



# **Klimawandel und Mensch**

## **Eine Wechselbeziehung**

**Christian-D. Schönwiese  
Universität Frankfurt/Main  
Institut für Atmosphäre und Umwelt**

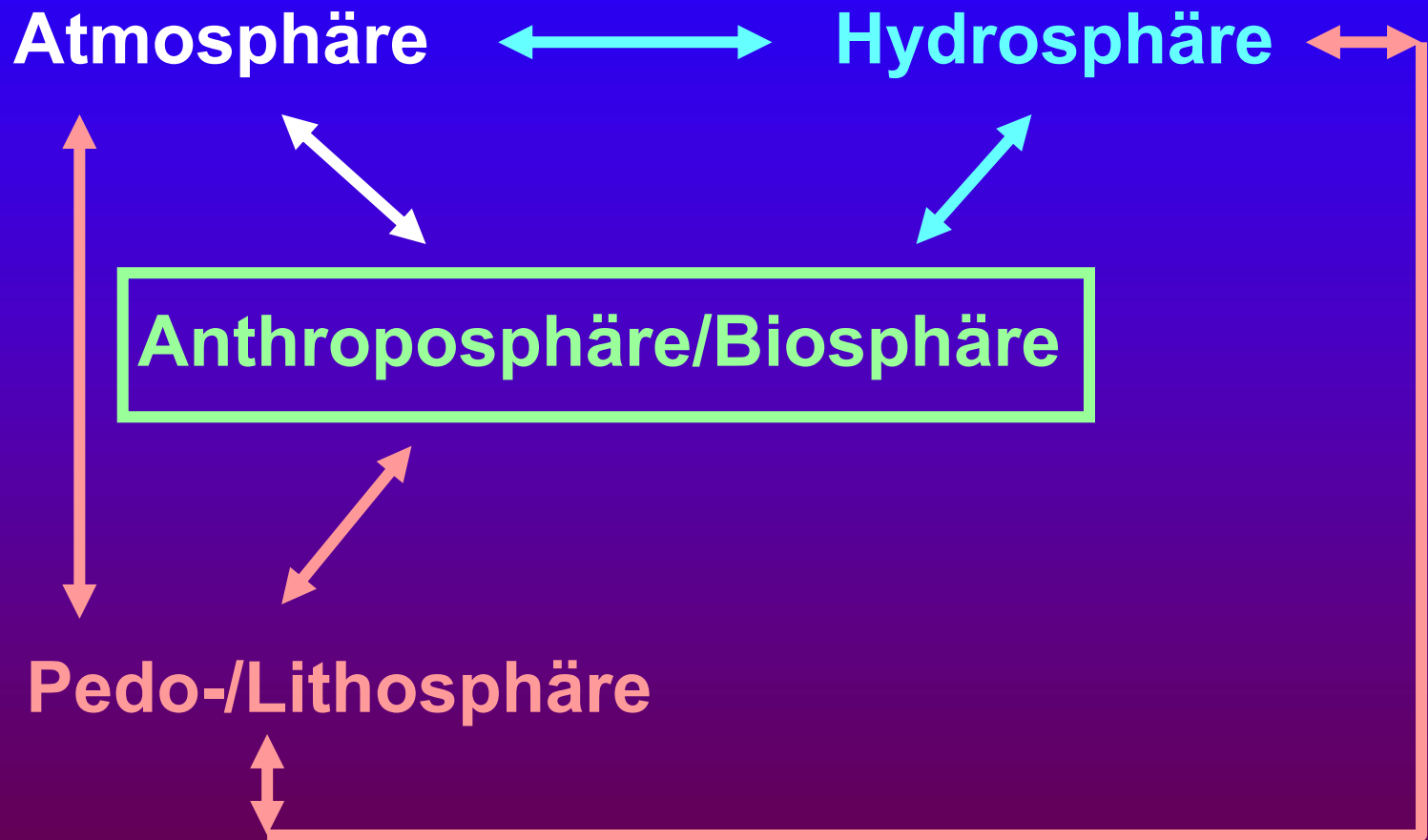
# Motivation

- Der Mensch und mit ihm alles Leben auf der Erde (Biosphäre) ist von günstigen Umweltbedingungen abhängig. Dazu gehört auch das Klima.
- Daher kann uns das Klima und insbesondere der Klimawandel nicht gleichgültig sein.
- Die Menschheit ist mehr und mehr dazu übergegangen, das Klima auch selbst zu beeinflussen. Das führt, neben natürlichen Klimaänderungen, zu einem zusätzlichen anthropogenen Klimawandel.
- Dafür tragen wir im Sinn der Nachhaltigkeit Verantwortung → Handlungsbedarf.

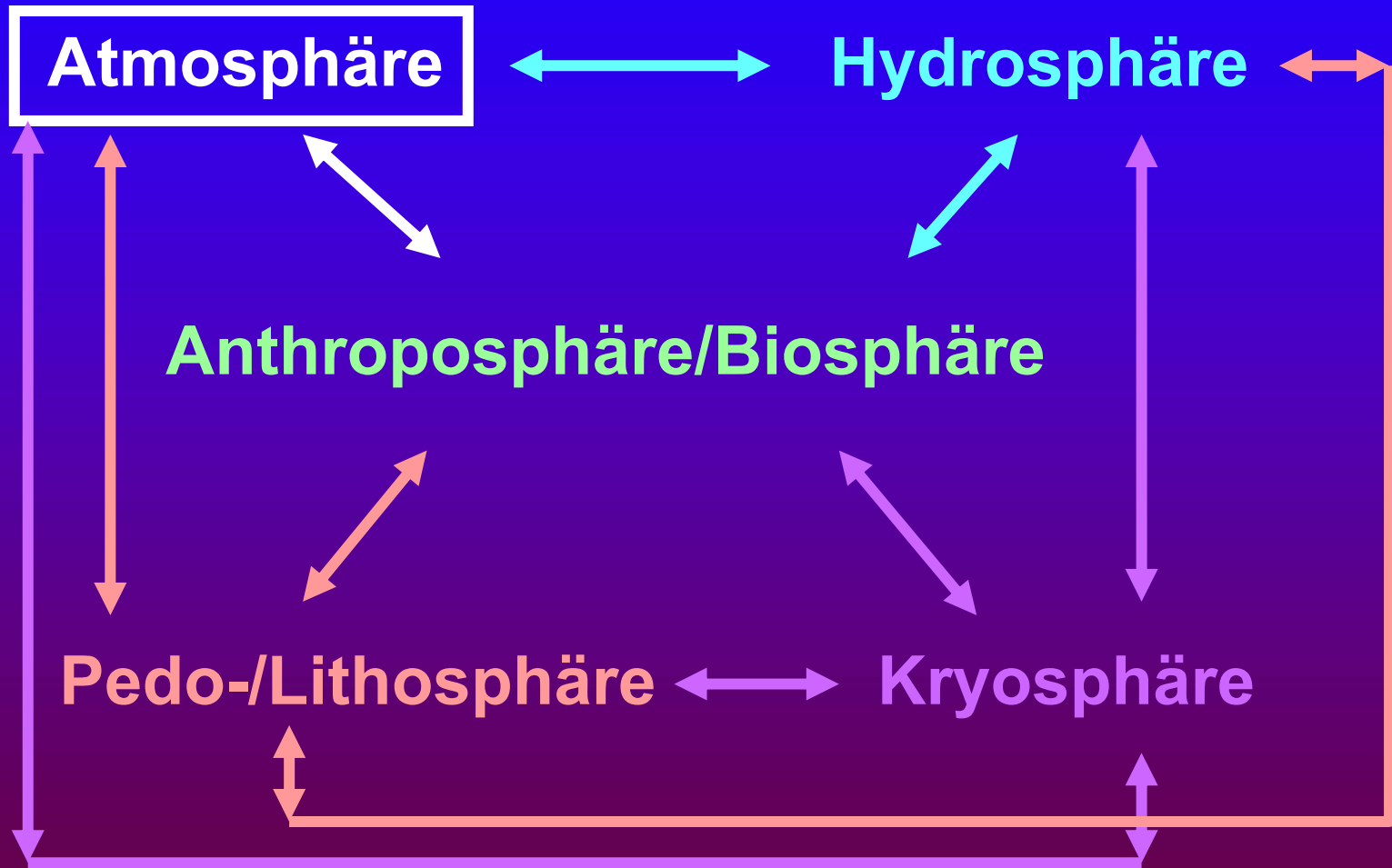
# Vortragsübersicht

- **Klärung einiger Grundbegriffe:**
  - **Umwelt- und Klimasystem**
  - **Wetter, Klima und Klimawandel**
- **Klimawandel in der Vergangenheit**
- **Ursachen des Klimawandels**
- **Klimawandel in der Zukunft**
- **Folgerungen und Handlungsbedarf**

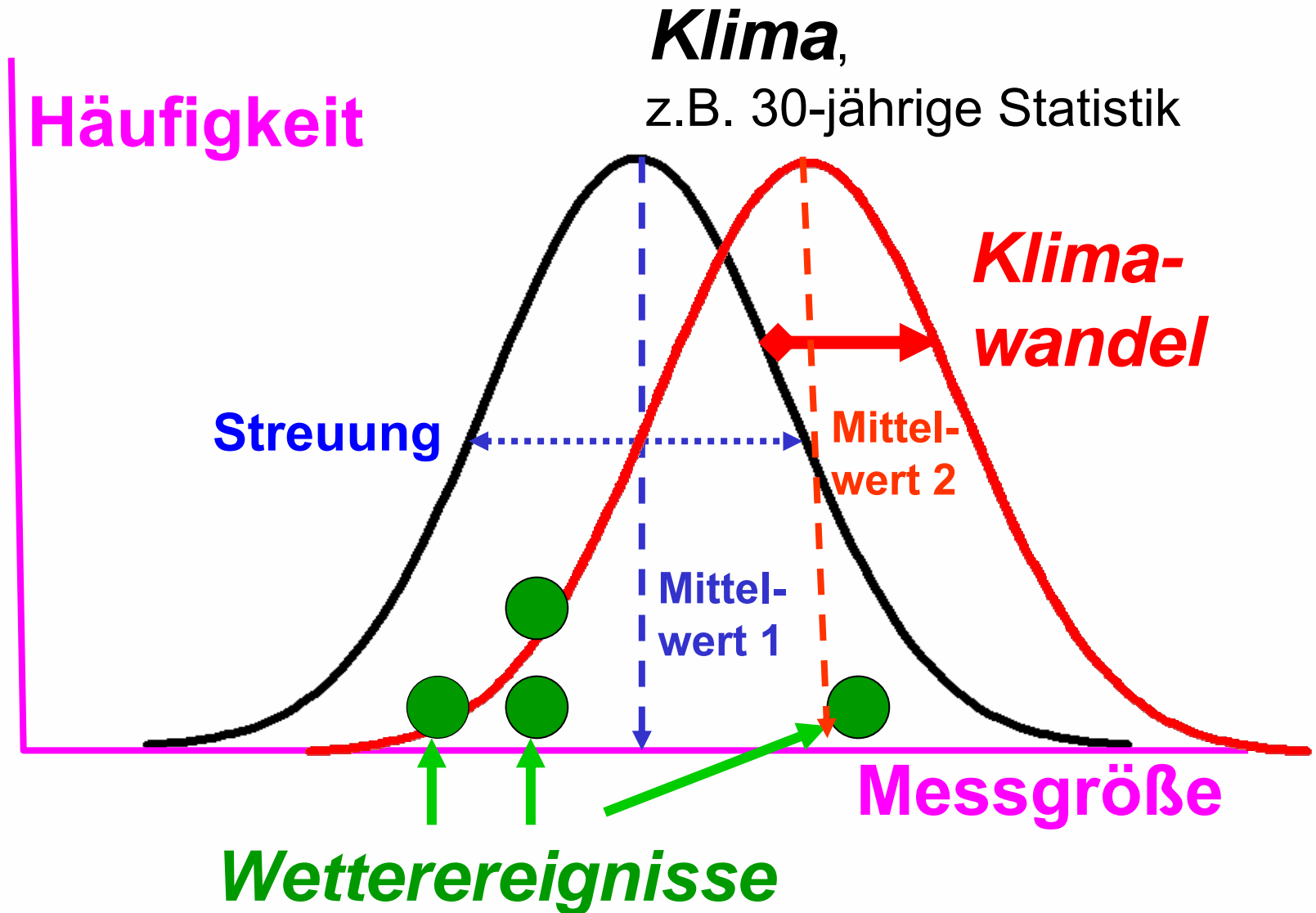
# Schema des globalen Umweltsystems



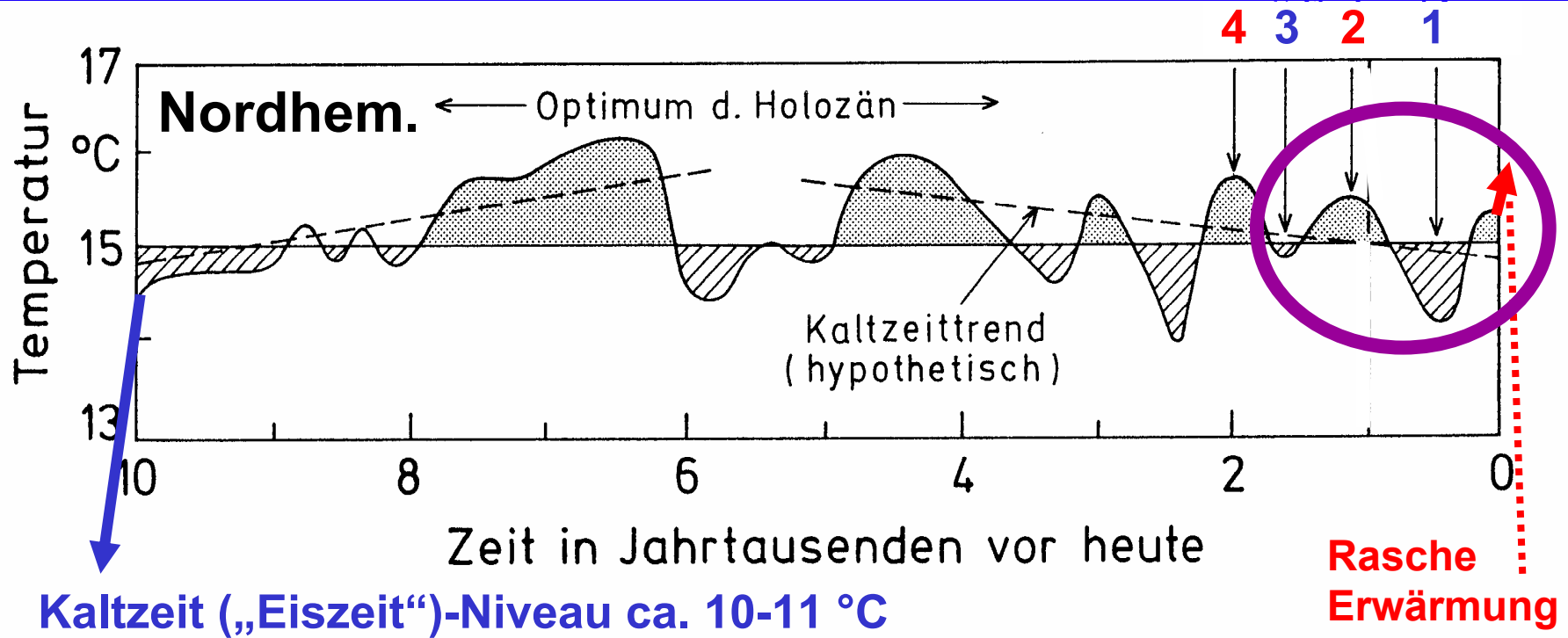
# Schema des globalen Klimasystems



# Zur Unterscheidung von Wetter und Klima



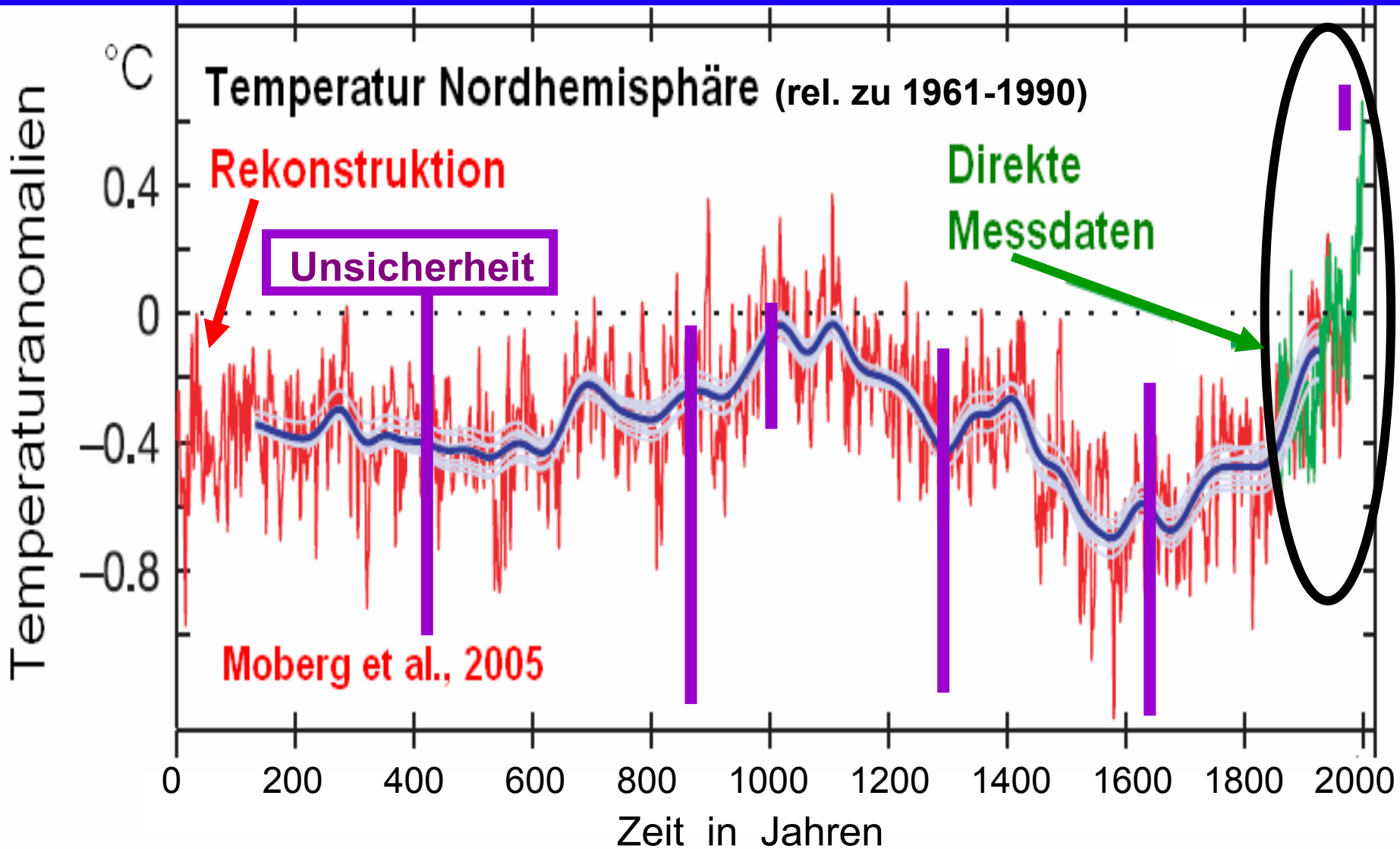
# Klimawandel der letzten 10 000 Jahre



Fluktuationen zwischen relativ **warmen** u. **kalten** Epochen, zuletzt **Römerzeit-Warmphase (4)**, **Völkerwanderungszeit-Kaltphase (3)**, **Mittelalter-Warmphase (2)**, „Kleine Eiszeit“(1)

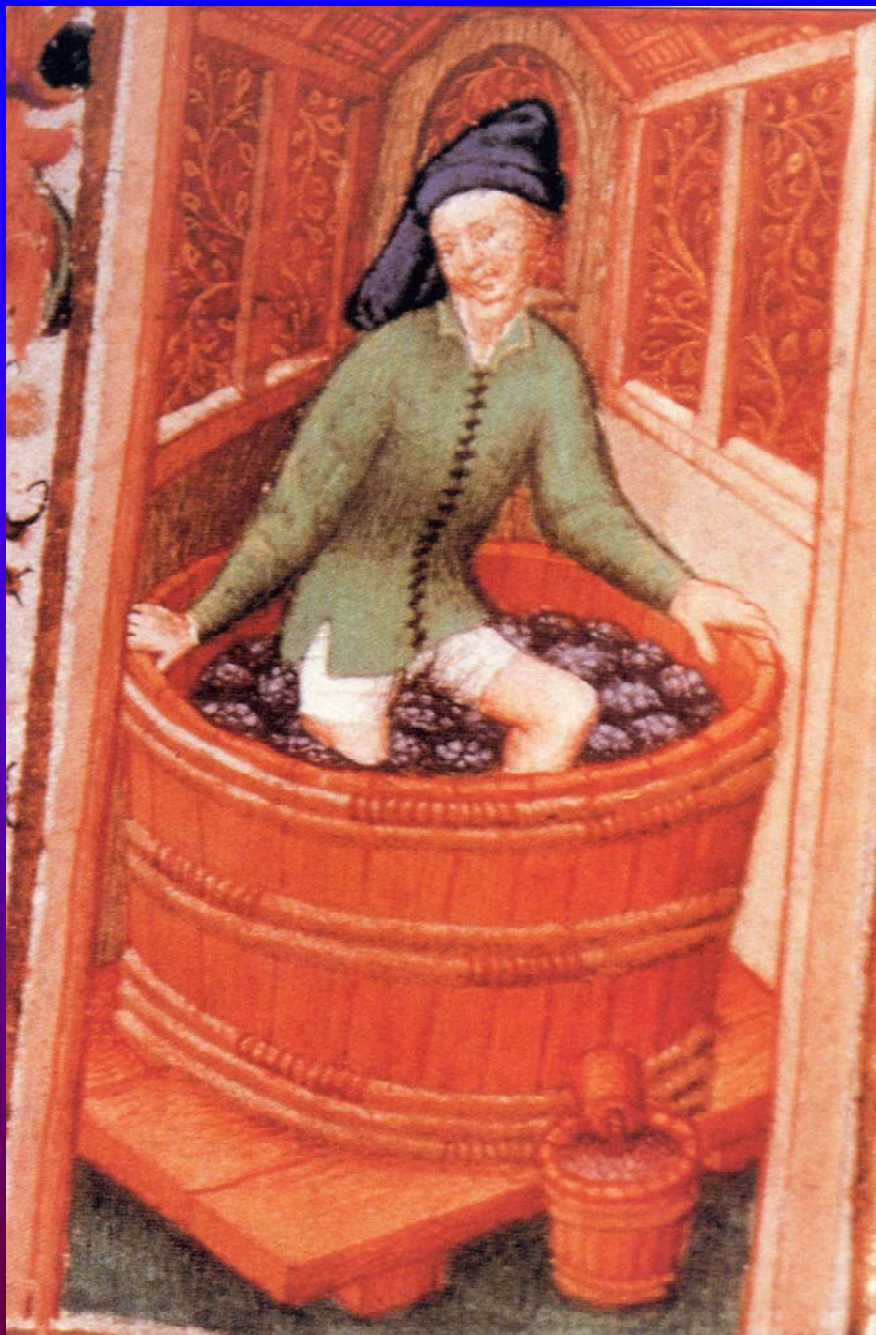
**Solche indirekten (paläoklimatolog.) Rekonstruktionen beinhalten jedoch erhebliche quantitative Unsicherheiten.**

# Klimawandel der letzten ca. 2000 Jahre



Dazu gibt es 11 Alternativen → Balkenbereich (Unsicherheit; IPCC, 2007)





## Kunst:

Miniatur aus England,  
13./14. Jahrhundert,  
Szene zur  
Weinverarbeitung

Weitere Informationen, z.B. im Gelände noch jetzt erkennbare ehemalige Weinbergterrassen, weisen darauf hin, dass im mittleren bis späten Mittelalter in Südengland verbreitet Wein angebaut wurde.

Britisches Museum, London;  
Schönwiese, 1992

# **Gemälde:** Die ca. 1200-1400 einsetzende „Kleine Eiszeit“



... ist durch besonders viele Dokumente belegt: Gemälde, wie z.B. die niederländischen „Winterbilder“ (u.a. Valckenborch, oben, 1586, und Brueghel) und Gletscherdarstellungen, Volkslieder, Berichte über Missernten, Hungersnöte und damit zum Teil zusammenhängende Entdeckungsfahrten und Auswanderungswellen.



## **Chroniken:**

**Miniatur aus dem  
„Flämischen Kalender“,  
16. Jahrhundert,  
mit Sturmflutscene**

**Der Übergang vom Warmklima des Mittelalters zur „Kleinen Eiszeit“ war offenbar von besonders heftigen Sturmfluten begleitet, die vor allem für die Regionen der holländischen, deutschen und englischen Nordseeküsten dokumentiert sind. Ähnliches, wenn auch vermutlich weniger ausgeprägt, gilt für das Warmklima des Mittelalters selbst.**

# Schwere Sturmfluten in der südl. Nordseeregion

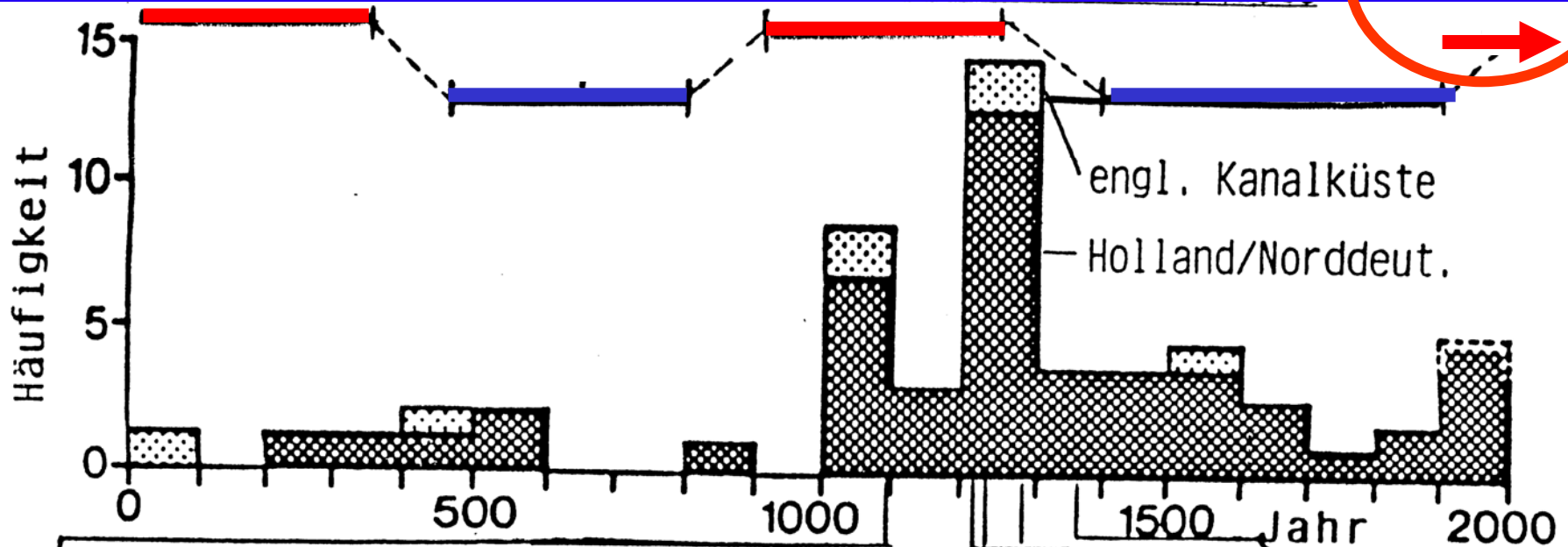
Römerzeit-  
Warmphase

Völkerwand.-  
Kaltphase

Mittelalterl.  
Warmphase

Kleine  
„Eiszeit“

Rezente  
Erwärmung

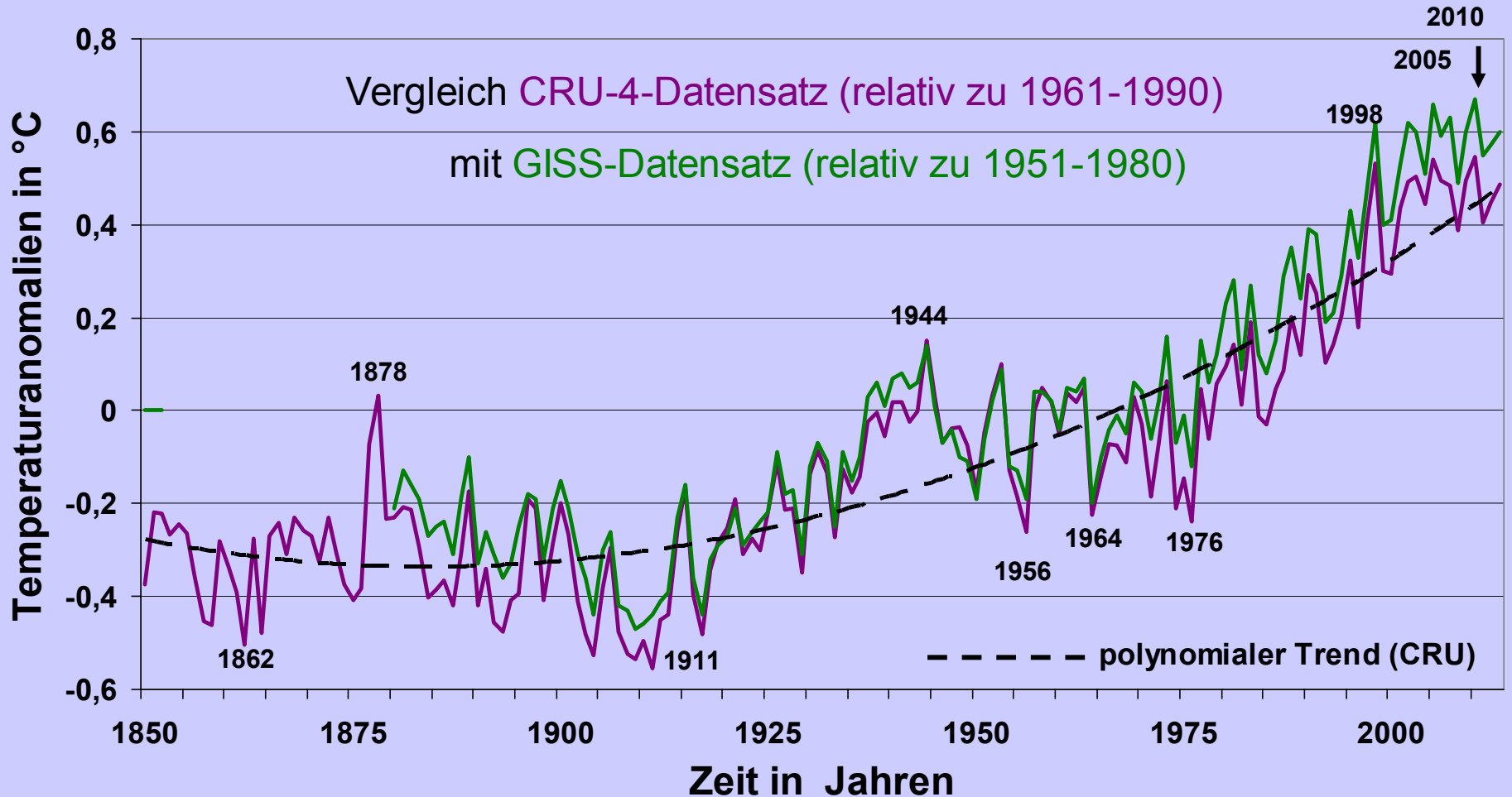


- \*)
- 1099: ca. 100 000 Tote bei Sturmfluten Holland/England
  - 1212: ca. 300 000 Tote bei Sturmfluten in Holland
  - 1218: Jadebusen entsteht
  - 1287: Zuyder-See entsteht
  - 1362: größter Teil der fries. Inseln entsteht

\*) nach anderen Quellen „nur“ 60 000 - 100 000 Tote; derartige historische Dokumentationen sind prinzipiell sehr unsicher.

# Klimawandel im Industriezeitalter (Neoklima)

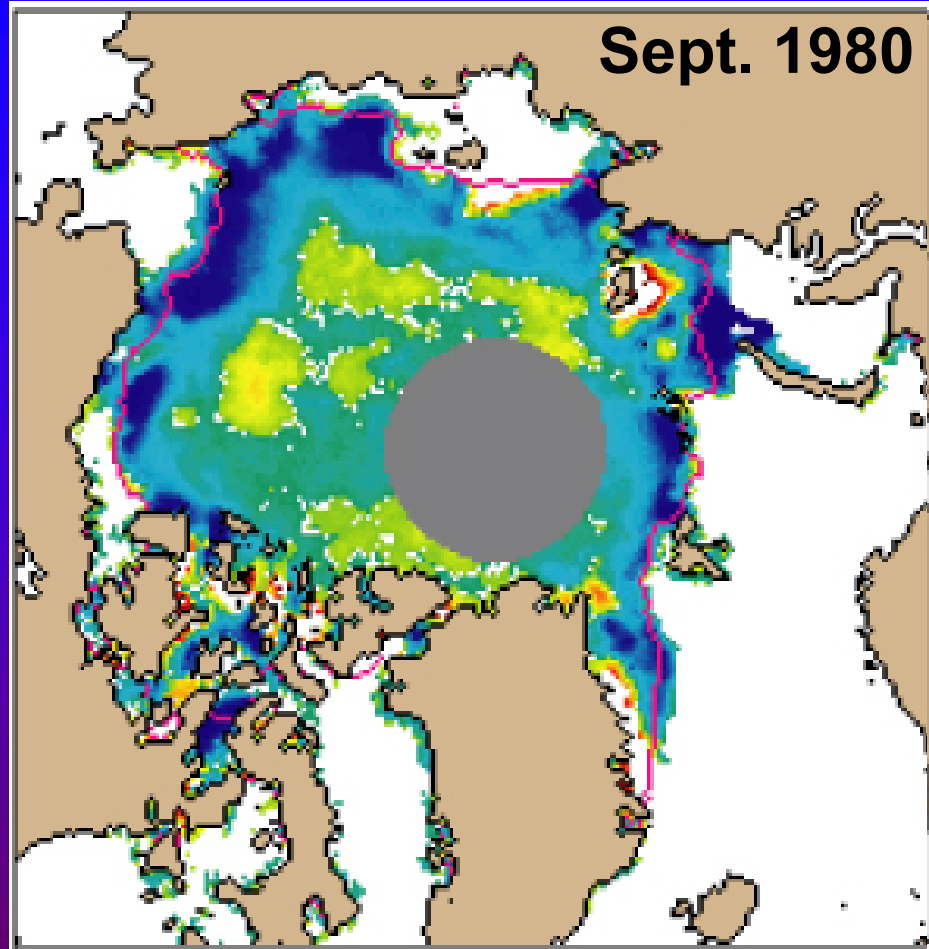
Globaltemperatur, Jahresanomalien 1850 (1880) - 2013



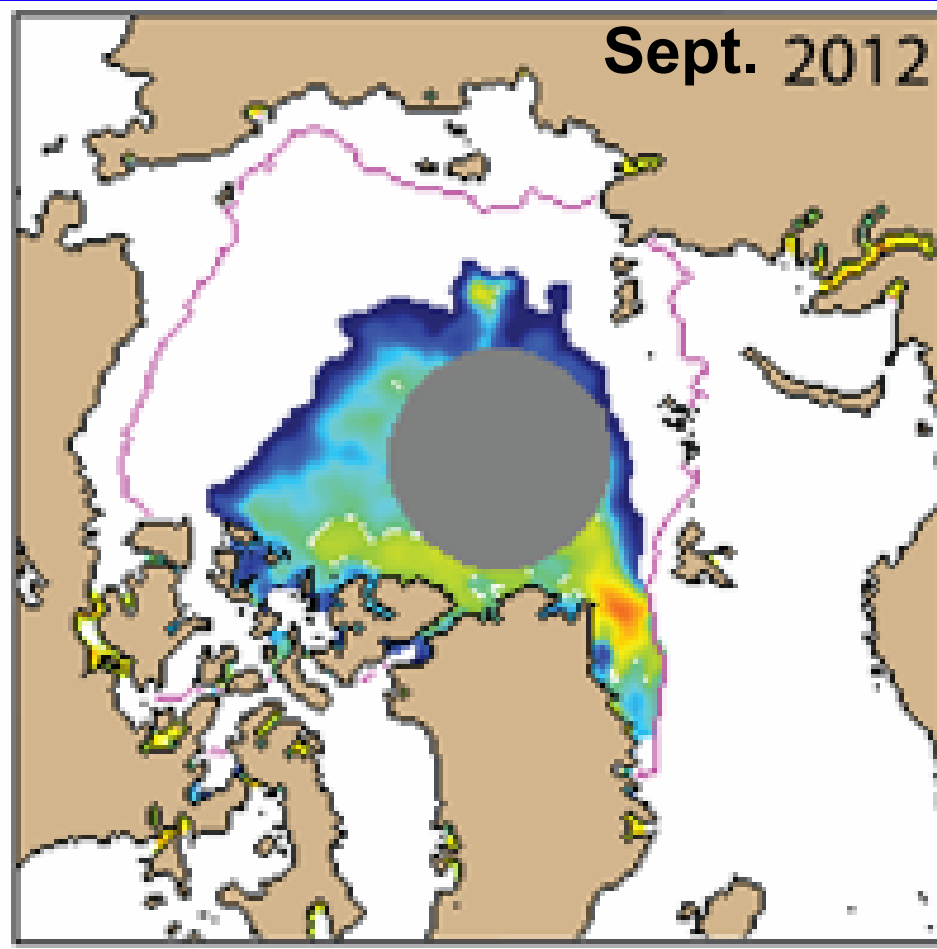
CRU: Climatic Research Unit, Universität Norwich, UK; GISS: Goddard Institute for Space Studies, NASA, USA

# Rückgang der arktischen Meereisbedeckung

Sept. 1980



Sept. 2012



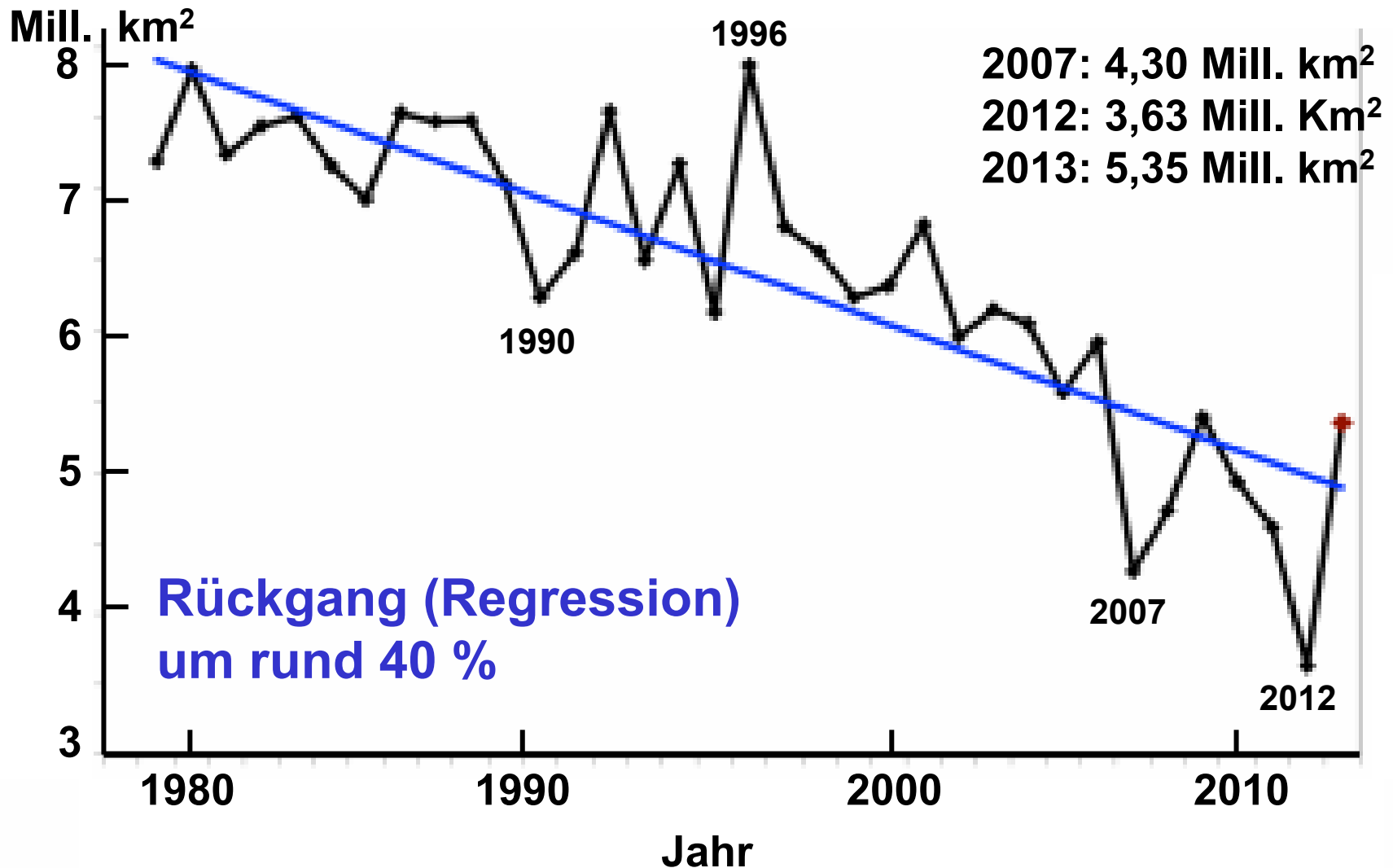
< 50 %  > 50 %

 mittl. min. Ausdehnung 1979-2000

Der Rückgang lag bis 2005 jährlich bei 2,7 %, im Sommer bei 7,4 % pro Jahrzehnt (IPCC, 2007). Neuerdings wird für den Sommer ein Rückgang (1970-2012) um 9 - 14 % pro Jahrzehnt angegeben (IPCC, 2013). Dabei ist im Jahr 2012 ist das bisherige Minimum eingetreten.

NSIDC, 2013; IPCC, 2007, 2013

# Durchschnittliche Arktis-Meereisbedeckung im September nach NSIDC\*, 1979 - 2013



\* National Snow and Ice Data Center, USA, 2013

# Gletscher als Klimaänderungsindikatoren

Pasterze, Hohe Tauern, Großglocknerregion



um 1900

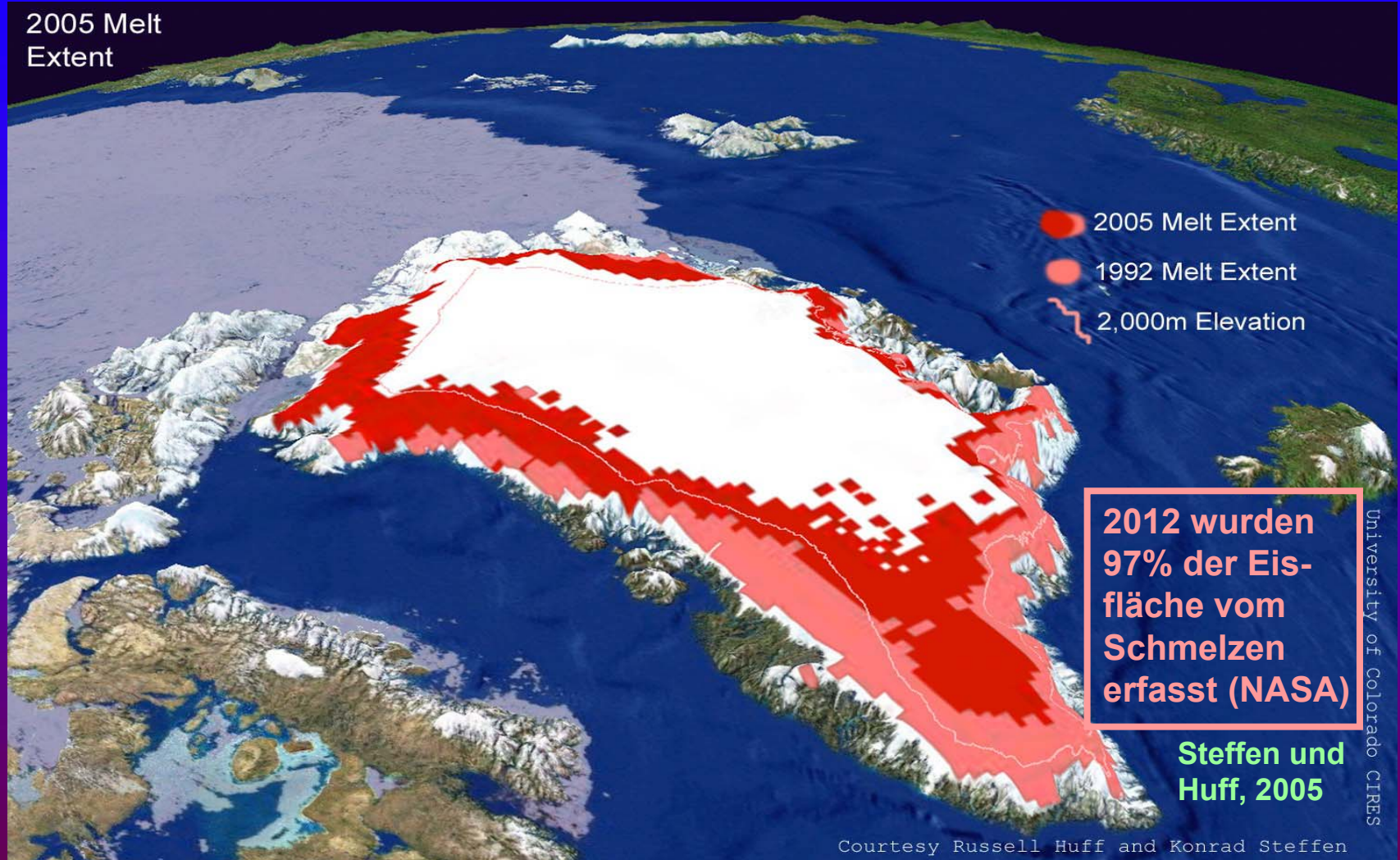


2000

**Seit 1850 haben die Alpengletscher ca. 50 % ihres Volumens verloren**  
(Häberli et al., 2001).

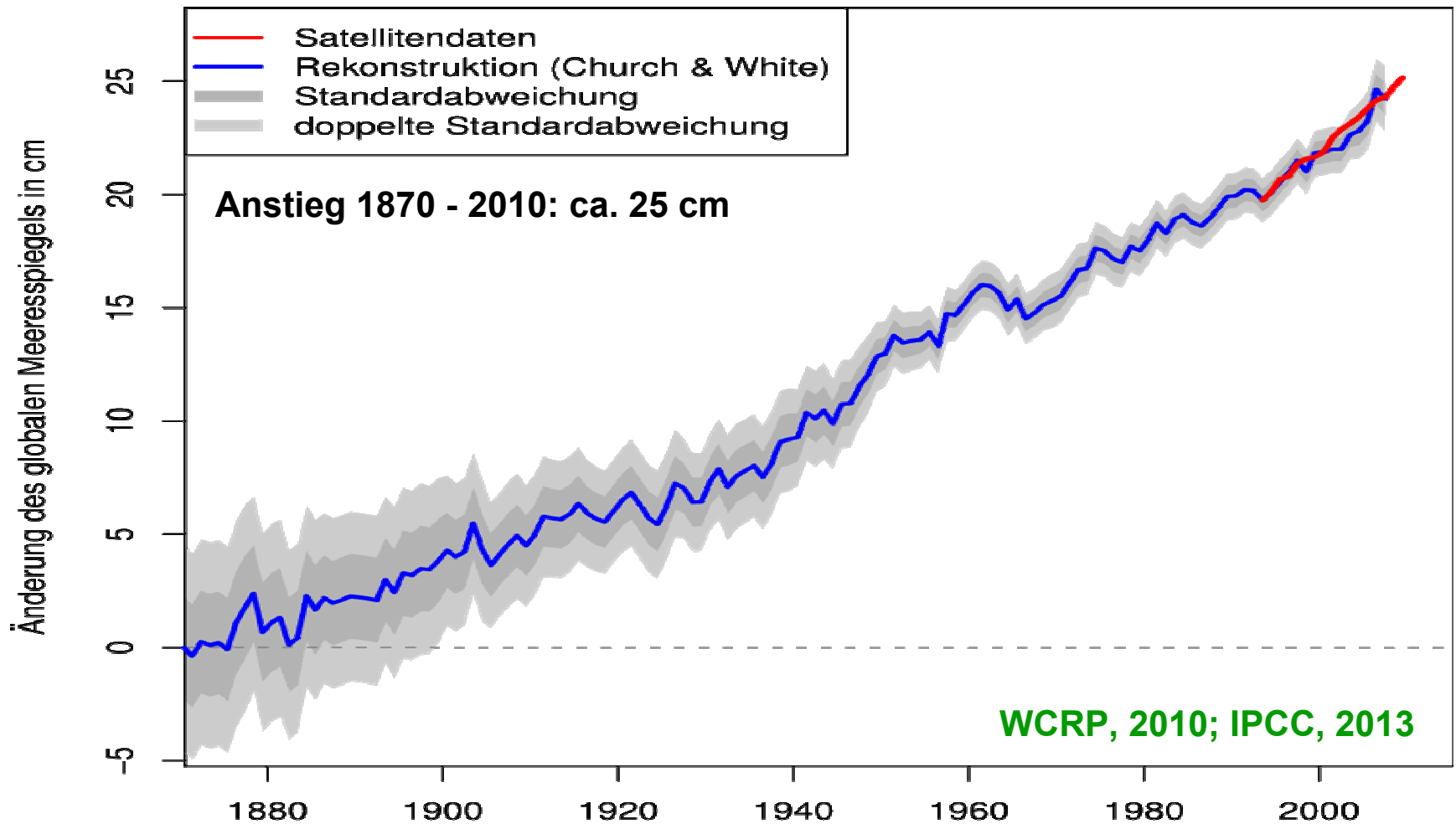


# Vom Abschmelzen erfasstes Gebiet in Grönland, Vergleich 1992 (rosa) und 2005 (rot)



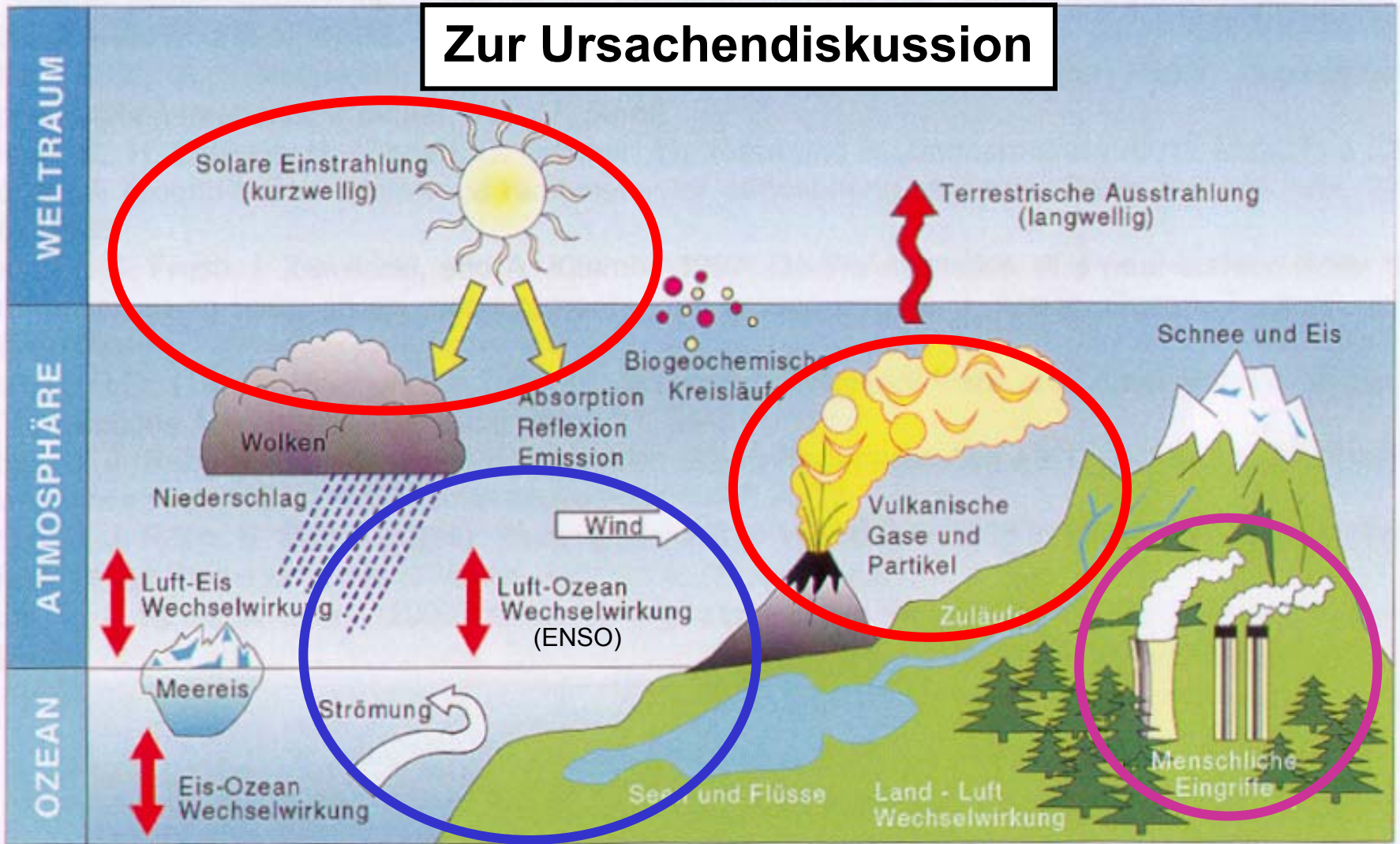
Der Grönland-Eisschild könnte bei einer „globalen Erwärmung“ um mehr als ca. 2-3 °C („Tipping Point“) total abschmelzen. Die Folge wäre ein Meeresspiegelanstieg um ca. 7 m. Zeitabschätzungen dafür: ca. 300 - 2000 Jahre.

# Meeresspiegelanstieg 1870-2011



Ursachen: thermische Expansion des (oberen) Ozeans (39 %); Rückschmelzen von Gebirgsgletschern und kleinen Eiskappen (27 %), des Grönland-Eises (15 %) und des Antarktik-Eises (10 %); Wasserspeicherung (Land, 9 %); dies jeweils für 1993-2010 nach IPCC, 2013).

# Zur Ursachendiskussion



## Klimasystem: Komponenten und Prozesse

Cubasch und Kasang, 2000

- ▶ Interne Wechselwirkungen im Klimasystem (Zirkulation, insbes. ENSO)
- ▶ Externe Einflüsse auf das Klimasystem (insbes. Sonnenaktivität, Vulkanismus; Mensch (Emission von Gasen und Partikeln))

# Klimafaktor Mensch

- Emission klimawirksamer Spurengase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , ...) aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger (einschl. Verkehr) und Waldrodungen. Die entsprechenden atm. Konzentrationsanstiege verstärken den **Treibhauseffekt**, d.h. **erwärmen die Troposphäre, kühlen die Stratosphäre**.
- Emission von Partikeln (Aerosolen) mit sehr unterschiedlichen direkten und komplizierten indirekten Effekten. Am bedeutendsten ist dabei die **Abkühlung der Troposphäre**.
- Kondensstreifenbildung durch Flugverkehr; verstärkt den **Treibhauseffekt** (vgl. oben; Wirkung bisher gering).
- Veränderungen der Erdoberfläche: Albedo (z.B. durch Waldrodungen, Desertifikation), dabei vorwiegend **Abkühlungseffekt**; Wärmekapazität und Bodenversiegelung (z.B. „Stadtklima“, dabei vorwiegend **Erwärmung**).

• . . .

# Klimafaktor Mensch: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

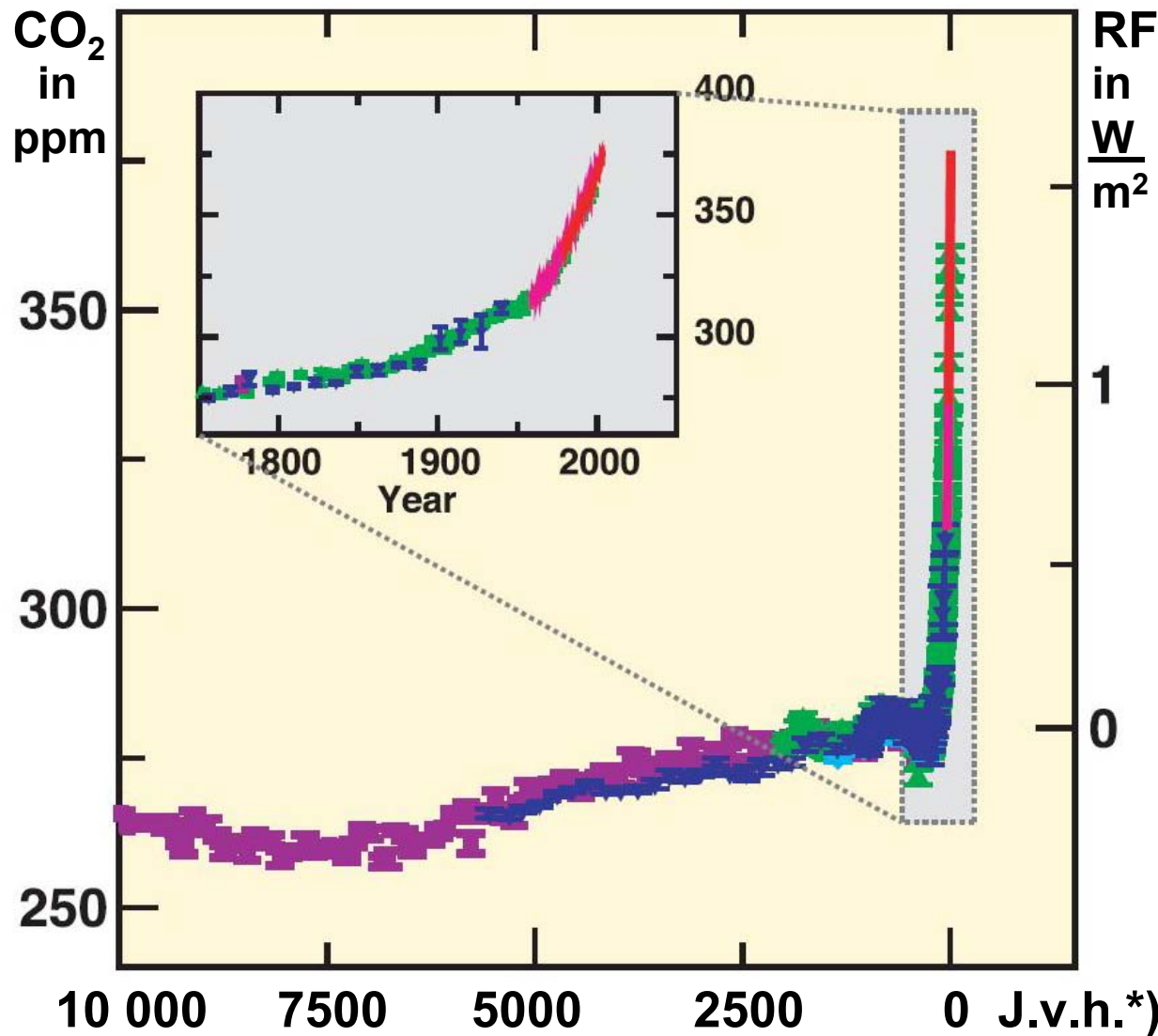
**Anthropogener CO<sub>2</sub>-Ausstoß: ca. 39,6 Gt/Jahr (10,8 GtC/J.)\*, davon durch fossile Energie: 36,3 Gt/Jahr (9,9 GtC/J.)\*, rasant steigend (1900: insgesamt ca. 2 Gt CO<sub>2</sub>/Jahr).**



\* Bezugsjahr 2013

Global Carbon Project 2013

# Folge: Anstieg der atm. CO<sub>2</sub>-Konzentration (Darstellung: Holozän, d.h. letzte ca. 10 000 Jahre)



← 2013: 396 ppm

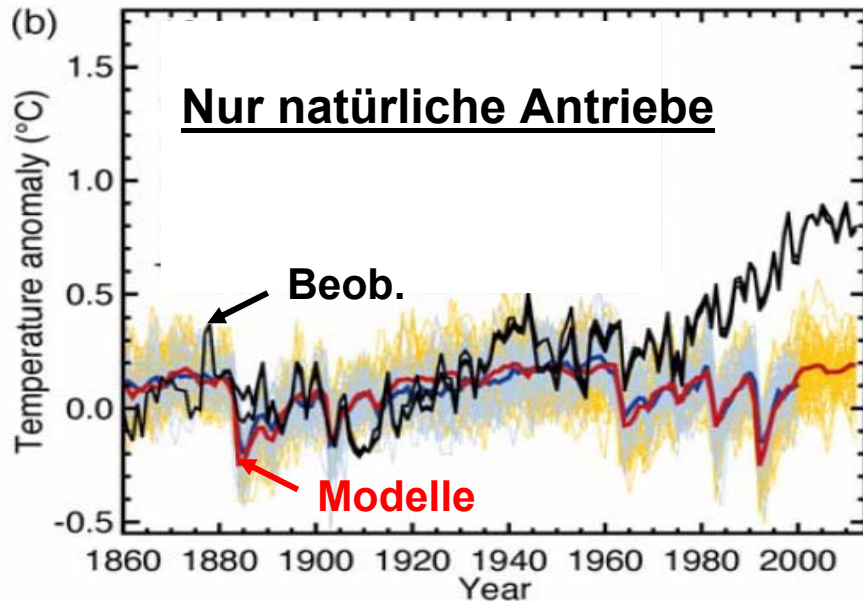
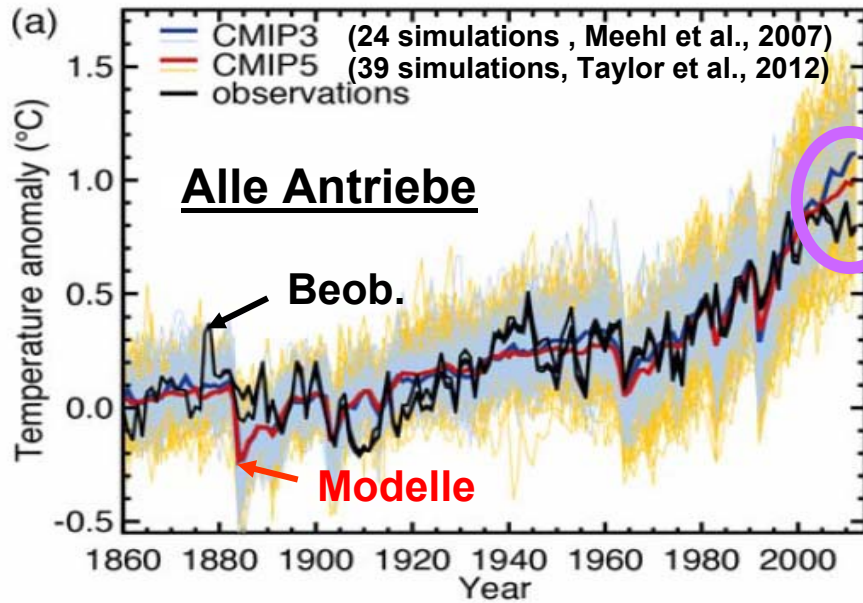
← 2000: 369 ppm

**Rasanter Anstieg  
im Industriezeitalter  
(seit ~1800; vorwieg.  
Energieeffekt); davor  
(seit ca. 6000 J.v.h.)  
wahrscheinlich  
Waldrodungseffekt**

← 1750: ~ 280 ppm

← 7500 Jahre v.h.:  
ca. 265 ppm

# Modellsimulationen Globaltemperatur, 1860-2012



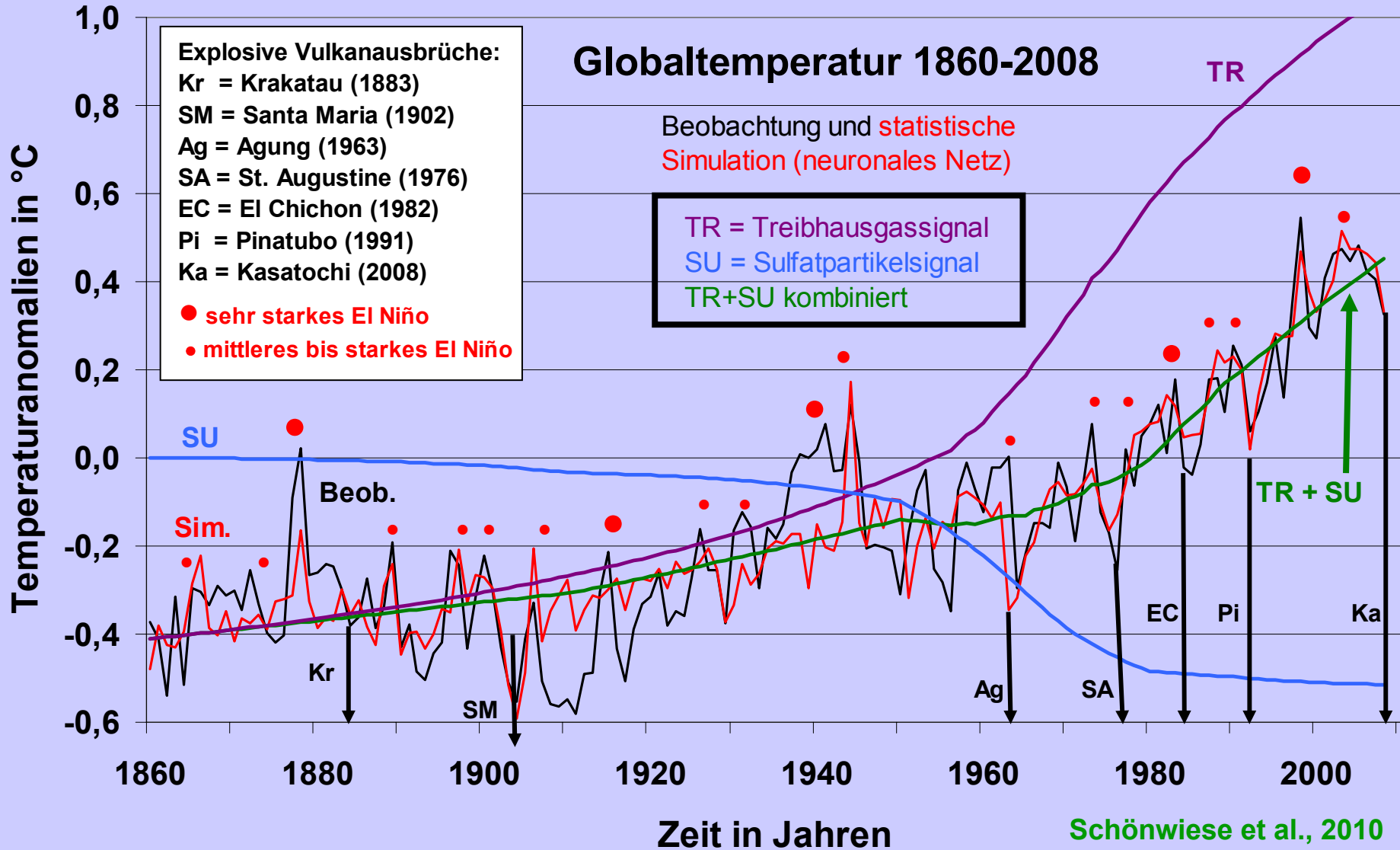
Referenzperiode: 1880-1919

Wie im letzten IPCC-Bericht (2007) zeigt sich, dass die globale Erwärmung seit ca. 1950/60 nicht durch natürliche Antriebe erklärt werden kann, somit ganz oder fast vollständig anthropogen ist.

Die dem weitgehend anthropogenen Langfristtrend überlagerten relativ kurzfristigen natürlichen Variationen betragen ca.  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  (IPCC, 2013), bedürfen für die jüngste Zeit aber einer näheren Diskussion.

IPCC, 2013

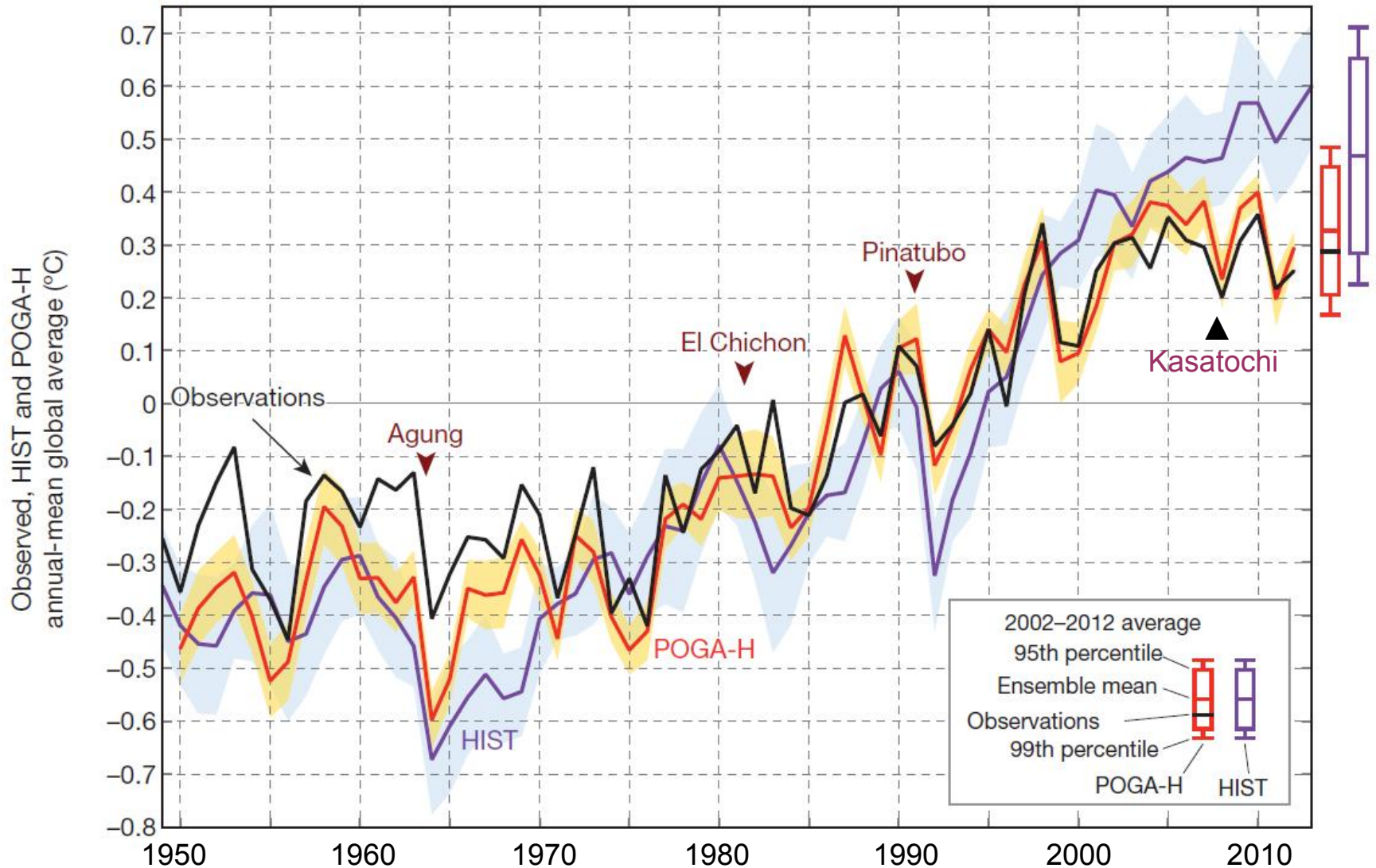
# Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



**Erklärte Varianzen: anthropogen 61 %, natürlich 27 % (unerklärt 12 %)**



# Klimamodellsimulation **ohne** und **mit** ENSO-Berücksichtigung (SST\* und ozeanische Wärmeaufnahme im tropischen Pazifik)

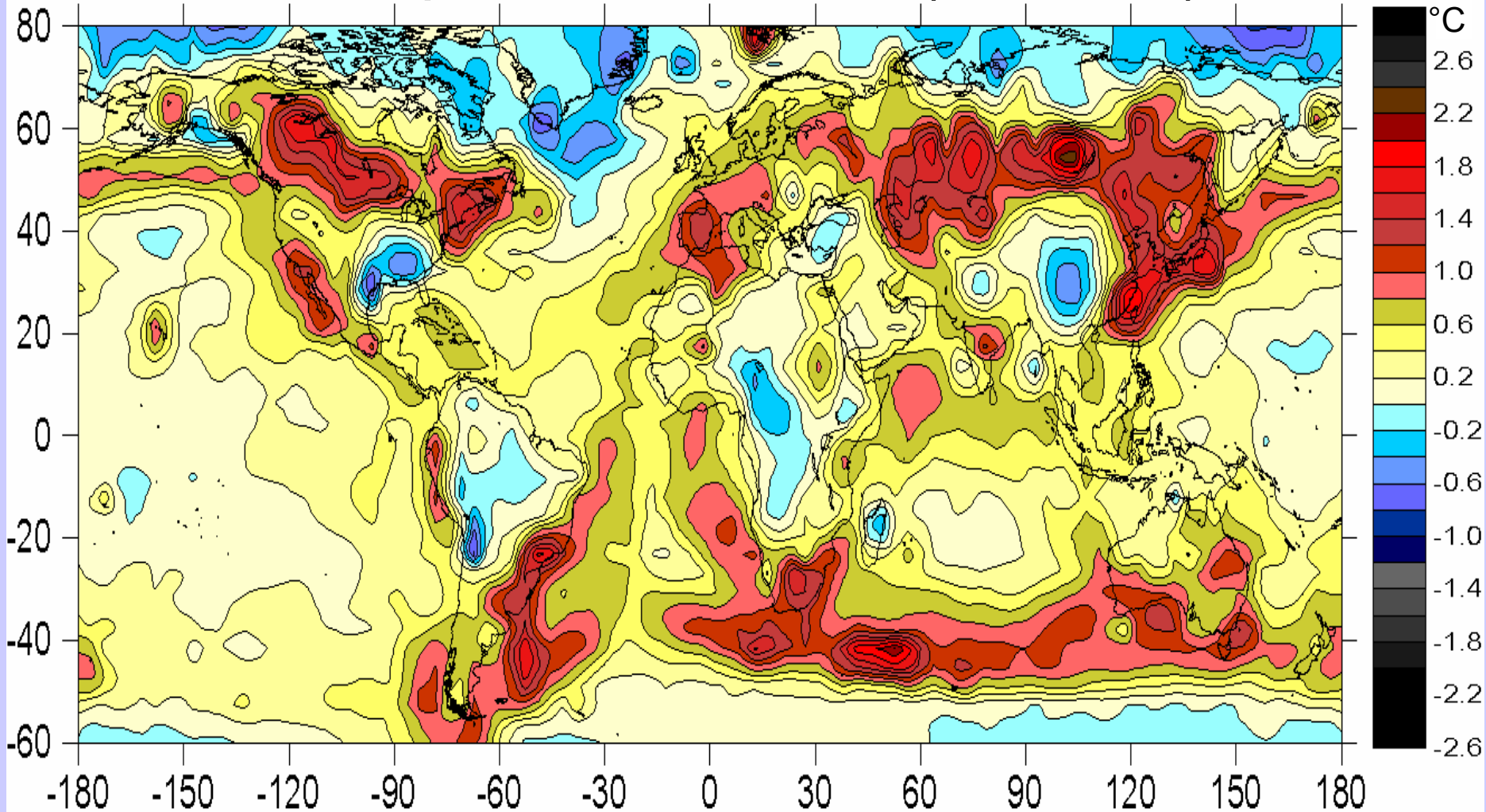


\* sea surface temperature

Kosaka und Xie, 2013 (Nature), erg.

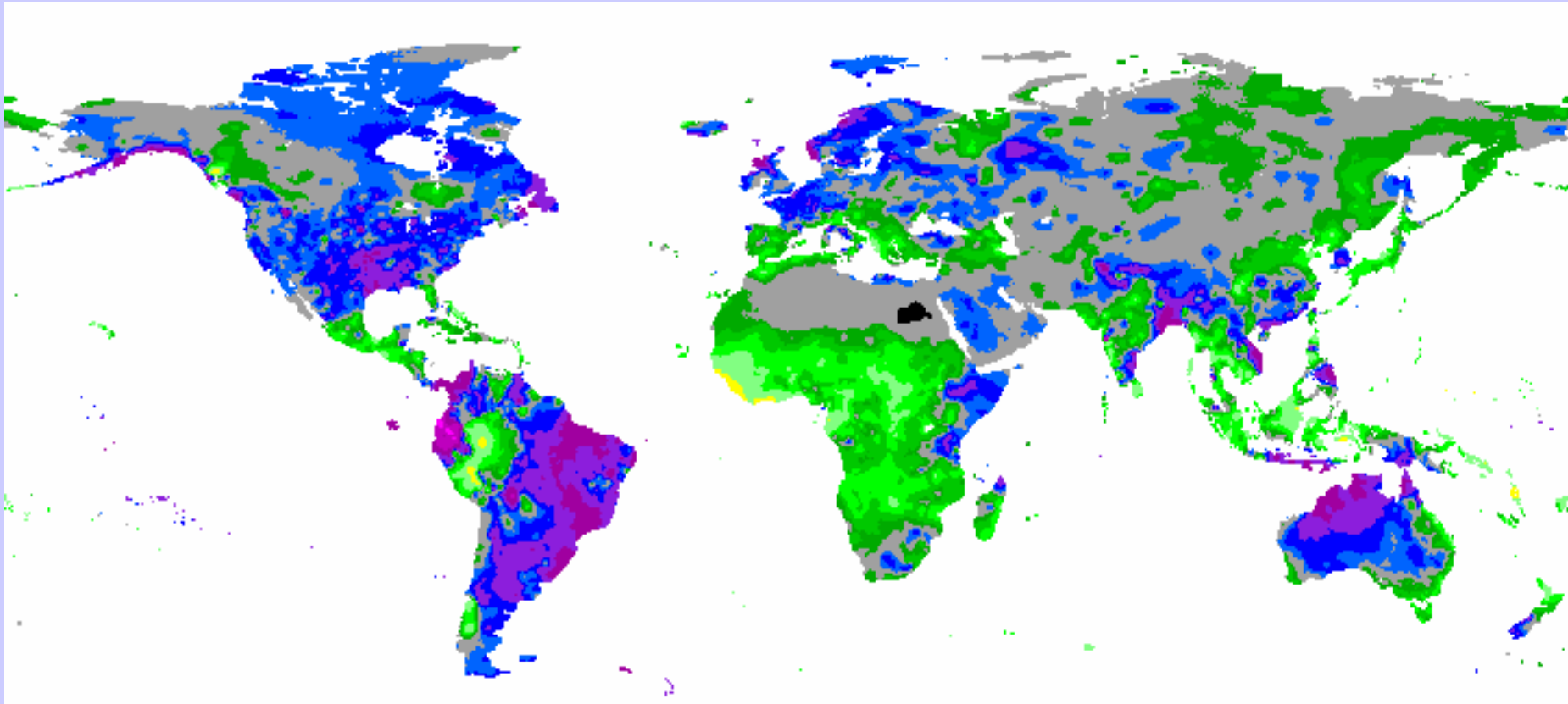
# Regionale Aspekte des Klimawandels

## Temperatortrends 1901-2000 (Jahreswerte)

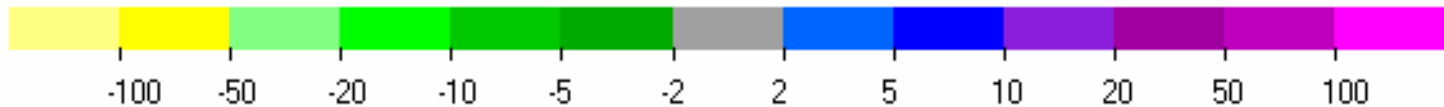


Datenquelle: Jones et al., 2005; Analyse: Schönwiese et al, 2005

# Regionale Aspekte des Klimawandels



## Absoluter Niederschlagstrend 1951-2000 in mm



Year

Lin. Trend [mm/Month/50yrs]

Grid Resolution .5°x.5°

© GPCP at DWD, DEKLIM-VASClm0, 7/29/2005

Beck, Rudolf, Schönwiese, Staeger und Trömel, 2007

# Wird das Klima extremer?



Dresden,  
Aug. 2002



Düsseldorf, Aug. 2003

Münchener Rück  
Munich Re Group



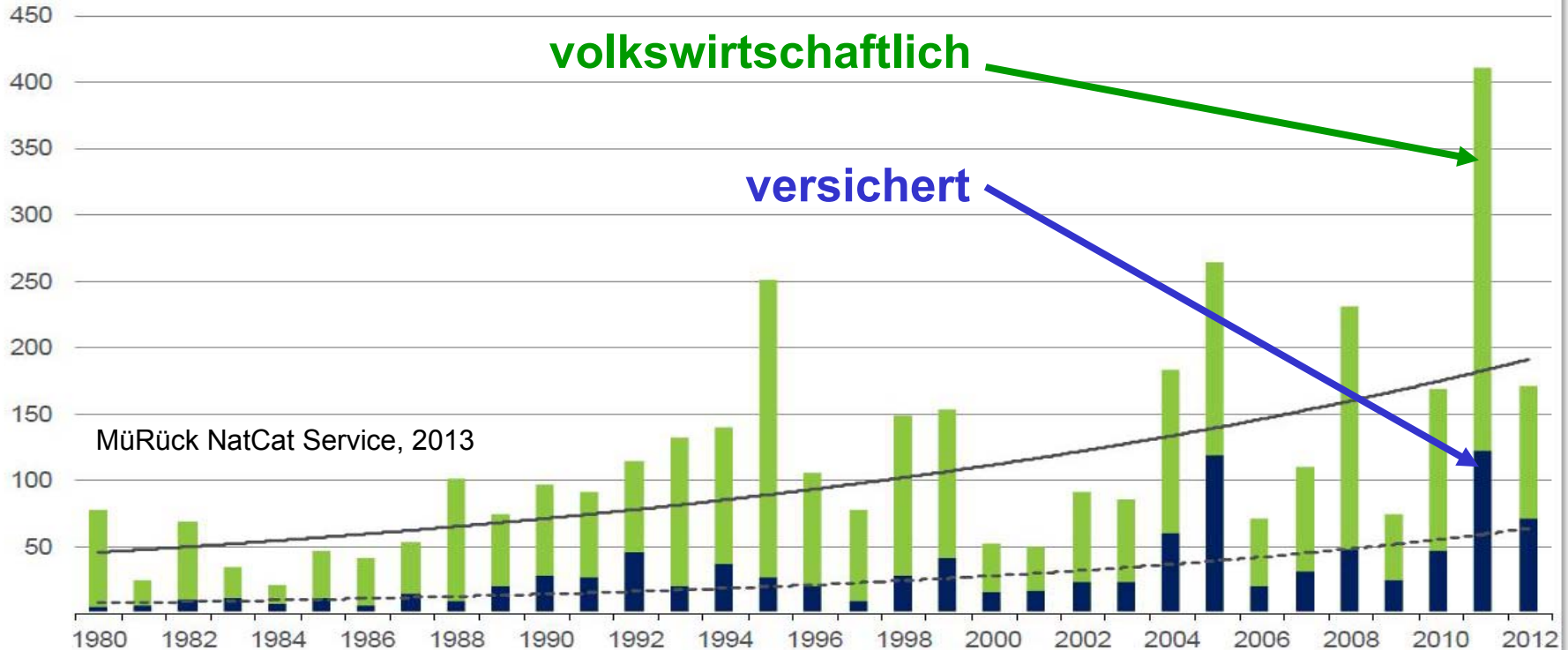
New Orleans, Aug. 2005



Motten (Rhön), Okt. 2005

# Schäden durch Naturkatastrophen (1980 - 2012)

Mrd. US\$



**Volkswirtschaftliche** und **versicherte** Schäden in Mrd. US\$ (Großkatastrophen)

Dekade	1950/59	1960/69	1970/79	1980/89	1990/99	2000/2009	Faktor *)
<b>Anzahl</b>	13	16	29	44	74	28	1,8
<b>Schäden</b>	59,9	72,4	100,8	156,1	525,5	435,2	6,0
<b>Versich.</b>	1,8	8,1	15,0	29,1	125,7	193,8	23,9

\*) 2000/2009 gegenüber 1960/1969; Quelle: MüRück, Wirtz, 2010

# Und die Zukunft?

**Klimaprognosen, vergleichbar den Wetterprognosen, sind prinzipiell nicht möglich, da**

- die natürlichen Einflüsse auf das Klima (z.B. Vulkanismus) nicht vorhersagbar
- und die menschlichen Einflüsse (Treibhausgase, Sulfatpartikel) im künftigen Verlauf zumindest quantitativ unsicher sind.

**Man behilft sich daher mit Projektionen**

- unter der Annahme, dass der menschliche Einfluss (Treibhausgase) dominiert
- und aufgrund alternativer Szenarien des menschlichen Verhaltens, insbesondere der Treibhausgas-Emissionen.

# Die wichtigsten Klimamodell-Zukunftsprojektionen (IPCC, 2013; ohne RCP2.6 )

- Erwärmung der unteren Atmosphäre: global bis 2100 um 1,1 - 4,8 °C, wahrscheinlichster Bereich 2 - 4 °C, Maxima im Winter polwärts der Tropen. (Szenario RCP2.6 äußerst unwahrscheinlich, daher nicht berücksichtigt.)
- Abkühlung der Stratosphäre (begünstigt dort den Ozonabbau)
- Niederschlagsumverteilungen (→ z.B. Mittelmeer-Region trockener, Skandinavien u. Polarregionen feuchter, Mitteleuropa Winter feuchter / Sommer trockener)
- Meeresspiegelanstieg global bis 2100 um ca. 30-80 cm (Ozean- und Eis-Effekt); Rückgang von Meer- und Landeis.
- Regional häufigere/intensivere Extremereignisse, z.B. Hitzewellen, Dürren, Starkniederschläge, Hagel – aber im einzelnen teilweise sehr unsicher; intensivere tropische Wirbelstürme.

# Die Auswirkungen des Klimawandels...

...sind teils positiv (weniger Heizbedarf, Touristik im Norden, potentiell längere Vegetationsperiode),

weitaus überwiegend aber negativ:

- Wasserprobleme (Überschwemmungen, Dürren, Verschmutz.);
- Belastungen der Ökosysteme (Schäden, Artenschwund);
- Landwirtschaftliche Probleme (teilweise kompensierbar);
- Ökonomische Schäden (insbes. durch Extremereignisse)
- Gesundheitsprobleme (Hitze, Tropenkrankheiten usw.)
- Regional besondere Gefährdung (Küsten, Gebirge, Städte, ...).



*Stern Review, 2007:* Klimaschutz kostet ca. 1% WSP\*, Klimaschäden bewirken hingegen 5-20% WSP/Jahr. Schaden durch anthropog. Emission pro Tonne CO<sub>2</sub>: 85 US \$/Jahr (▶ 36 Mrd. t CO<sub>2</sub> ▶ ~3000 Mrd. US \$/Jahr.

\* Weltsozialprodukt

*DIW (C. Kemfert et al.), 2007:* Steigt die Temperatur in Deutschland bis 2100 um 4,5 °C, könnte das kumulativ Kosten von 3000 Mrd € bewirken (→ 2050: 800 Mrd €).



# Ethische Aspekte

Im Zentrum der ethischen Aspekte stehen das *Nachhaltigkeits-* und das *Gerechtigkeitsprinzip*.

Das Nachhaltigkeitsprinzip wurde erstmals in der sächsischen Forstwirtschaft explizit genannt (Hans Carl von Carlowitz, 1713) und lautet sinngemäß: Den Wald so bewirtschaften, dass er in seiner Quantität (und Qualität!) nutzbar („tragfähig“) für die nachfolgenden Generationen („nachhaltig“) erhalten bleibt.

WCED, 1987: Heutige Bedürfnisse so befriedigen, dass die zukünftigen nicht beeinträchtigt werden.

UNCED, 1992, *Rio-Deklaration*: „Das Recht auf Entwicklung muss so erfüllt werden, dass den Entwicklungs- und Umweltbedürfnissen heutiger und künftiger Generationen gerecht entsprochen wird.“

*Klimarahmenkonvention*: „Endziel ist es, die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf einem für das Klimasystem ungefährlichen Niveau zu stabilisieren.“

# Handlungsbedarf

- Anpassung an bereits nicht mehr vermeidbare Klimaänderungen und deren Folgen
- Vorsorge, um den Klimawandel und seine Folgen auf einem erträglichen Niveau zu begrenzen („Klimaschutz“), und zwar Emissionsverringereung klimawirksamer Spurengase (CO<sub>2</sub> ...) durch:
  - Steigerung der Energieeffizienz
  - Weitgehende Substitution kohlenstoffhaltiger Energieträger (Kohle, Öl, Gas); möglichst CCS\*
  - Maßnahmen im Verkehrsbereich
  - Ökonomische Maßnahmen (Emissionshandel)
  - Vegetationsschutz (indirekte Maßnahmen)
  - . . . .

\*CCS: Carbon Capture and Storage (CO<sub>2</sub>-Abscheidung u. Speicherung)



Vielen Dank  
für Ihr Interesse

Homepage des Autors:

[http://www2.uni-frankfurt.de/  
43267598/Ehemalige-AG-Klimaforschung](http://www2.uni-frankfurt.de/43267598/Ehemalige-AG-Klimaforschung)