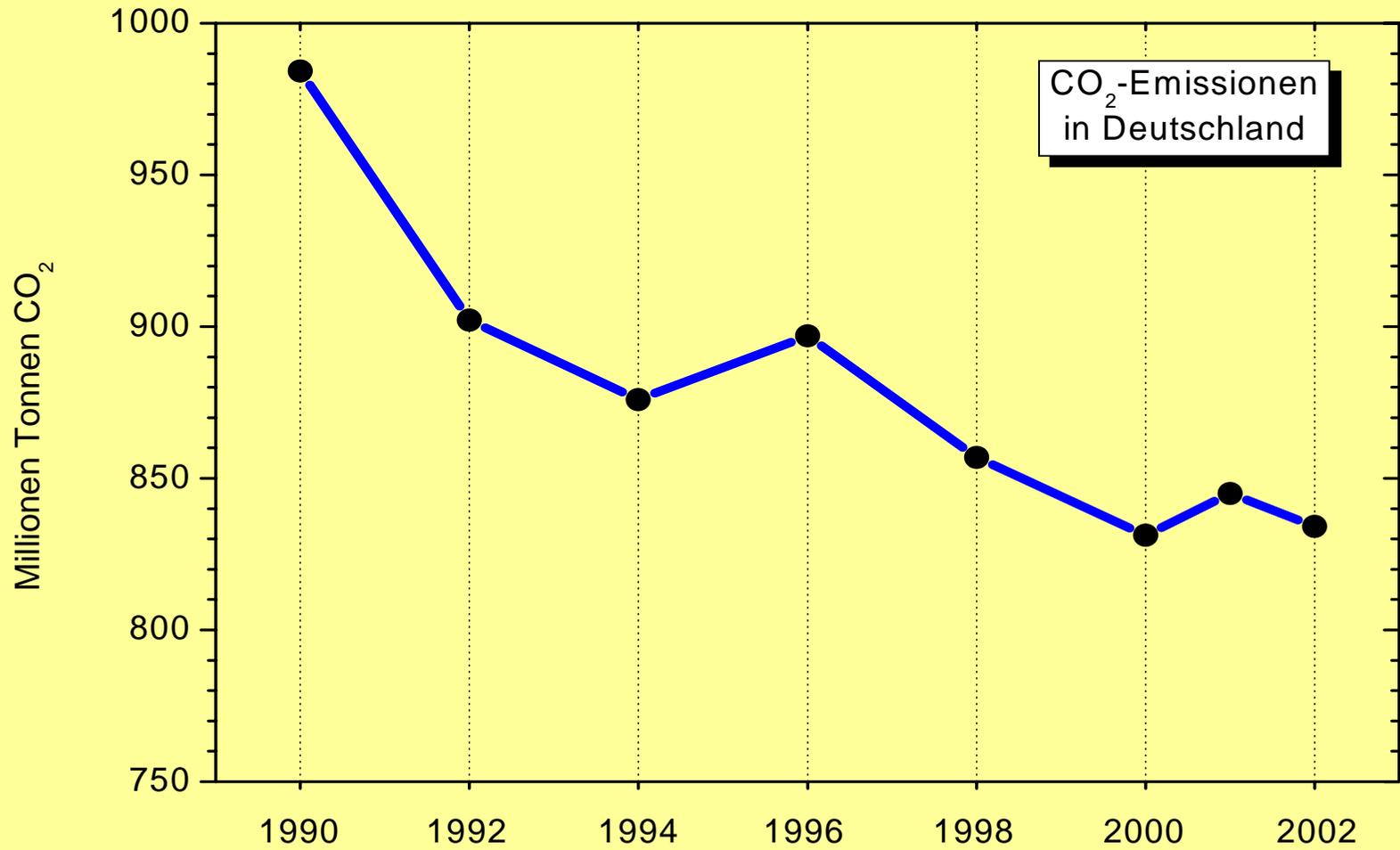
Wie wird sich das Klima in den  
nächsten hundert Jahren  
entwickeln?



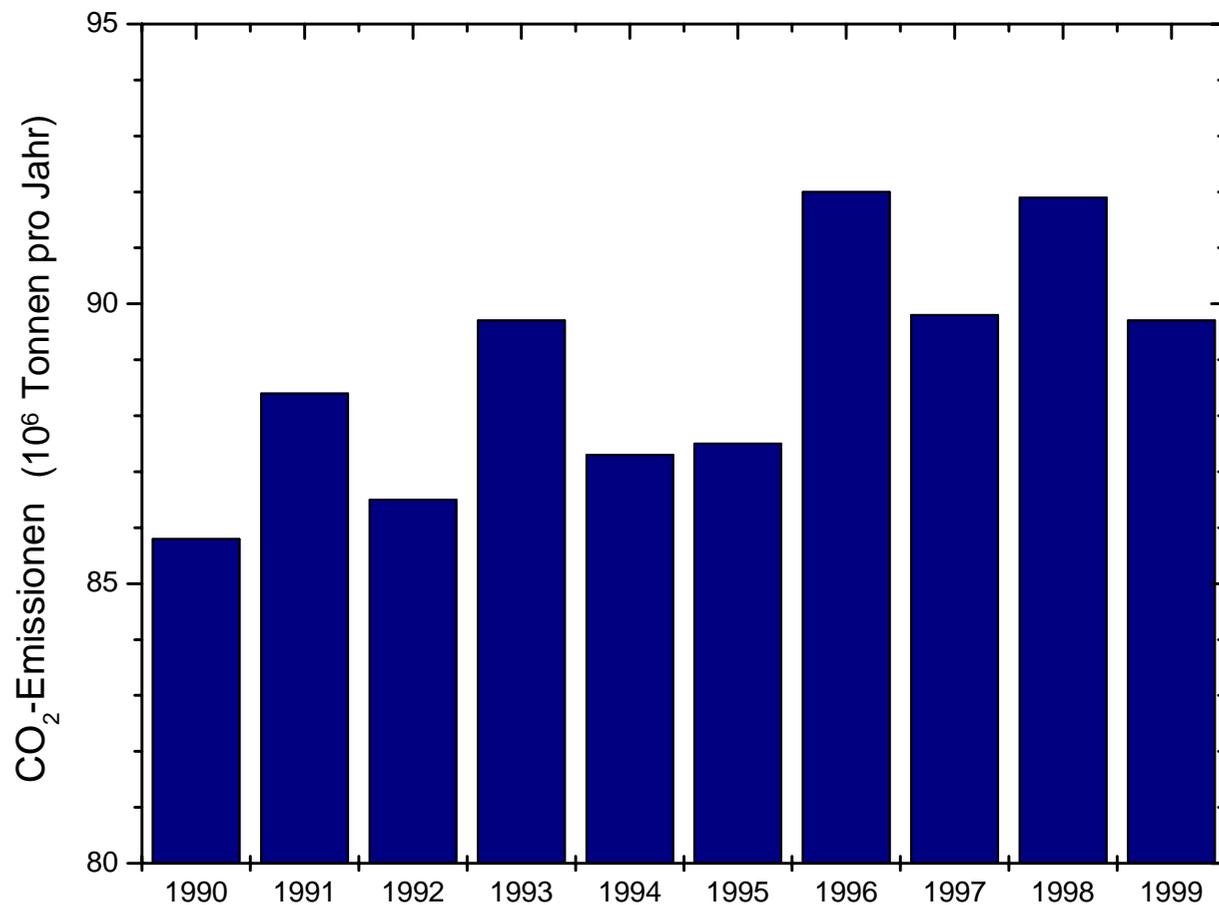
## Weltenergiebedarf in Millionen Tonnen Ölequivalent (OE)



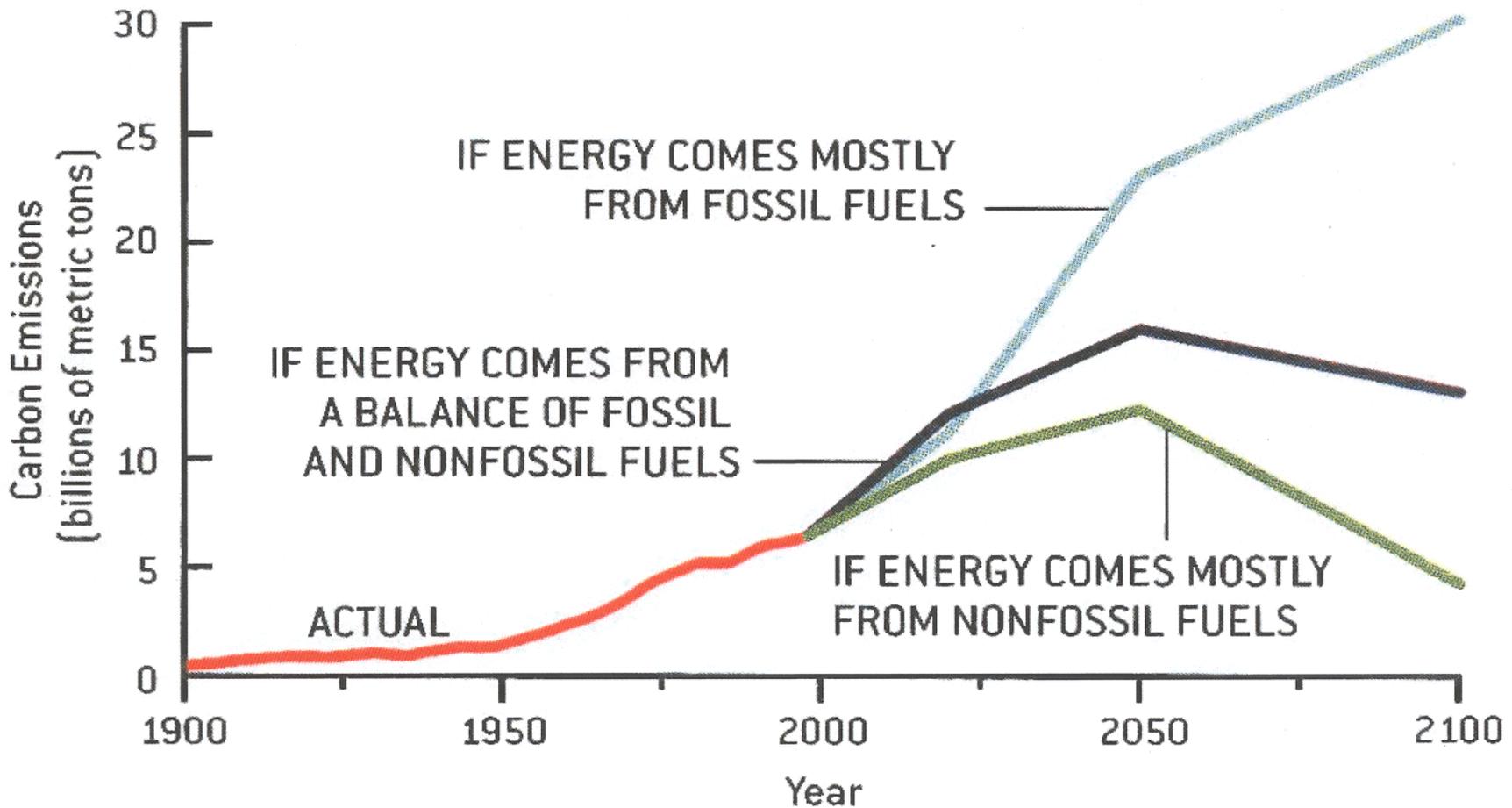
Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



## CO<sub>2</sub>-Emissionen in Bayern



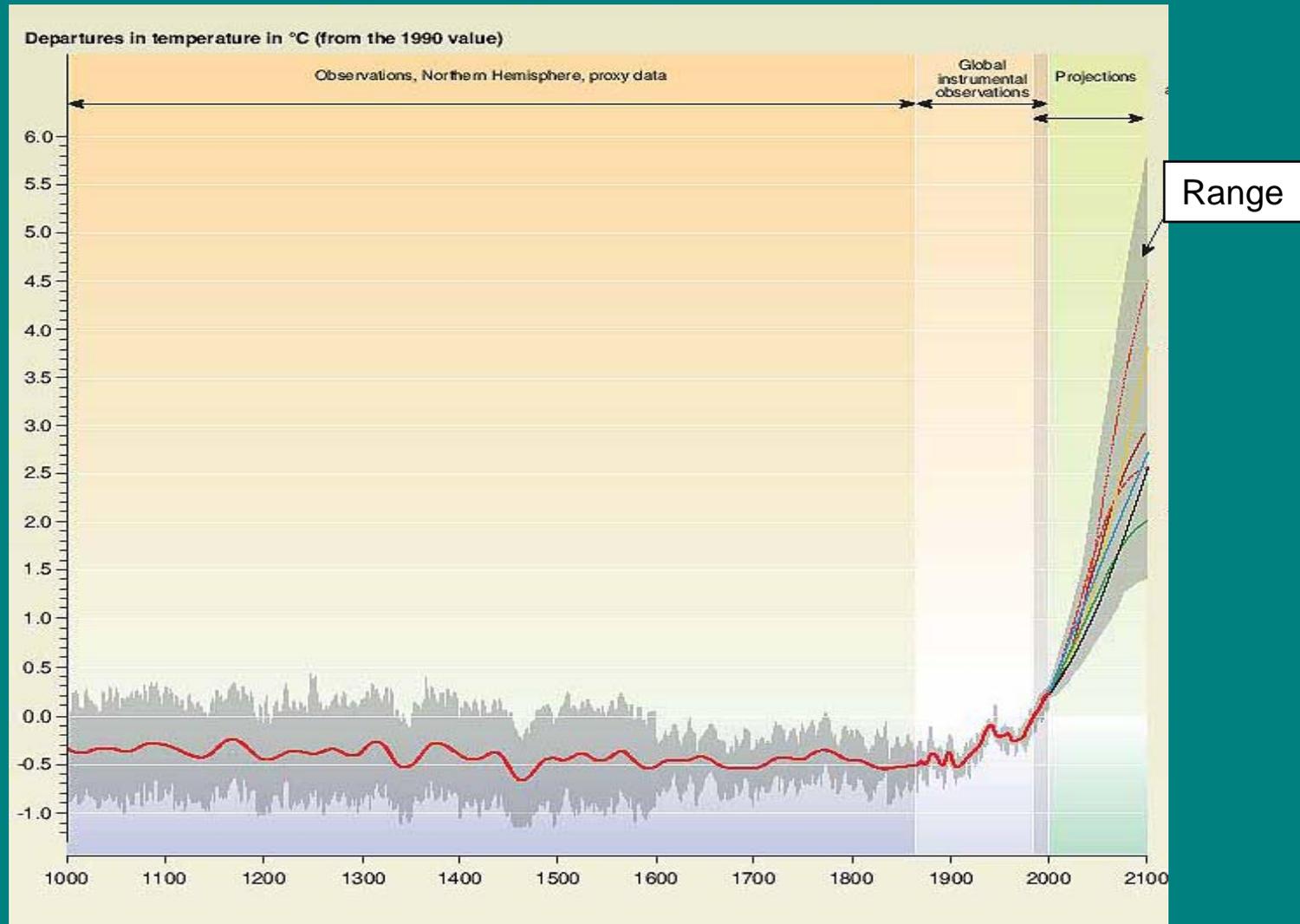
## Mögliche CO<sub>2</sub>-Emissions-Szenarien



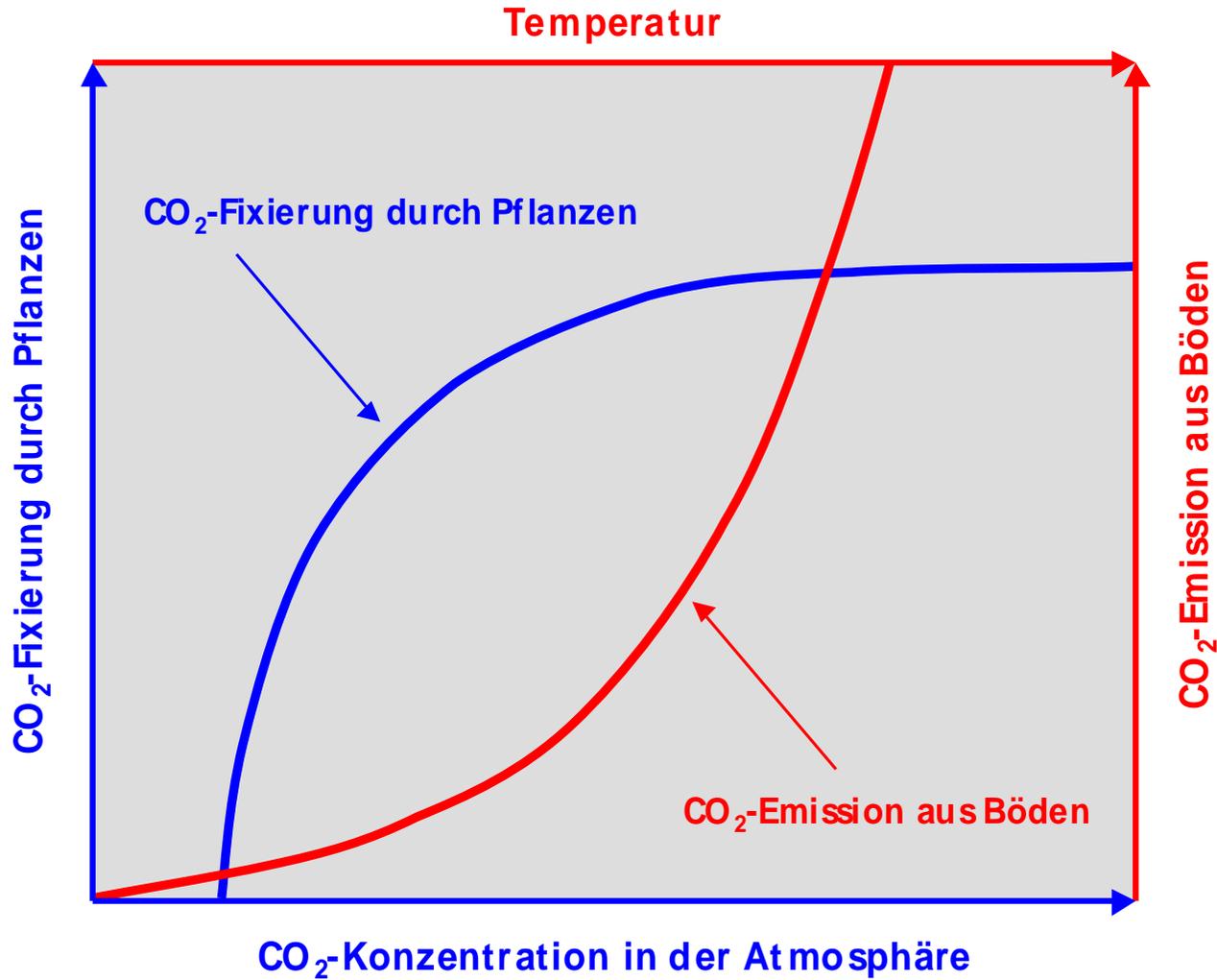


Wahrscheinlicher  
Wert: 3°C (kein  
Gleichgewicht)

Neuester  
Wert: 5.5 °C  
Jones et al. 2003



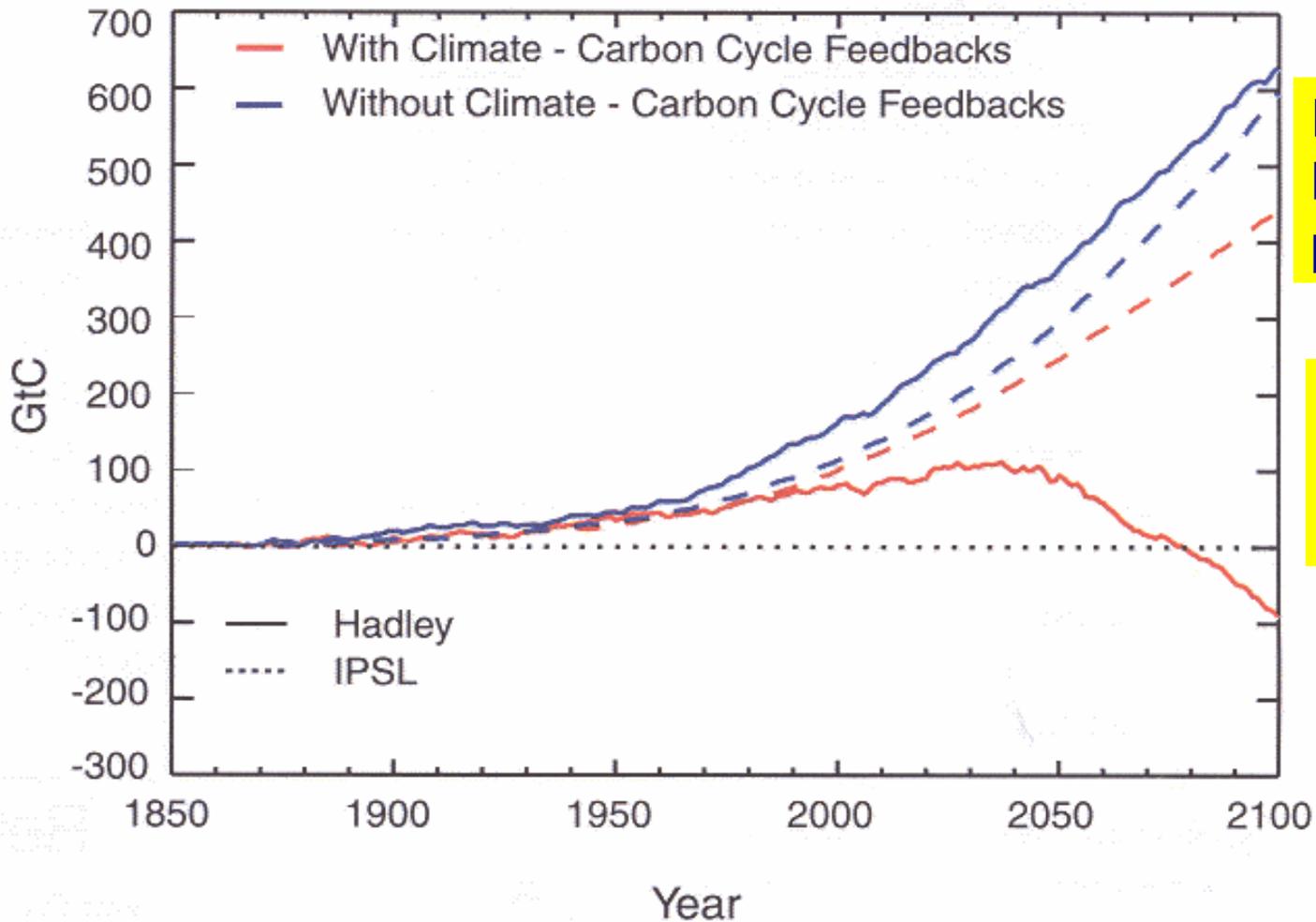
# Unsicherheiten?



Rückkopplungs-  
mechanismen

Biosphäre eine  
CO<sub>2</sub>-Nettoquelle  
ab 2040 (?)

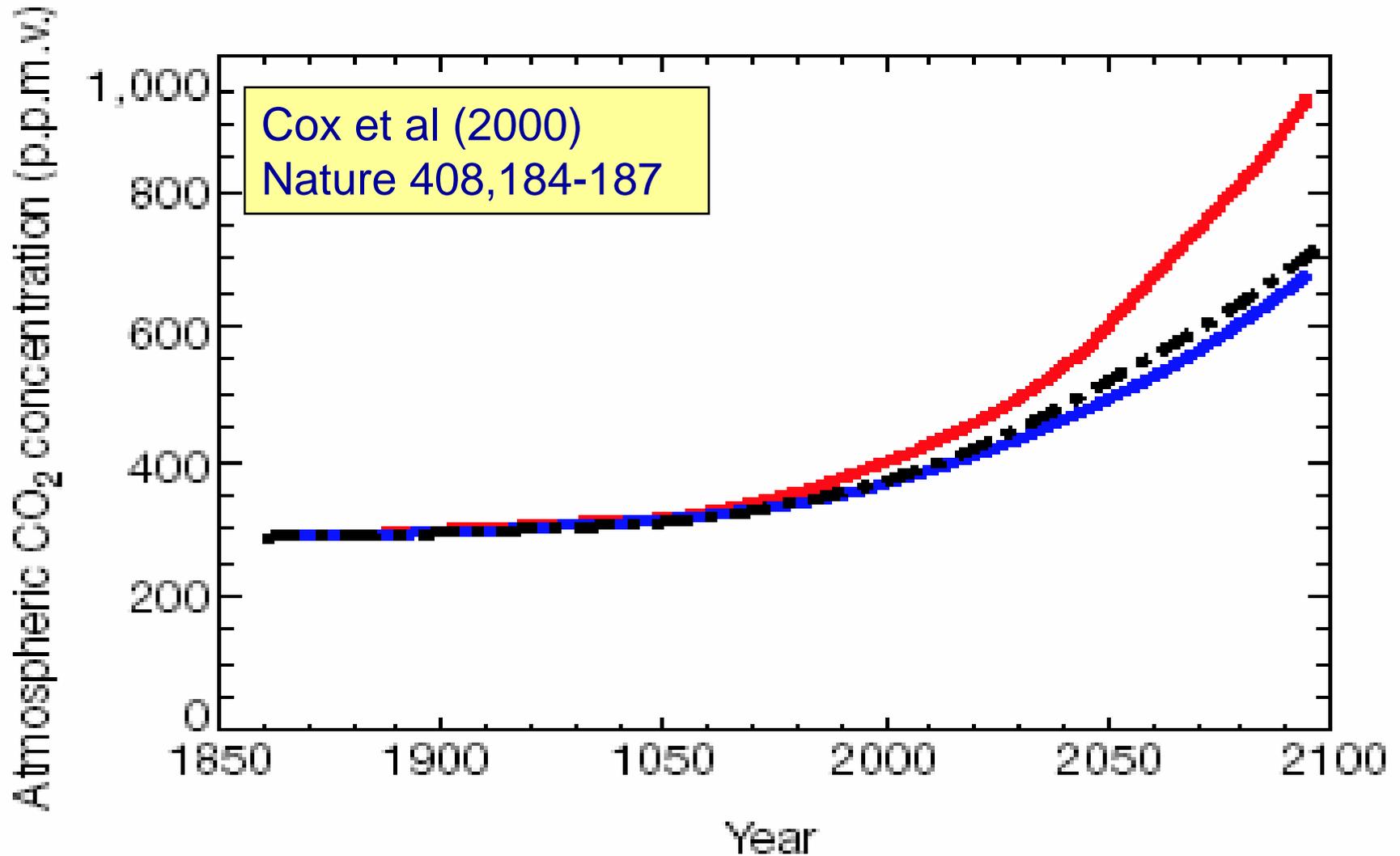
Change in Land Carbon (Global)

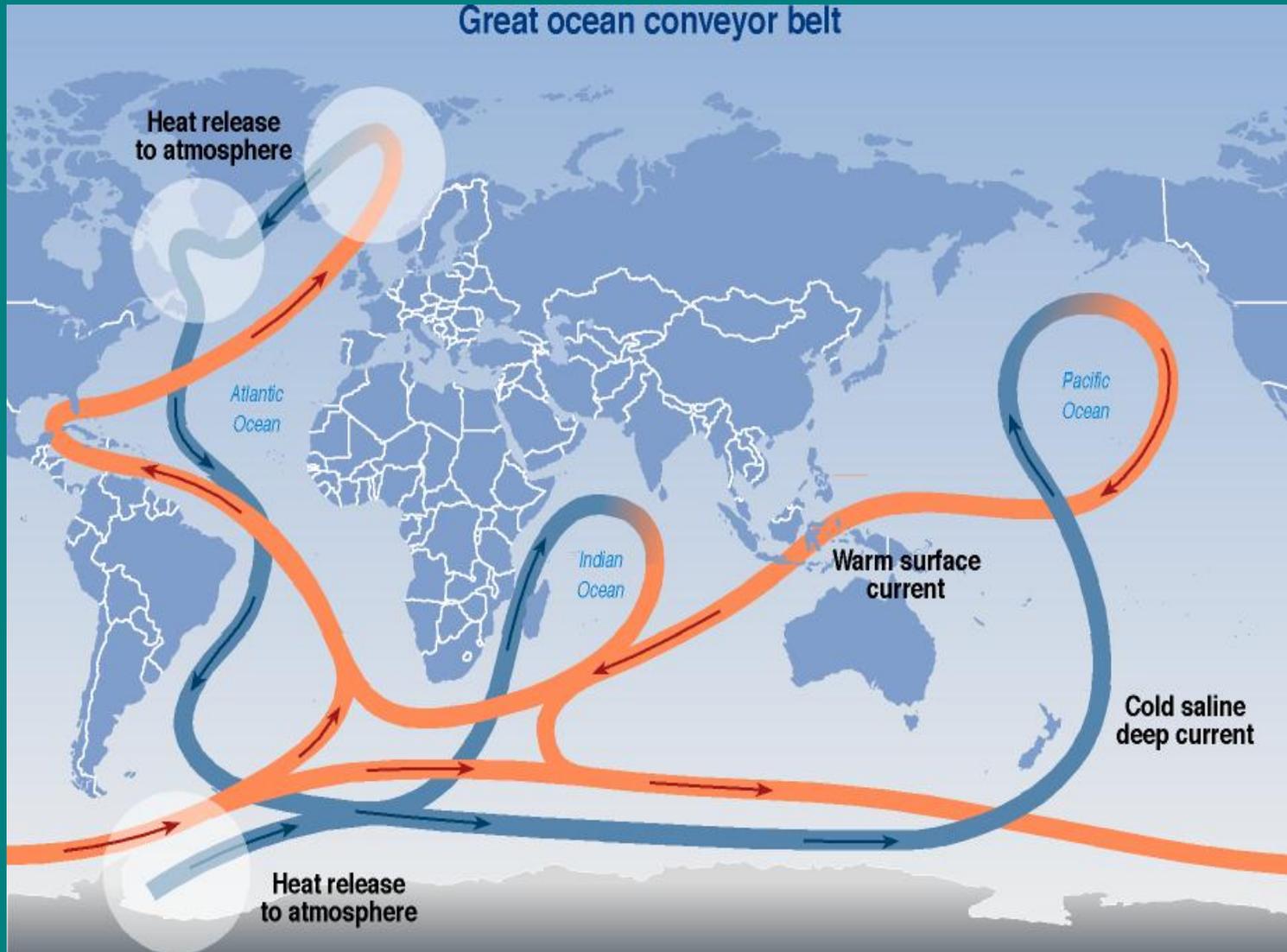


Rückkopplung  
Biosphäre/Atmos-  
phäre

Biosphäre eine  
CO<sub>2</sub>-Nettoquelle  
ab 2040 (?)

Cox et al (2000)  
Nature 408,184-187





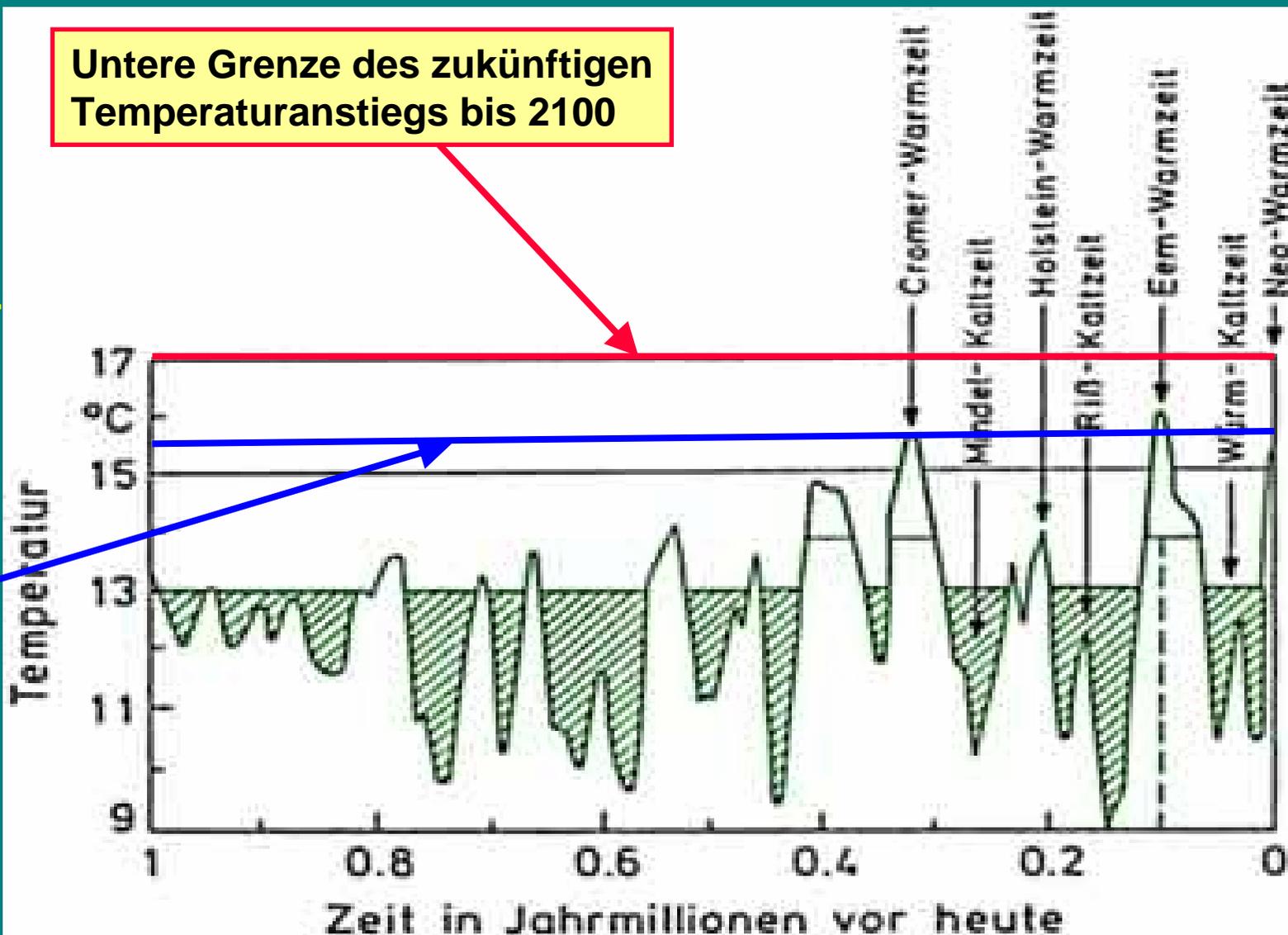
Mit welchen Auswirkungen ist  
zu rechnen?

Global?  
Regional?

Schwankungen  
der globalen  
Temperaturen  
zwischen Warm-  
und Eiszeiten

Untere Grenze des zukünftigen  
Temperaturanstiegs bis 2100

Heutiger Wert



## Globale Auswirkungen einer weiteren Klimaänderung

### Anstieg des Meeresspiegels um 9 – 88 cm zwischen 1990 und 2100 (wahrscheinlicher Mittelwert: ca. 50 cm)

- Überflutung von fruchtbaren Küstenzonen, niedrig liegenden Inseln und Küstenstädten
- Versalzung des Grundwassers und der Böden

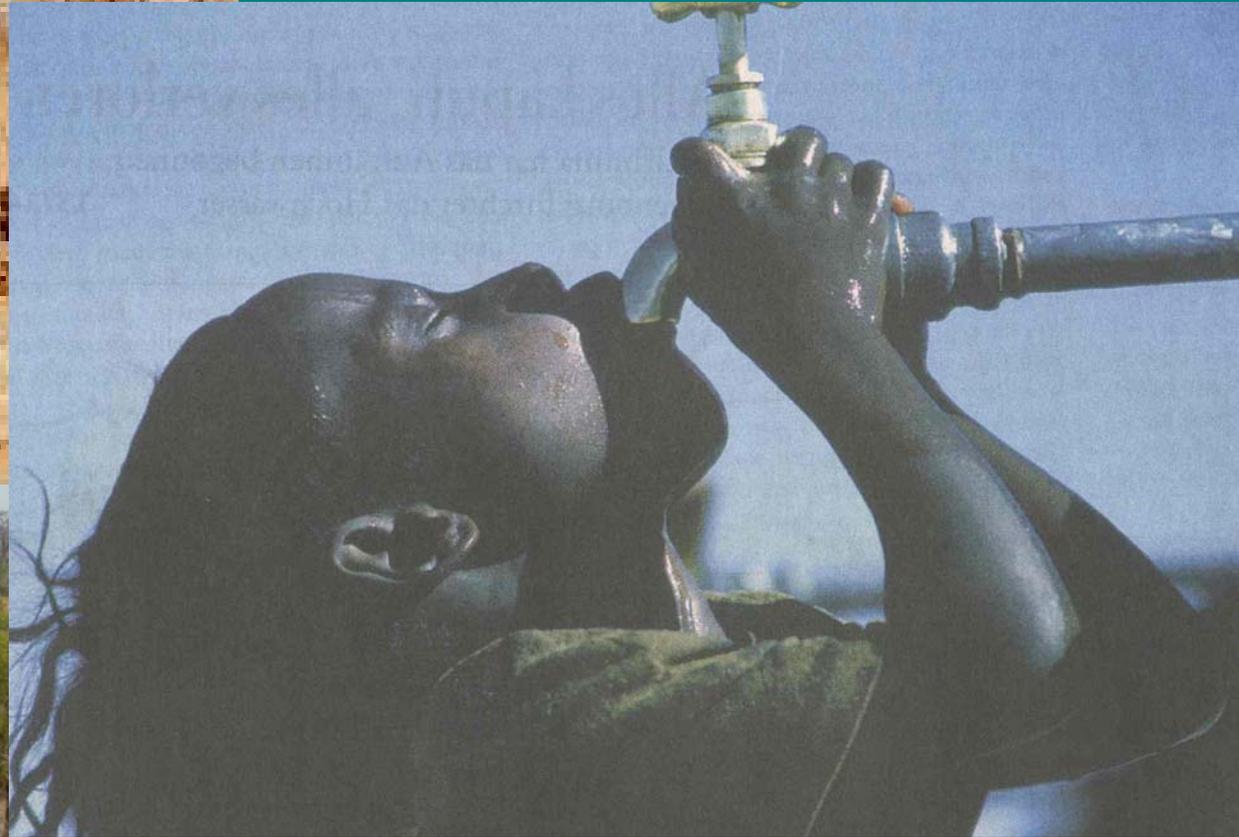
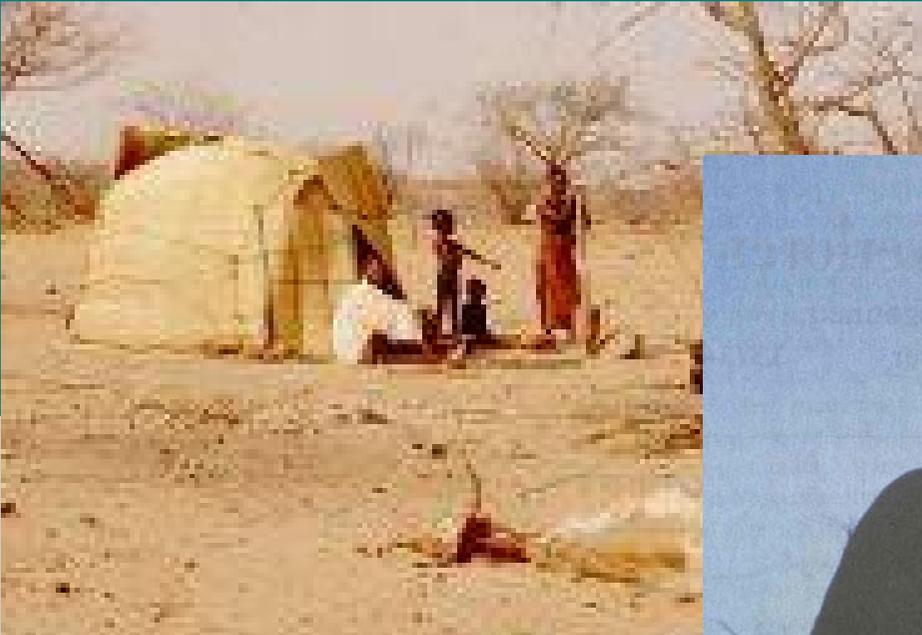
### Veränderung der atmosphärischen Zirkulation

- Verschiebung der Klima-Vegetationszonen (150 km pro 1 °C)
- Verschiebung der Zugbahnen und Intensitäten von Hoch-/Tiefdruckgebieten und Orkanen

### Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs

- Veränderung von Niederschlag und Verdunstung (Raum, Zeit, Menge)
- Auswirkungen auf Wasserabfluss, Grundwasser, Land-/Forstwirtschaft, Ökosysteme

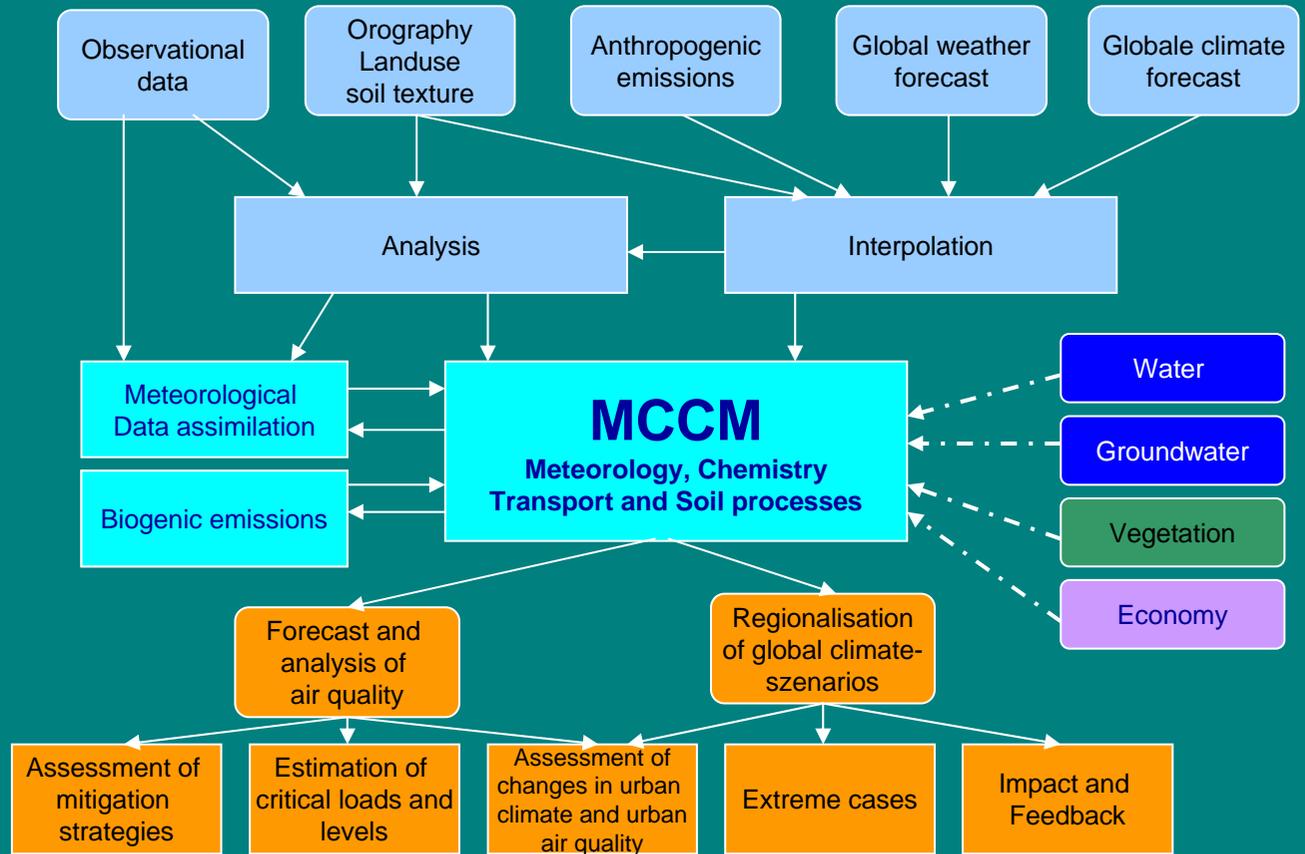
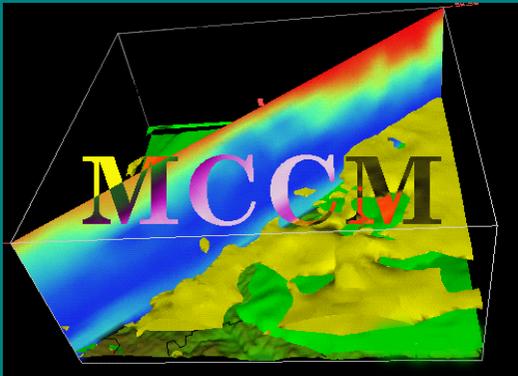
## Globale Herausforderung: Wasserverfügbarkeit



Verlierer und Gewinner / Jahrhundert der modernen Völkerwanderungen

- Aussagen über die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des globalen Klimawandels sind nur bei Kenntnis der **regionalen Klimaänderungen** möglich.
- Einsatz von zeitlich und räumlich hoch auflösenden **regionalen Klimamodellen** ist zwingend erforderlich.

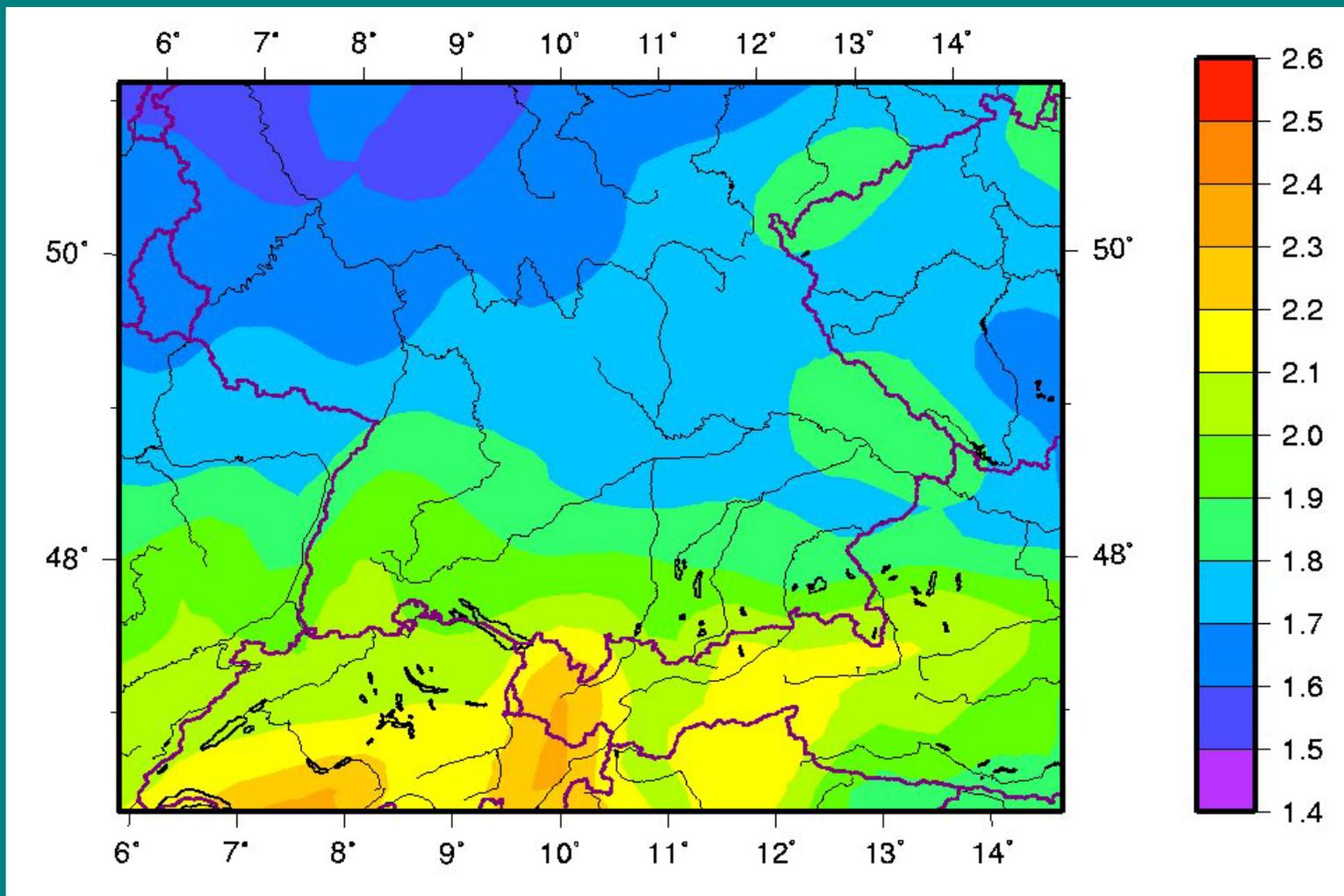
# Das Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM) des IMK-IFU



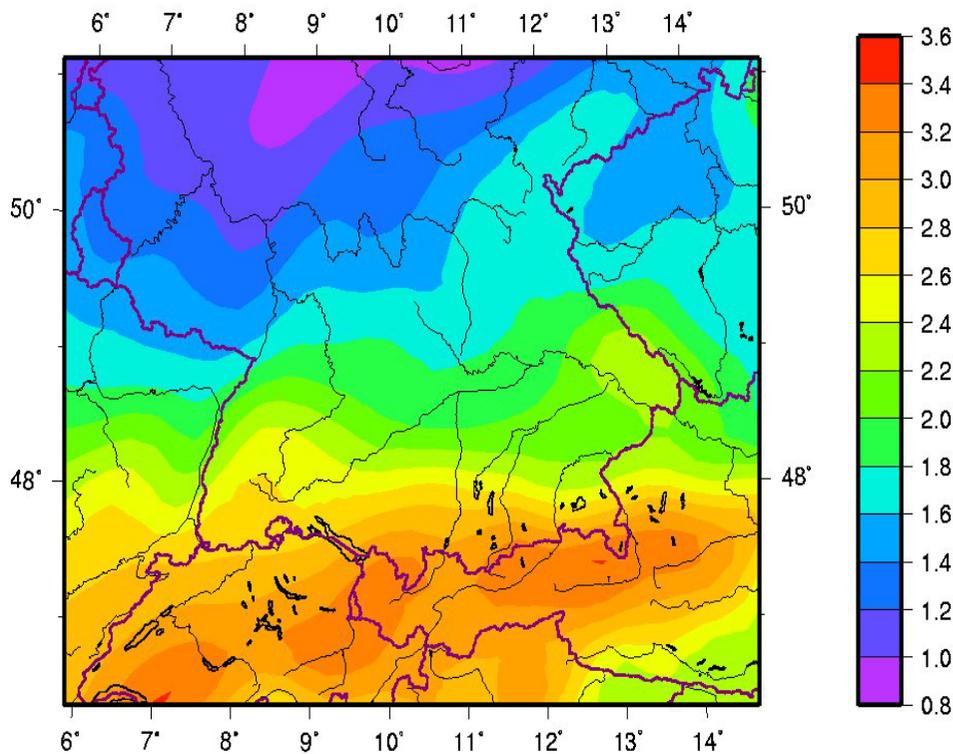
## Die globalen Klimaprognosen bis 2030: (ECHAM4 - A1- Szenario)

- Weitere Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 50%
- Anstieg der mittleren Temperatur um ca. 1°C
- Zunahme der globalen Niederschlagsmengen um bis zu 10%

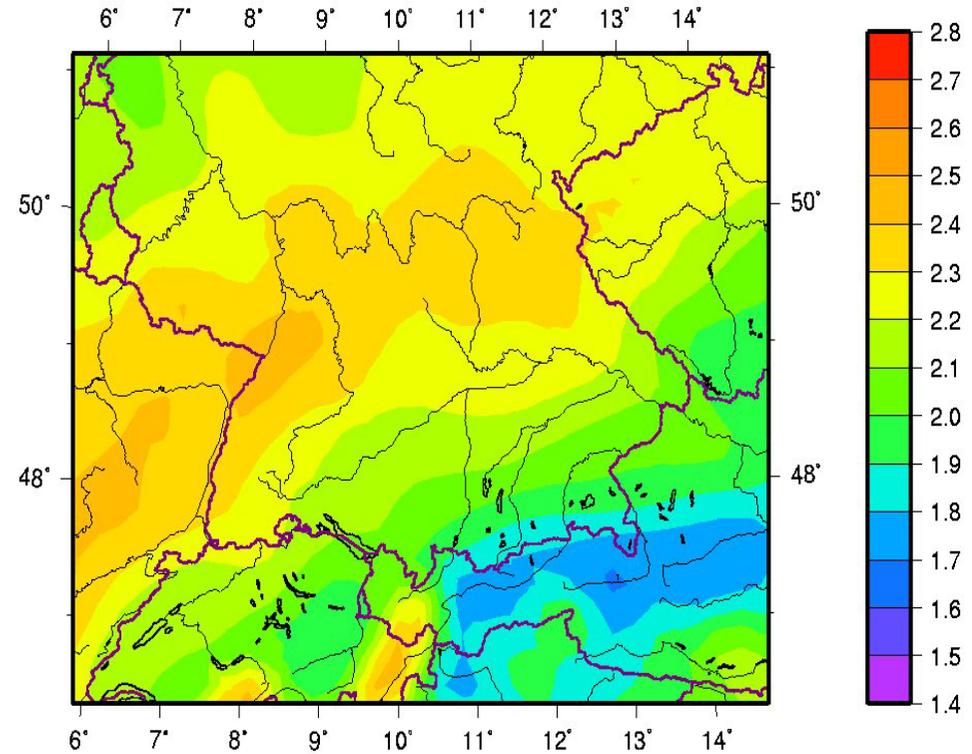
## Änderung der Jahresmitteltemperatur (2030/1990)



## Änderung der mittleren Temperaturen für Winter und Sommer (2030/1990)

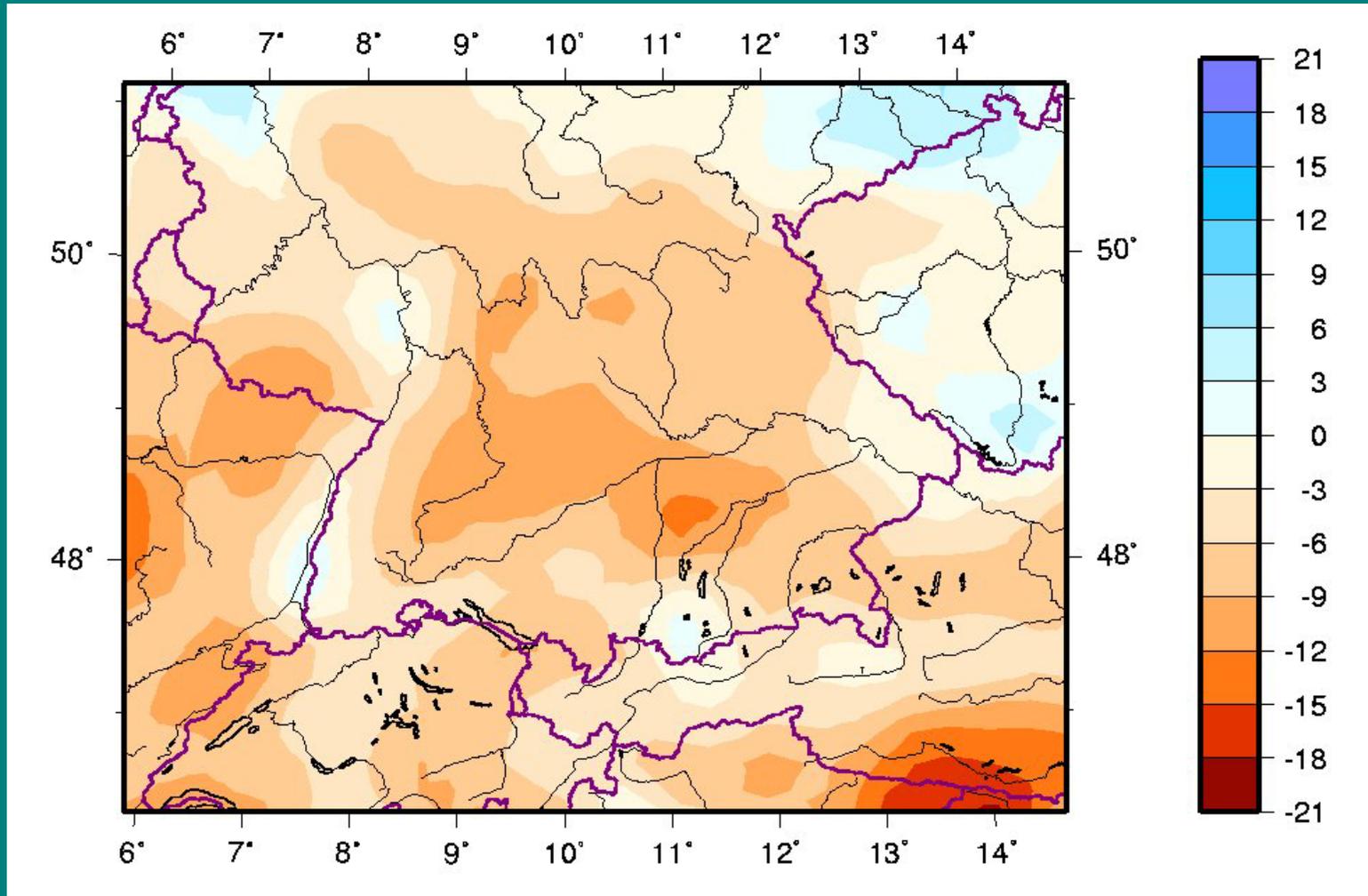


Dezember/Januar/Februar

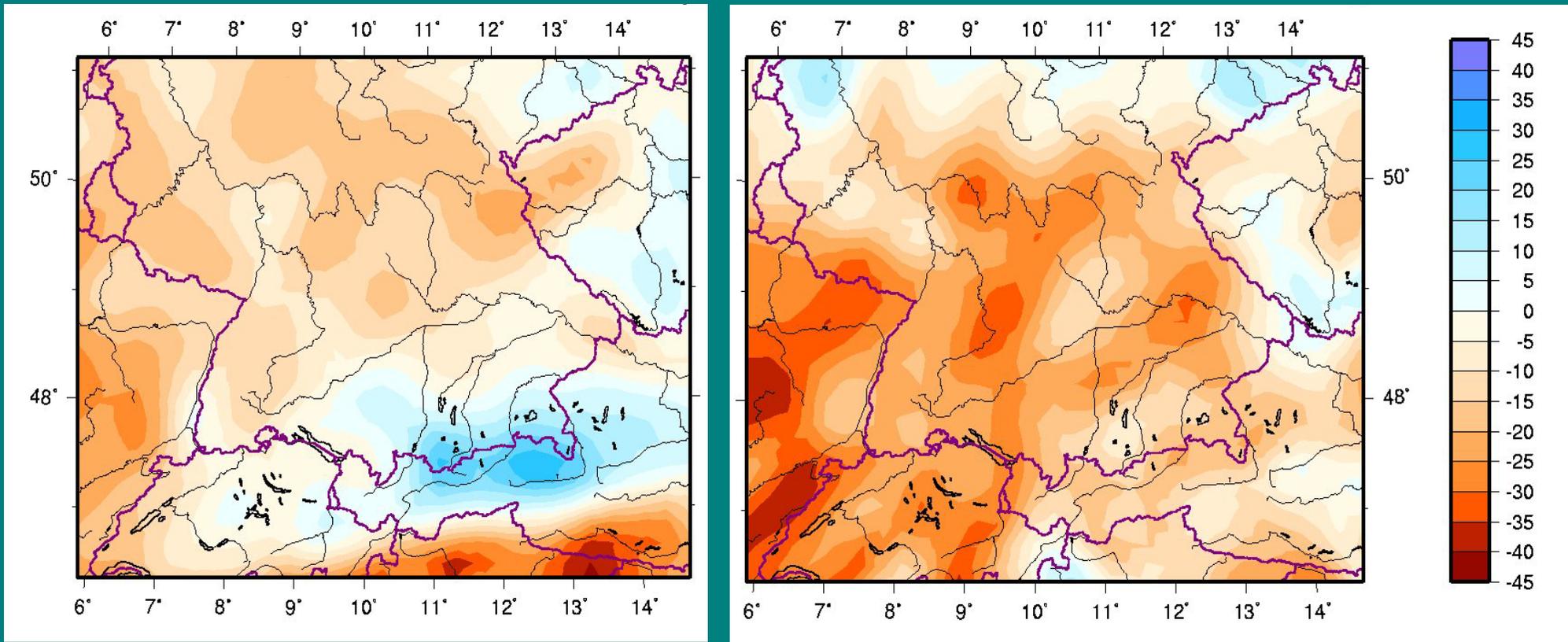


Juni/Juli/August

## Veränderungen der jährlichen Niederschlagssummen (2030/1990)



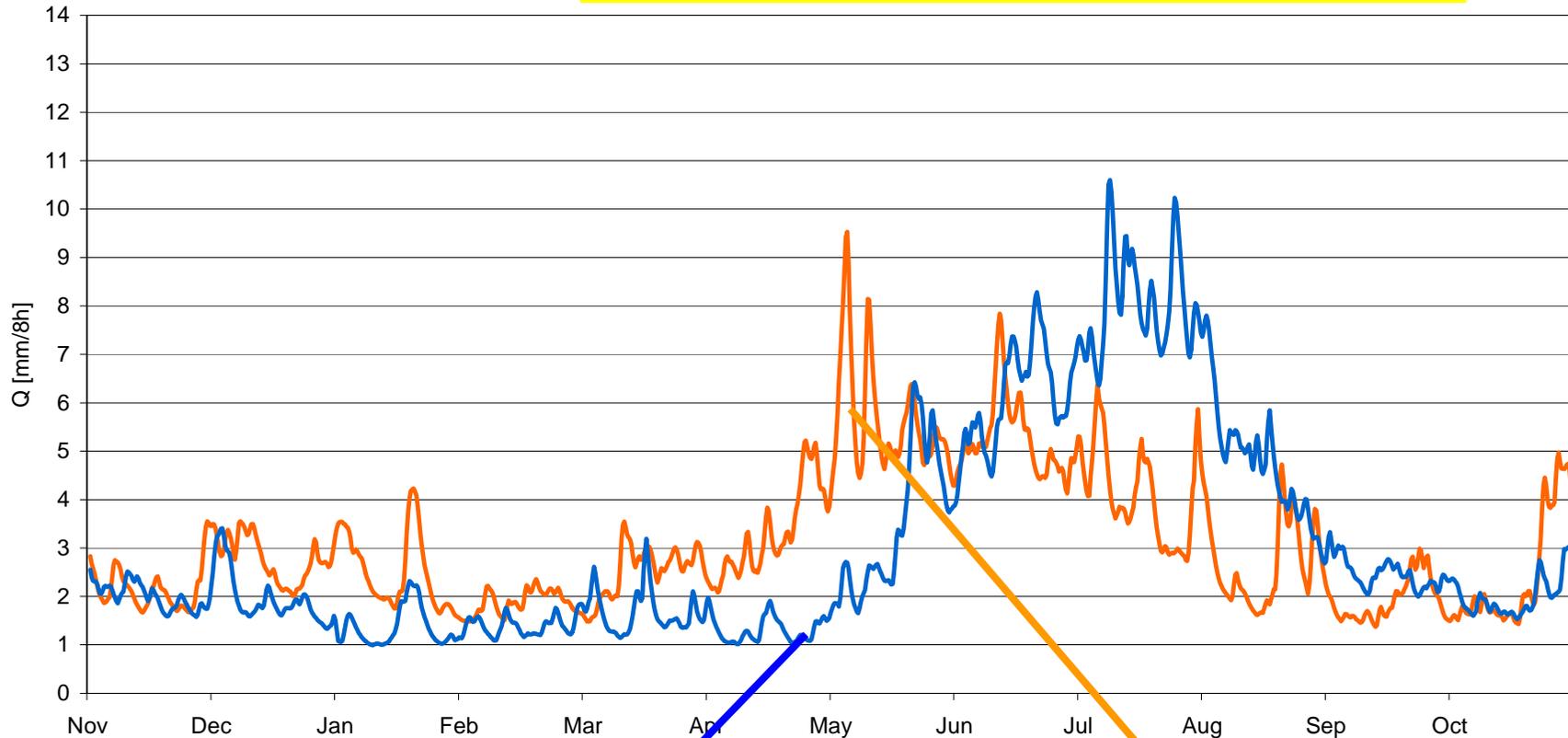
## Änderung der Niederschlagssummen für Frühjahr und Sommer (2030/1990)



März/April/Mai

Juni/Juli/August

Ammer Pegelstation: Oberammergau

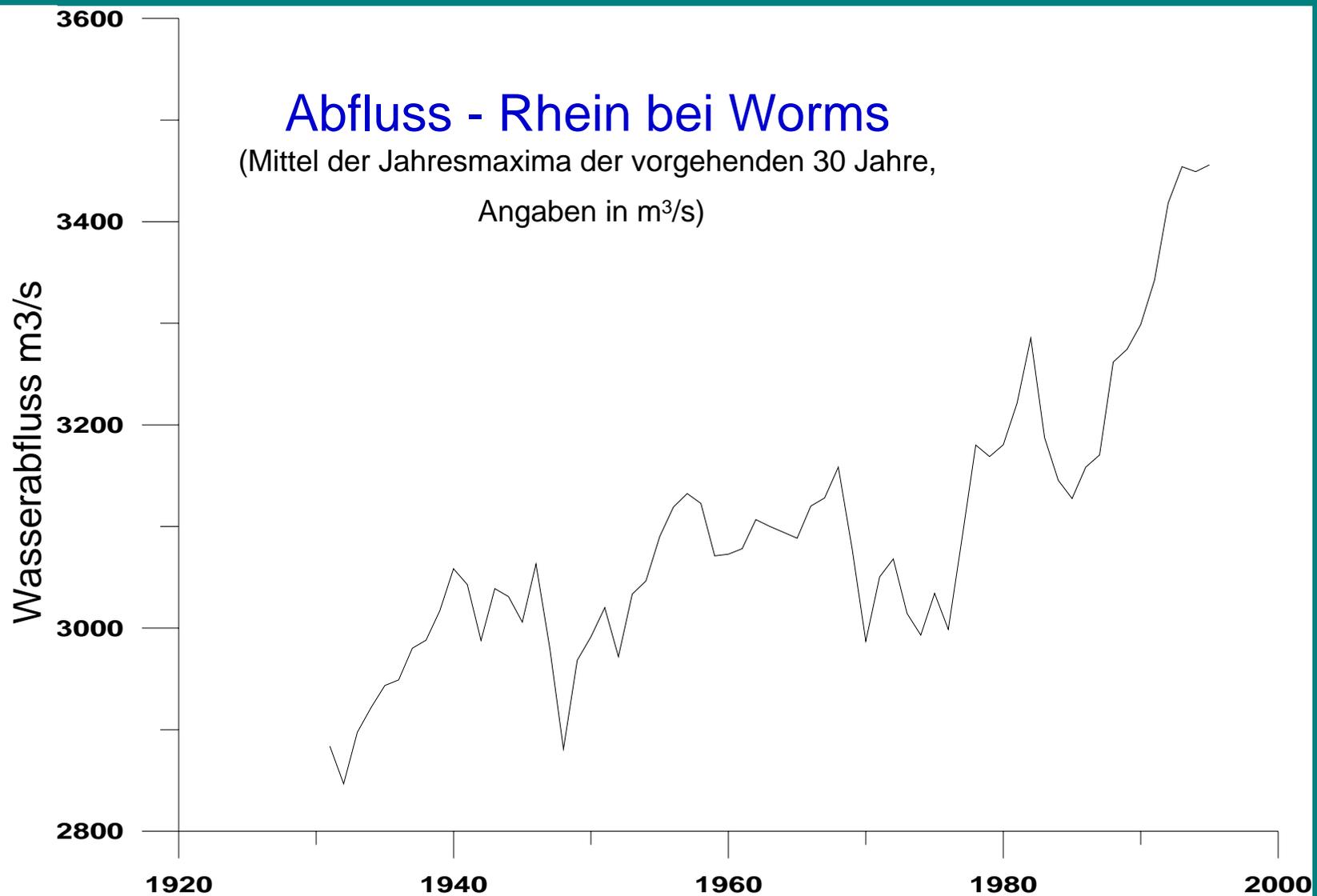


Mean 1991-1999

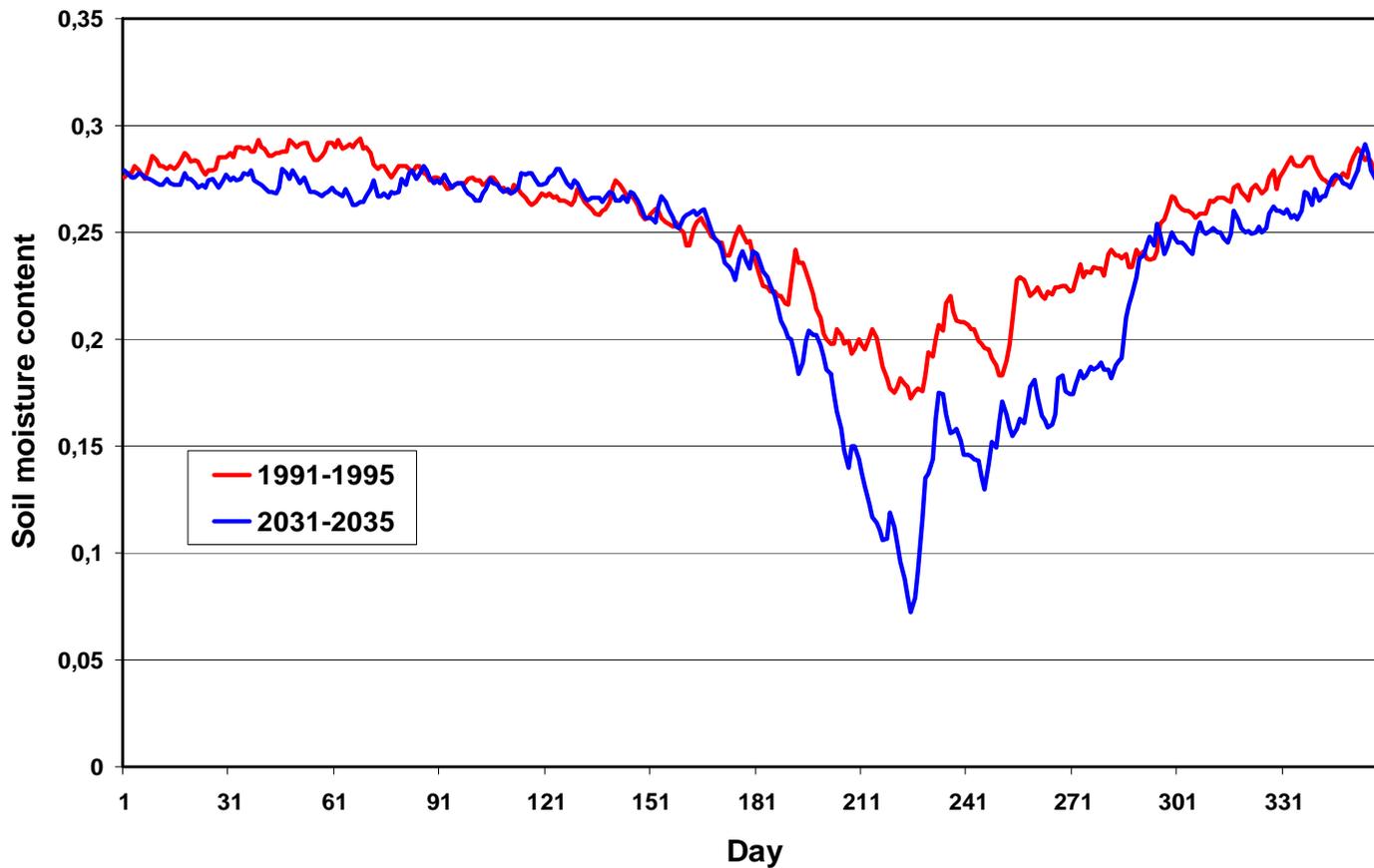
Mean 2031-2039

## Abfluss - Rhein bei Worms

(Mittel der Jahresmaxima der vorgehenden 30 Jahre,  
Angaben in m<sup>3</sup>/s)



# Jahresgang der Bodenfeuchte



## Auswirkungen ( Sommer ):

- Gefährdung der Stabilität von naturnahen und land- bzw. forstwirtschaftlich genutzten Ökosysteme durch **Dürren, Waldbrände und Ausbreitung bzw. Vermehrung von Schädlingen**
- Veränderung der Biodiversität durch **Invasion nichtheimischer Vegetation und Schädlingen**
- Verringerung der **Grundwasserneubildung** und **abnehmende Wasserverfügbarkeit** (Trinkwasser, Wasserkraft, Kraftwerke, Landwirtschaft)
- Regional begrenzte **Hochwassersituationen** durch Intensivierung der Niederschlagsereignisse (Gewitter, Zugbahn von Tiefdruckgebieten)

## Auswirkungen ( Sommer ):

- **Überschwemmungen in Wohngebieten** wegen unzureichender Dimensionierung der Kanalsysteme und zunehmender Bodenverdichtung
- **Abschmelzen der Gletscher** verbunden mit Änderungen des Wasserabflusses und des lokalen/regionalen Klimas
- Vermehrte **Murenabgänge und Schlammlawinen** durch Verschiebung der Permafrostgrenze und extreme Niederschlagsereignisse
- **Gesundheitliche Folgen** durch hohe Temperaturen und Ausbreitung von Krankheiten bzw. Krankheitserregern



## Grimma (Sachsen), 12.8.02

Quelle: Spiegel Online



## Future Change of Flood Risks – Pentecost Flood 1999



# Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



## Auswirkungen ( Winter, Frühjahr):

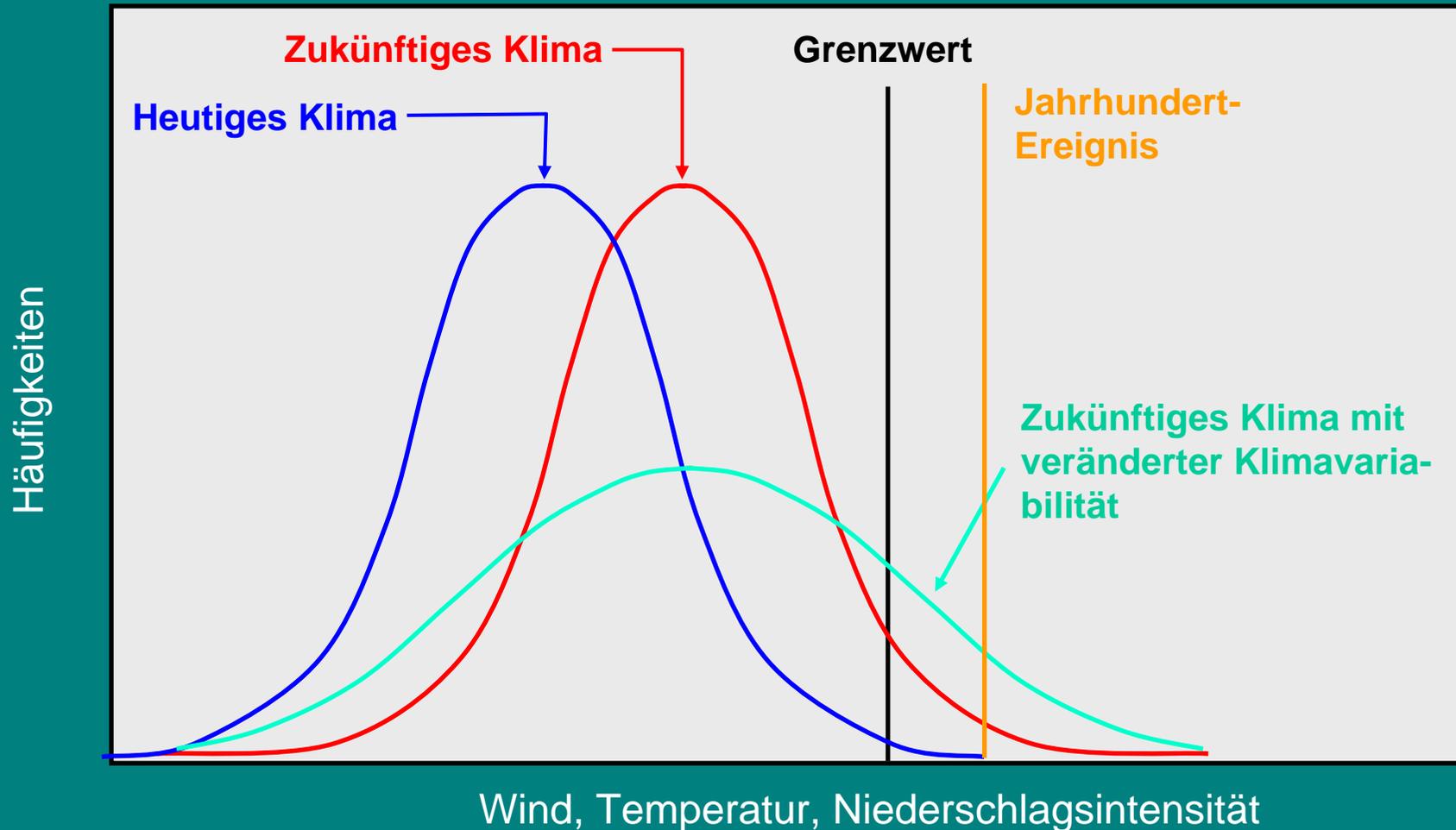
- **Überschwemmungen** durch höhere Niederschläge, niedrige Verdunstung und Schneeschmelze
- Zunahme der **Lawinenabgänge** durch intensivere Niederschläge und höhere Windgeschwindigkeiten
- Anstieg der **Schneefallgrenze** um ca. 300-400 m und erheblicher Rückgang der Tage mit Schneebedeckung in Höhen < 1200 m
- Zunahme der Sturmereignisse mit **Wind- und Schneebruch**

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Welche Maßnahmen  
müssen ergriffen  
werden?

## Veränderung der Extremwertereignisse bei sich änderndem Klima



# Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft



## CO<sub>2</sub>-Emissions-Minderungen

- Verringerung bis zum Jahr 2100 relativ zum Bezugsjahr 1990:  
Global: - 50%; **Industrielländer: - 80%**
- Alle Möglichkeiten vorhanden, dieses Ziel im **vollem Umfang zu erreichen**  
(es fehlt der Leidensdruck und damit der Wille und der politische Druck)
- **Große umweltpolitische Erfolge** erzielt bei „Sauerem Regen“, FZKW,  
Abwasser und Abfall: warum nicht auch bei Energie?
- Klimaschutz als Chance für **effiziente Nutzung von Energie** und **innovative  
Entwicklungen** für nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen
- **Kein „Königsweg“**, sondern Bündel von Maßnahmen (aufeinander  
abgestimmt, sozial verträglich und laufend auf dem Prüfstand)

# Möglichkeiten der CO<sub>2</sub>- Emissionsminderung

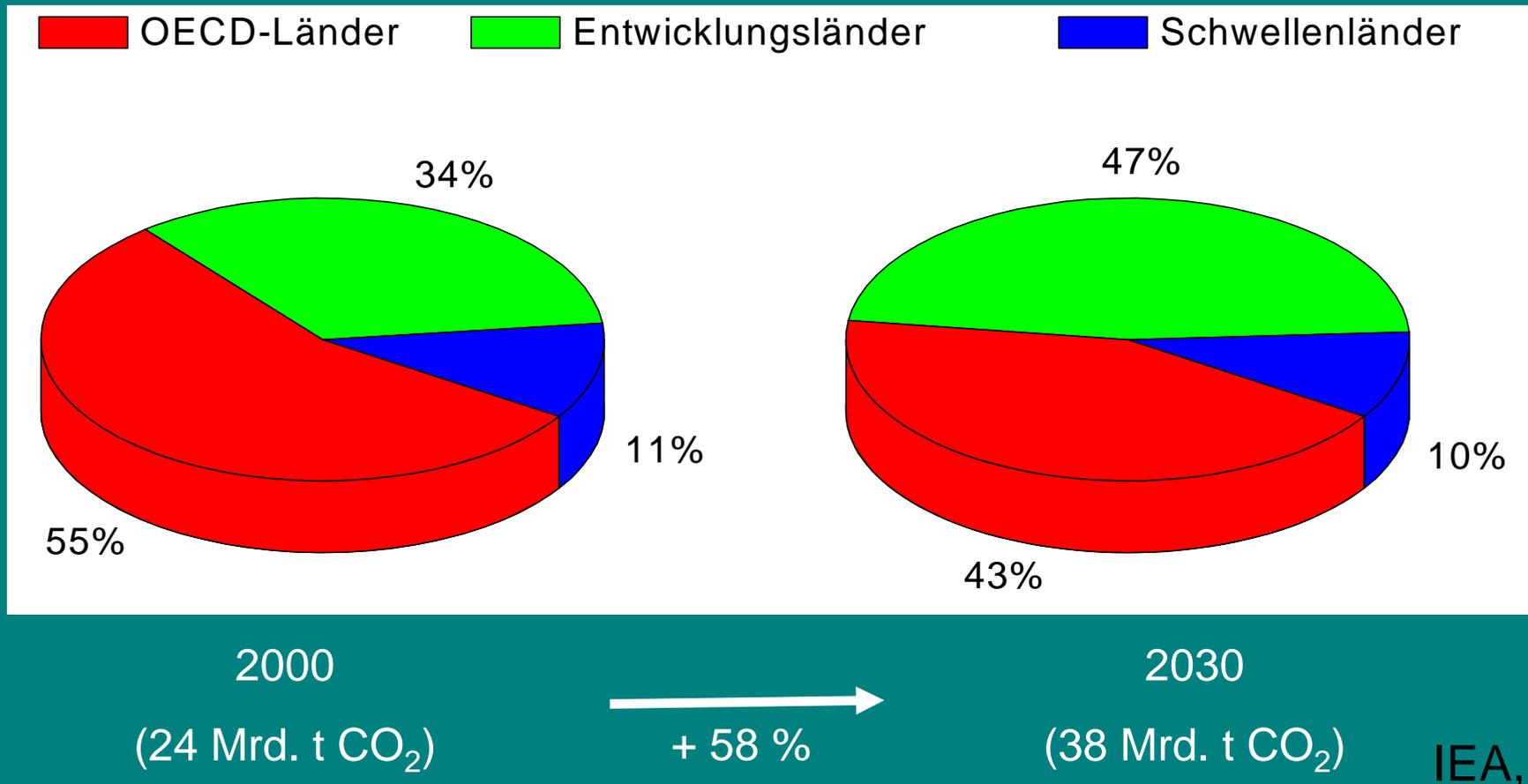
- **Energieeinsparung durch Steigerung der Effizienz**
  - Persönliches Verhalten (Verkehr, Haushalt, Arbeitsplatz, Regionalprodukte ...)
  - Technische Maßnahmen (Fahrzeug, Haushaltsgeräte, Isolation, Kraft-Wärme-Kopplung, Lüftungssysteme...)
  
- **Emissionsreduktion durch Innovation**
  - Einsatz CO<sub>2</sub>-freier Energie (erneuerbare Energie, Kernenergie)
  - Entwicklung und Einsatz neuer CO<sub>2</sub>-freier Technologien ( Wasserstofftechnologie, Fusionsenergie...)
  - CO<sub>2</sub> - Bindung durch Einlagerung in Kavernen, Transport in Tiefsee...
  
- **Ordnungspolitische Rahmenbedingungen**
  - Änderung der Raumordnung, des Mietrechts, der Kraftfahrzeugsteuer, der Wärmeschutzverordnung, der Honorarverordnung für Architekten und Ingenieure, der Entfernungspauschale...
  - Aufkommensneutrale Lenkungsabgabe auf CO<sub>2</sub>-emittierende Prozesse, CO<sub>2</sub>-Emissionshandel...

**Globaler Markt / Schaffung von Arbeitsplätzen**

## Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsstrategien zwingend erforderlich

- Hochwasserschutz (Dämme, Retentionsflächen, **Stauseen**, Bodenverbesserungen)
- Waldumbau (**Naturverjüngung**, Wechsel von Fichte auf Laubgehölze z.B. Buche oder Eiche)
- Anpassung der **Landwirtschaft** (Gewinner/Verlierer)
- Anpassung der **Entwässerungssysteme** in Städten
- Sicherung der **Wasserverfügbarkeit** im Sommer

## Unterstützung der Länder der Dritten Welt



IEA, 2002



(Quelle:  
Nebelspalter 27/1989)

Gebe niemals auf! Wir haben  
noch alle Chancen!



Ich danke für die Aufmerksamkeit