

# **Was ist dran am Klimawandel?**

**SLV München 13. Februar 2008**

Dipl. Meteorologe Dr. GR Weber, Essen

# Was ist Klima?

---

- Klima ist der langfristig (ca. 20 – 30 Jahre) gemittelte Zustand der Atmosphäre an einem Ort, in einer Region oder weltweit
- Von einer Klimaänderung spricht man dann, wenn sich Klimaparameter von einer Mittelungsperiode zur anderen dauerhaft ändern
- Schwankungen innerhalb dieser Periode bezeichnet man als kurzfristige Klimaschwankungen
- Das Klima ist keine Konstante: Es hat sich in der Vergangenheit auf allen zeitlichen und räumlichen Skalen aus unterschiedlichsten Gründen geändert

---

Die Klimadebatte beherrscht seit ca. 20 Jahren die umweltpolitische Diskussion (z.B. „Warnung vor einer drohenden Klimakatastrophe“ der DPG vom Januar 1986, Gründung des IPCC 1988; Klimakonvention von Rio de Janeiro 1992, Kyoto-Protokoll von 1997 etc.)

**Folgende Kernelemente in dieser Debatte:**

1. Klimamodelle sagen einen dramatischen Temperaturanstieg als Folge von Treibhausgasemissionen durch menschliche Aktivitäten vorher
2. In den letzten 150, besonders aber in den letzten 30 Jahren, wurde ein globaler Temperaturanstieg beobachtet
3. Die Klimaforschung versucht, diesen Temperaturanstieg durch Treibhausgasemissionen zu erklären
4. Daraus wird die Schlussfolgerung abgeleitet, modellierte Klimaänderungen bis 2100 seien ebenfalls realistisch

## **Der wissenschaftliche Erkenntnisstand der Klimaforschung wird in regelmäßigen Abständen in den UN-Klimaberichten des IPCC veröffentlicht**

---

Klimaberichte des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) - Wichtigste Zusammenfassung des internationalen klimawissenschaftlichen Erkenntnisstandes

### **Grundlage internationaler klimapolitischer Übereinkommen:**

- Klimarahmenkonvention von Rio 1992
- Kyoto-Protokoll 1997 und jeweilige nationale Klimapolitiken

### **Vier Berichte seit 1990:**

- Climate Change (1990)
- Second Assessment Report (SAR) 1996
- Third Assessment Report (TAR) 2001
- Fourth Assessment Report (AR 4) 2007

Allgemeine Tendenz dieser Berichte, den menschlichen Einfluss auf das Klima in einem immer dramatischeren Licht erscheinen zu lassen, insbesondere in den sog. „Summary for Policymakers“ (SPMs)

---

# Kernaussagen des Fourth Assessment Reports (AR4) 2007

---

- Der größte Teil des beobachteten Anstiegs der globalen Mitteltemperaturen seit der Mitte des 20. Jahrhunderts ist sehr wahrscheinlich auf den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen
- Bis zum Jahr 2100 ist mit einer Erwärmung von 1,1 bis 6,4 °C zu rechnen
- Die Zunahme von extremen Witterungsereignissen, wie z.B. tropische Wirbelstürme, Starkregen etc. ist wahrscheinlich; sie haben bereits zugenommen

# Rechnet IPCC 2007 mit dramatischeren Klimaänderungen als IPCC 2001?

UN-Klimaberichte: Vergleich 2001 und 2007

	IPCC 2001	IPCC 2007
Emissionsszenarien	SRES	SRES
Klimaempfindlichkeit für CO <sub>2</sub> -Verdoppelung	ca. 2,8 °C	ca. 3,0 °C
SRES-Szenarien Erwärmung bis 2100	1,4-5,8 °C	1,1-6,4 °C
Meeresspiegelanstieg SRES 2100	Ca. 0,09-0,88m; Mittel: 0,48 m	0,18-0,59 m; Mittel: ca. 0,3-0,4 m
Klimaerwärmung und Extremereignisse: 1. Beobachtungen		
1.1 Zunahme in Intensität tropischer Wirbelstürme	Wurde nicht beobachtet in den wenigen vorliegenden Analysen	Wahrscheinlich in einigen Regionen seit 1970

	<b>IPCC 2001</b>	<b>IPCC 2007</b>
1.2 Zunahme intensiver Niederschlagsereignisse	Wahrscheinlich in vielen Gebieten der mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre (für die übrigen Gebiete entweder unzureichendes Datenmaterial oder widersprüchliche Analysen)	Wahrscheinlich
2.0 Vorhergesagte Trends für das 21. Jahrhundert auf Basis der SRES-Szenarien		
2.1 Zunahme von tropischen Wirbelstürmen	Wahrscheinlich in einigen Gebieten	Wahrscheinlich
2.2 Zunahme von Starkniederschlagsereignissen	Sehr wahrscheinlich in vielen Gebieten	Sehr wahrscheinlich

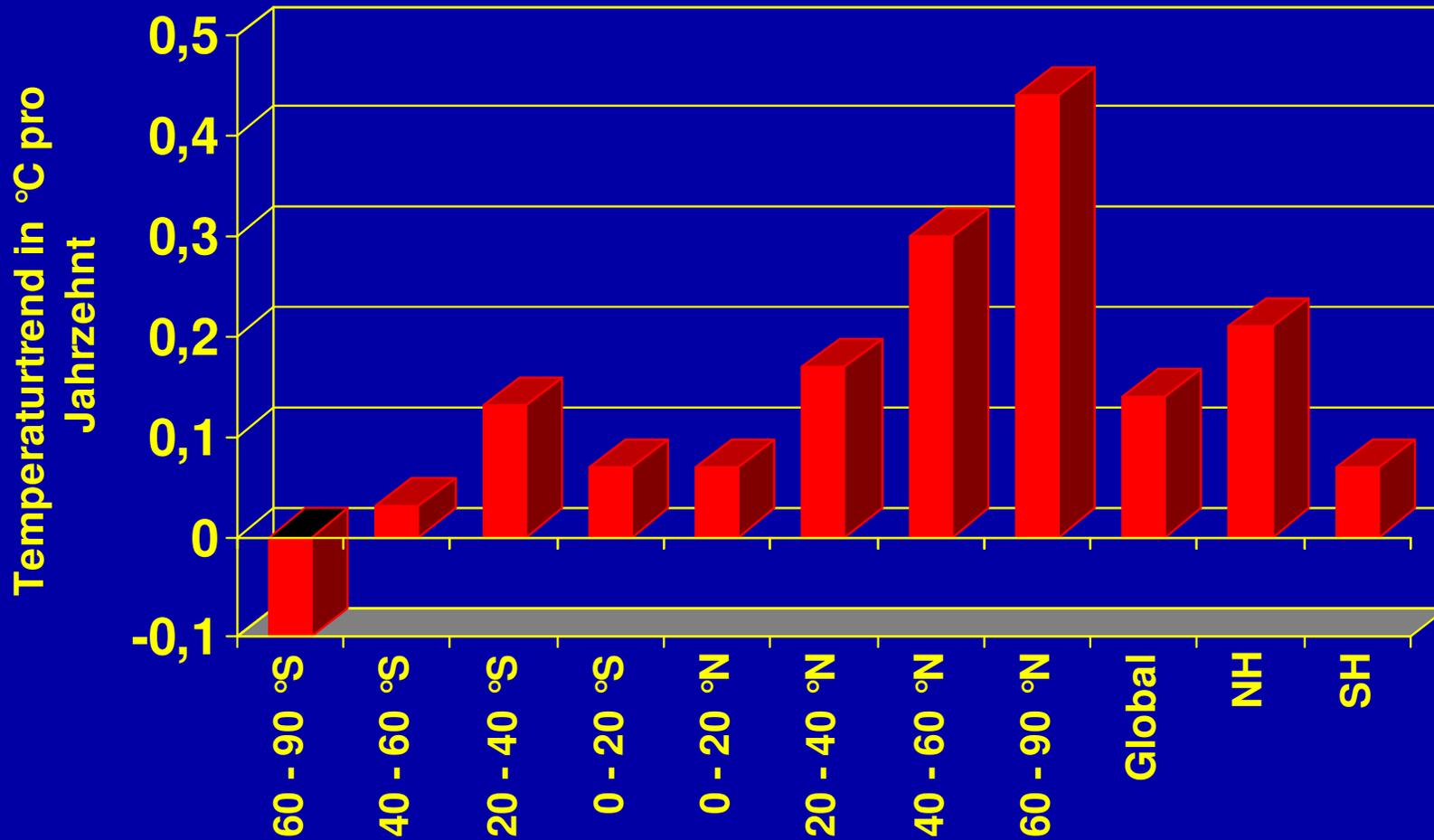
	IPCC 2001	IPCC 2007
Menschlicher Einfluss auf beobachtete Trends:		
1. Erwärmung	„der größte Teil der beobachteten Erwärmung der letzten 50 Jahre ist wahrscheinlich auf den Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen“	„Der größte Teil des beobachteten Anstiegs der globalen Mitteltemperaturen seit der Mitte des 20. Jahrhunderts ist sehr wahrscheinlich auf den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen.“
2. Tropische Wirbelstürme	Keine Angabe	Eher wahrscheinlich
3. Starkniederschläge	Keine Angabe	Eher wahrscheinlich

## Ist der größte Teil der beobachteten Erwärmung seit Mitte des Jahrhunderts auf Treibhausgase zurückzuführen?

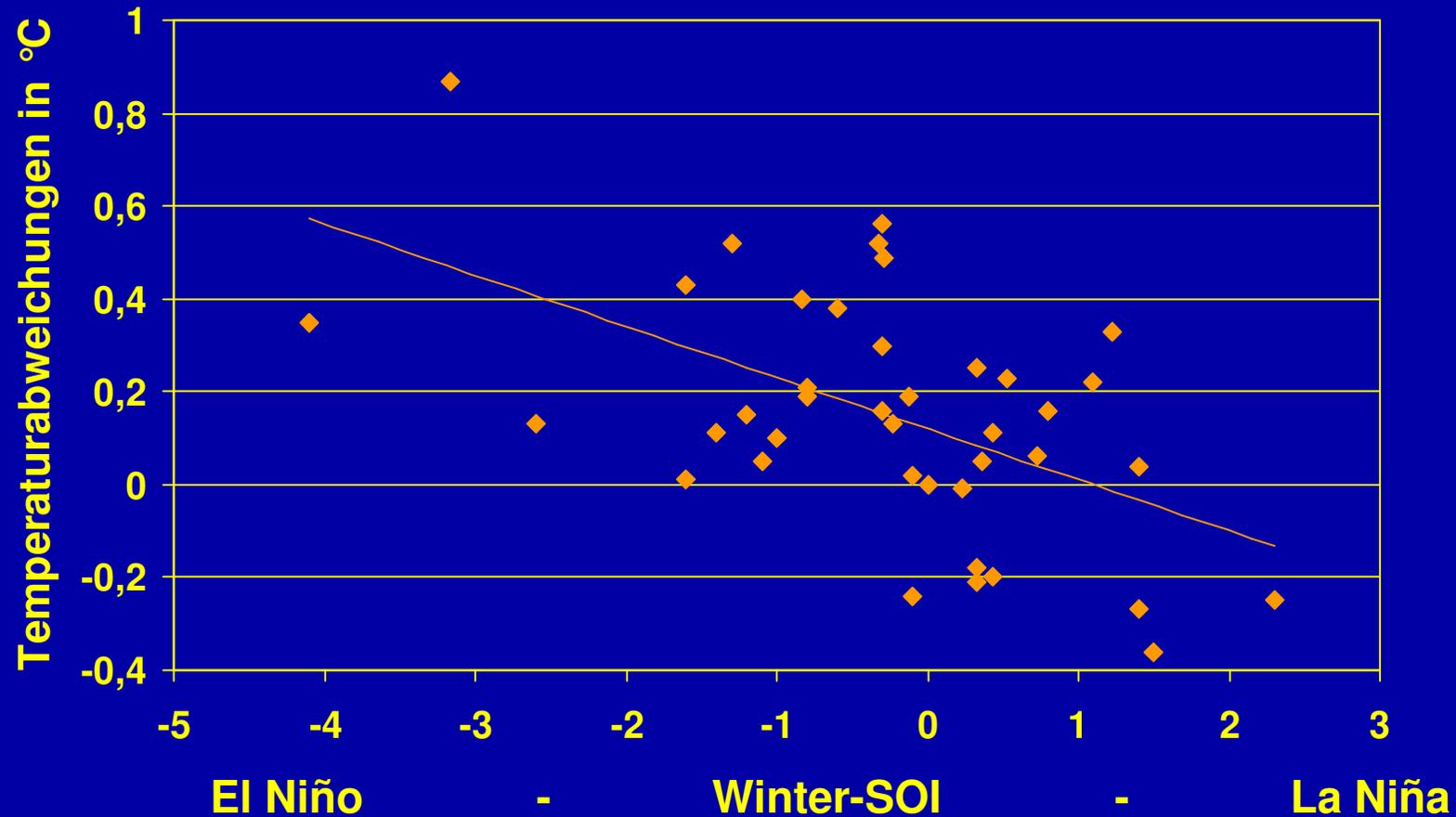
---

- Rein formal hat sich das Klima zwischen 1950 und 1976 abgekühlt und erst seit 1977 erwärmt (siehe Eiszeit-Diskussion der 1970er Jahre)
- Erwärmung seit 1977 entscheidend durch ENSO mitgeprägt (besonders 1998, das angeblich wärmste Jahr des Jahrtausends)
- Erwärmung seit 1977 ferner durch Zirkulationsanomalien bes. in der NH entscheidend mitgeprägt:
- Satelliten- und Radiosondendaten zeigen eine Erwärmung seit ca. 1980 besonders in den mittleren Breiten 35 - 65 °N der NH, bes. im Winterhalbjahr (regional verstärkt über Westkanada, Mitteleuropa und Sibirien/Mongolei); in der Südhemisphäre kaum Erwärmung
- Ursache positive Phase der NAO/AO; THGs werden nicht als entscheidender Faktor für beobachteten NAO Anstieg gesehen
- Solare Parameter haben möglicherweise in den vergangenen Jahrzehnten ebenfalls eine bedeutende Rolle gespielt, besonders bis 1990 (z. B. Svensmark und Friis-Christensen, Lockwood, Lean etc.)

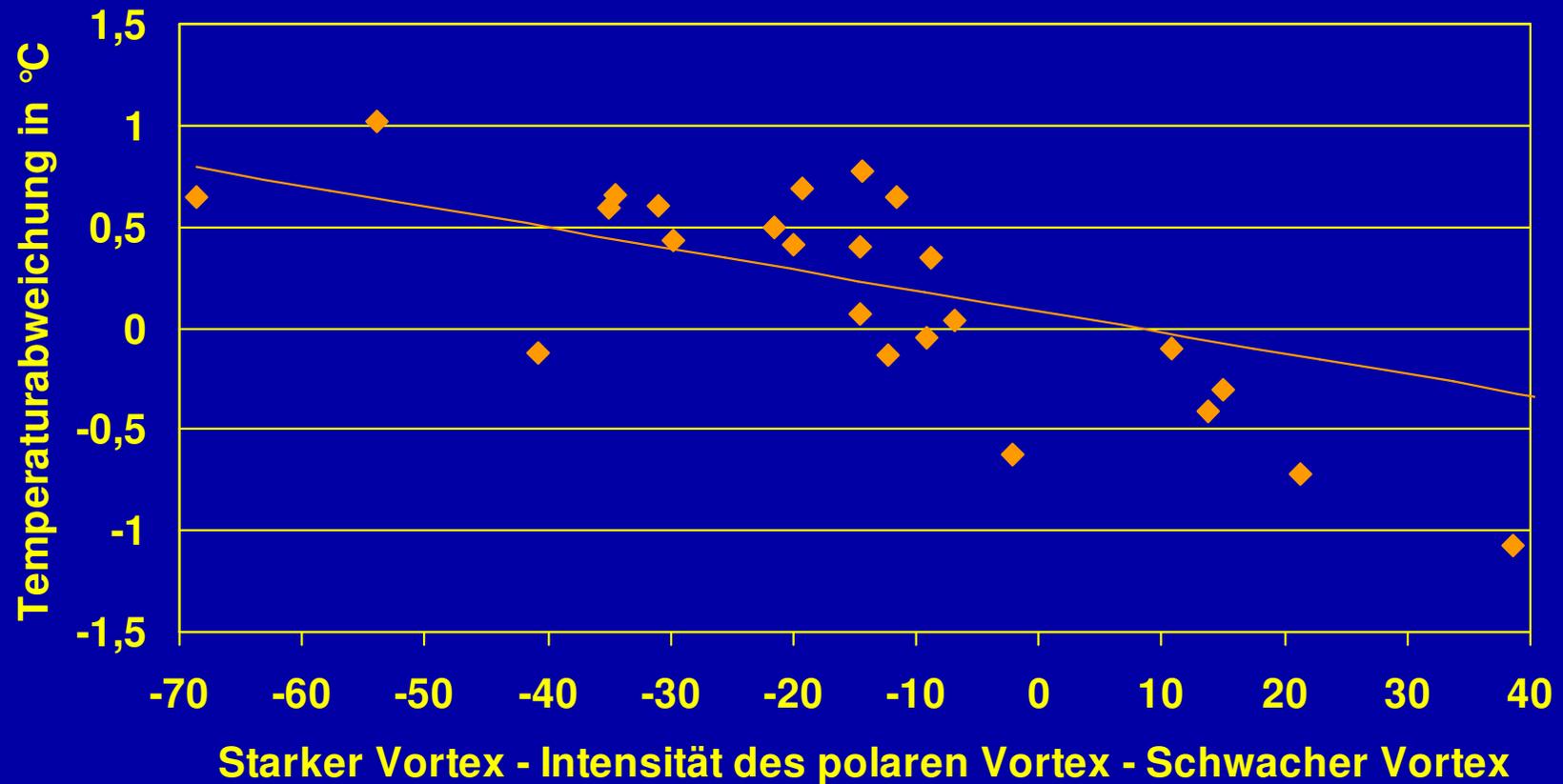
## Satellitentemperaturtrends 1979 bis 2006; Breitenkreismittel



# Troposphärische Temperaturen in der Nordhemisphäre und der SOI 1961 bis 2000: Warme El Niños und kühle La Niñas



# Intensität des polaren Vortex und Troposphären-Temperaturen der mittleren Breiten 40 - 60 °N im Winter (1976 bis 2000)



## Zusammenhänge zwischen Sonne und Klima

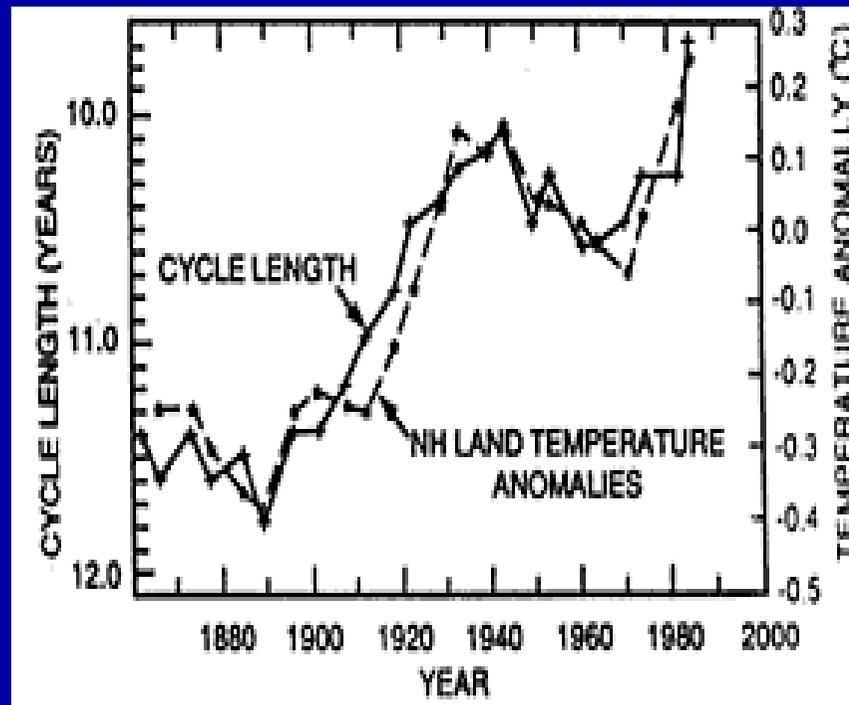
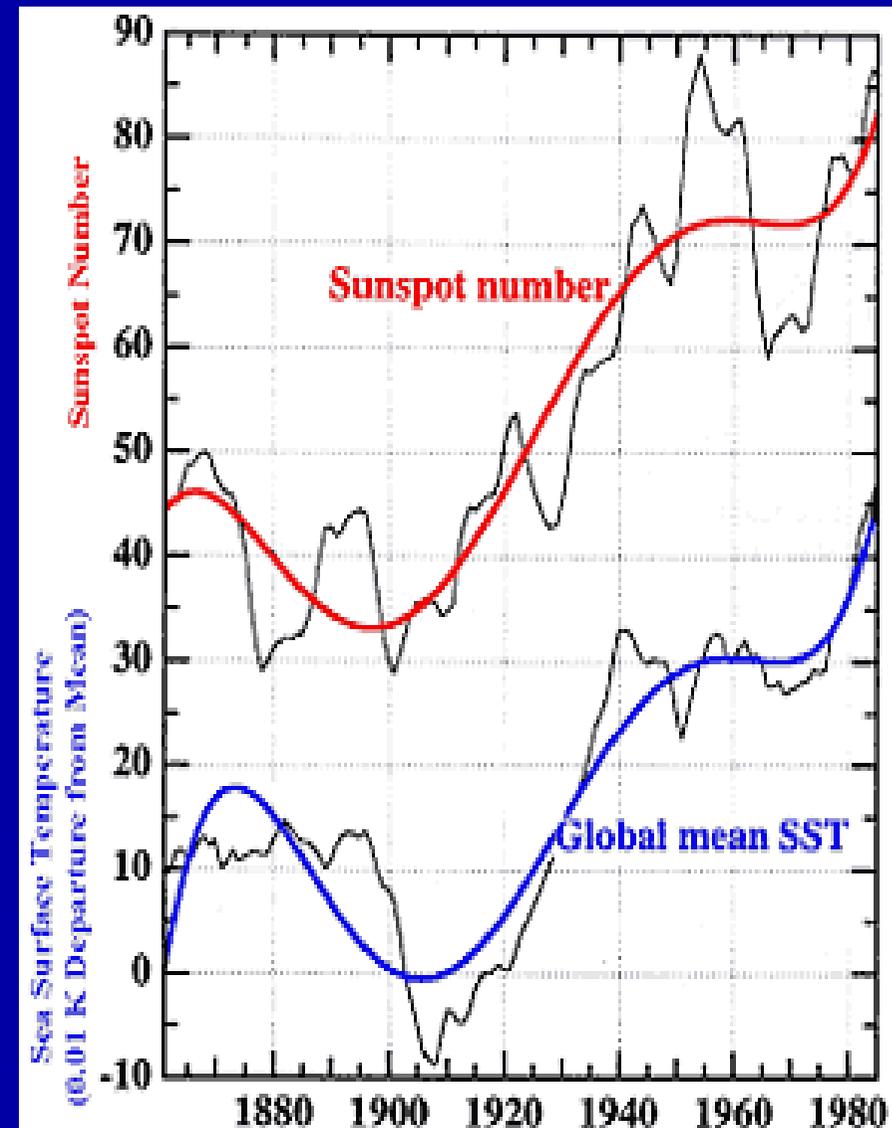
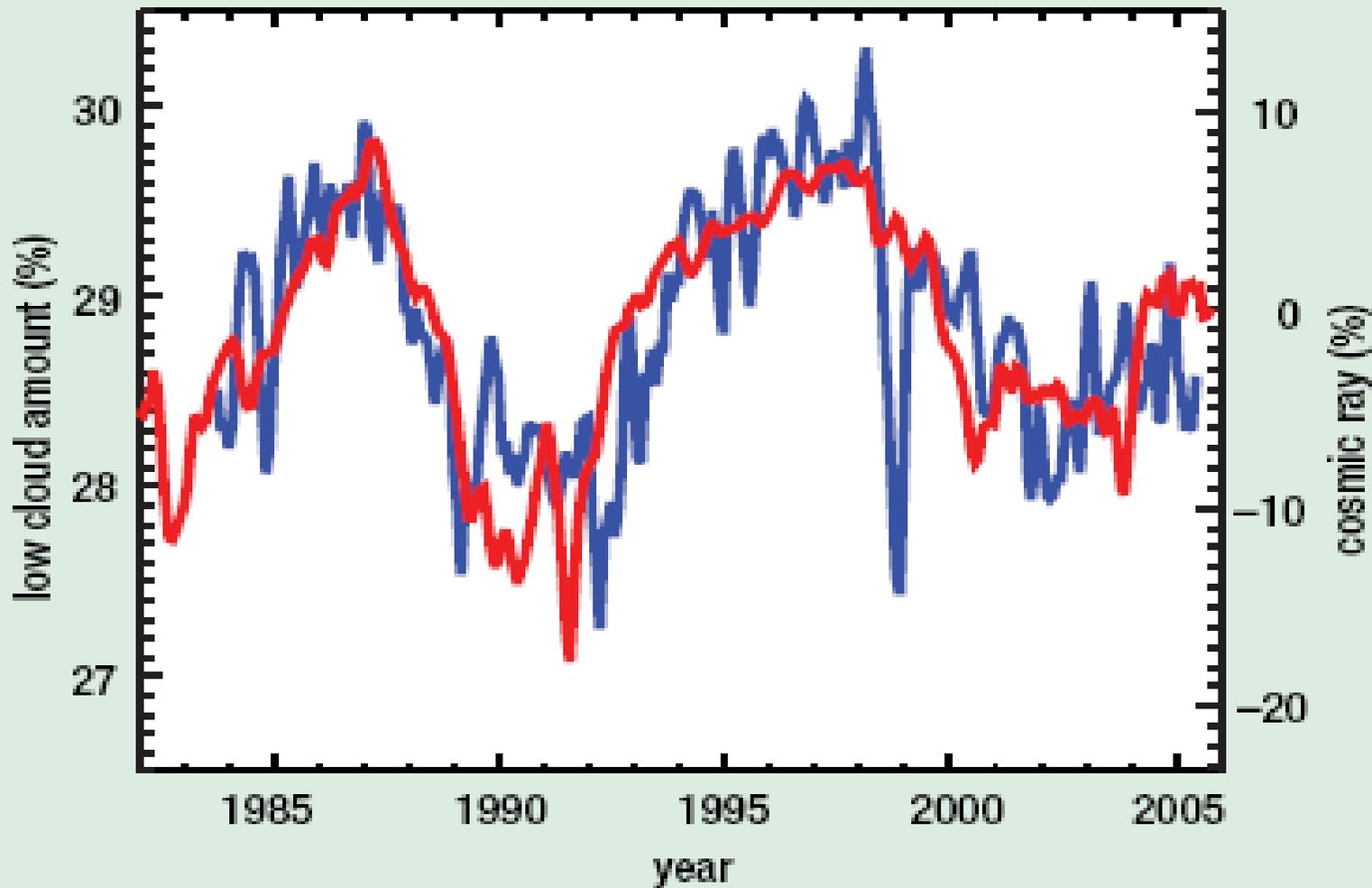


Figure 3: (a) The northern hemisphere land temperatures are plotted with the solar cycle length (Friss-Christensen and Lassen; 1991).

(b) The globally averaged sea surface temperature and sunspot number



## Zusammenhang zwischen kosmischen Strahlungsfluss und tiefen Wolken



## Lässt die Erwärmung der letzten 150 bzw. 30 Jahre die Schlussfolgerung zu, das Klima werde sich in den nächsten 100 Jahren dramatisch erwärmen?

---

### Die globale Erwärmung der letzten 150 Jahre lief in drei Phasen ab:

- Eine Erwärmung von ca. 0,5 °C zwischen ca. 1910 und 1940
- Eine Abkühlung von ca. 0,1 – 0,2 °C von ca. 1940 bis ca. 1975
- Eine Erwärmung von ca. 0,5°C seit ca. 1975

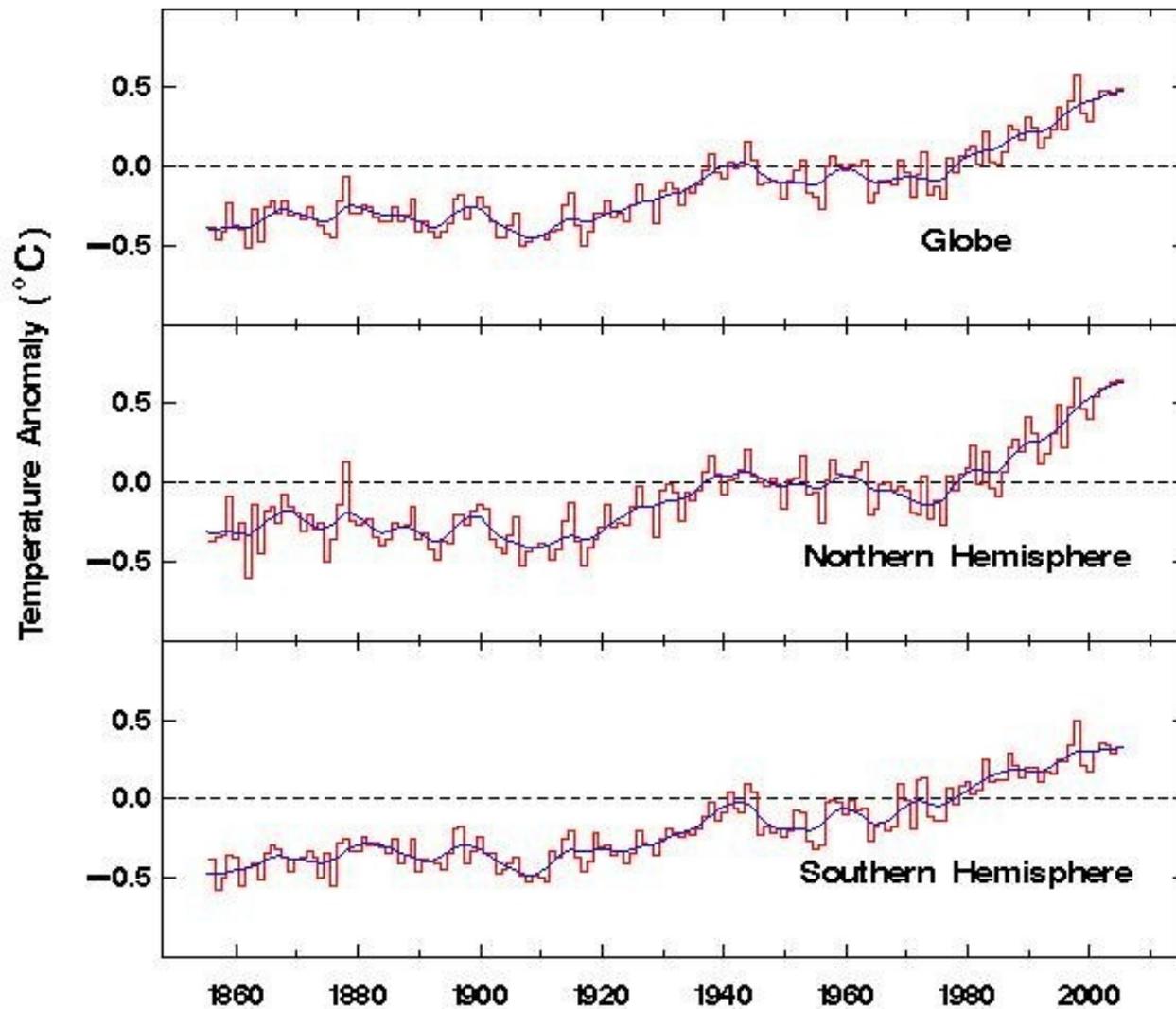
In der Wissenschaft besteht weitgehend Einigkeit, dass die Erwärmung in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts natürliche (möglicherweise solare Ursachen) hatte.

Die Abkühlung 1940 – 1975 trat trotz eines deutlichen Anstiegs der Treibhausgaskonzentrationen auf, läuft eher parallel zum Rückgang der solaren Aktivität

Die Erwärmung seit 1975 ist nicht nur von Treibhausgasen, sondern auch durch andere, natürliche Parameter mitgeprägt worden. Natürliche Parameter waren evtl. für die Hälfte des Anstiegs verantwortlich

---

### Global and Hemispheric Annual Temperature Anomalies 1856—2005



Source: P. D. Jones, T. J. Osborn, and K. R. Briffa  
University of East Anglia, Norwich, UK  
D. E. Parker, Met. Office, Bracknell, Berkshire, UK

---

Klimamodelle errechnen für eine CO<sub>2</sub>-Verdoppelung einen Temperaturanstieg von ca. 3 °C. Davon sind etwa 1,2°C auf den direkten Strahlungseffekt des CO<sub>2</sub>s und der Rest auf modellierte, positive Rückkopplungen im Klimasystem zurückzuführen

Bis heute sind die Treibhausgase in ihrer Wirkungssumme auf einen Wert von ca. 70 % einer CO<sub>2</sub>-Verdoppelung gestiegen.

Unter Berücksichtigung von Verzögerungen im Klimasystem müssten etwa 2/3 dieser Erwärmung, also etwa 1,5 °C im Klimasystem „sichtbar“ sein.

Nach Berücksichtigung der vorangegangenen Überlegungen ist es aber eher wahrscheinlich, dass nur ein kleinerer Teil der gesamten Erwärmung der letzten 150 Jahre, evtl. 0,2 bis 0,4 °C zweifelsfrei auf Treibhausgase zurückgeführt werden kann.

---

Dies würde aber bedeuten, dass die erwartete Erwärmung durch Treibhausgase auch in den nächsten 100 Jahren deutlich unter der erwarteten Erwärmung liegt. (Der Treibhauseffekt nimmt nur mit dem Logarithmus der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu).

Auch wenn die gesamte beobachtete Erwärmung der letzten 30 (oder 50) Jahre auf Treibhausgase zurückzuführen wäre, (ca. 0,12 – 0,2 °C pro Jahrzehnt, je nach Daten und Beobachtungszeitraum) würde sich das Klima in einer Trendprojektion bis 2100 nicht mehr als ca. 2°C erwärmen

---

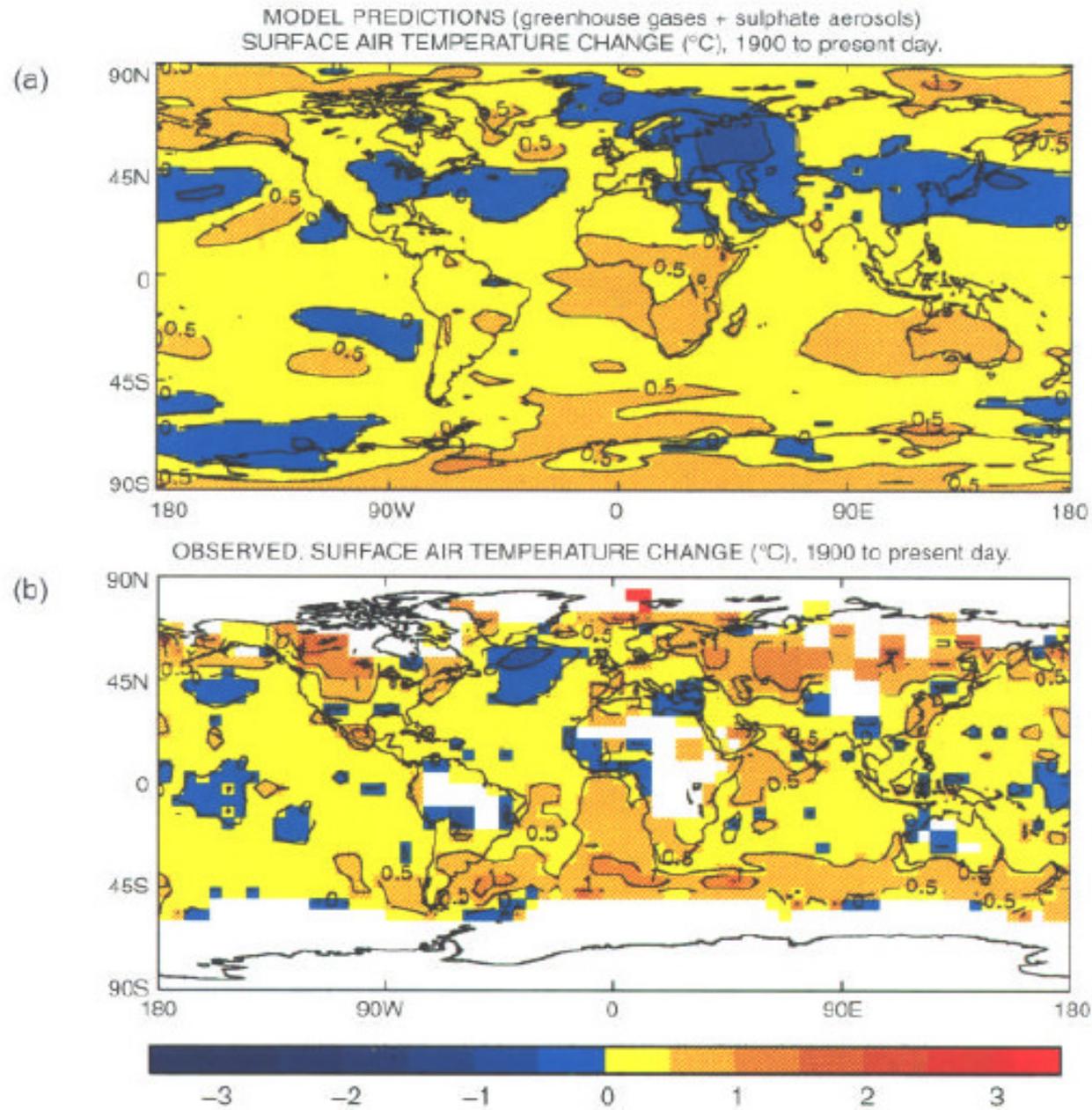
As IPCC versucht die Differenzen zwischen beobachtetem und modelliertem Klimatrend hauptsächlich mit Abkühlungseffekten durch Schwefelemissionen zu erklären, die bei der fossilen Energienutzung neben CO<sub>2</sub> ebenfalls freigesetzt werden.

**Folgende Probleme mit dieser Hypothese:**

Über 90 Prozent der S Emissionen treten in der Nordhemisphäre auf, wegen der kurzen Lebensdauer von S in der Atmosphäre tritt die abkühlende Wirkung überwiegend auch nur in der Nordhemisphäre auf; relativ zur Südhemisphäre, besonders über den Kontinenten, müsste sich das Klima in der Nordhemisphäre langsamer erwärmen

Dies widerspricht aber den Beobachtungen der letzten Jahrzehnte

Anderen möglichen Ursachen, wie einer Überbetonung positiver Rückkopplungen, geht das IPCC nicht ausreichend nach.



Quelle: Hadley Center, 1995

## Welche Ursachen könnte die überhöhte Temperaturvorhersage des IPCC haben?

---

- Der reine Strahlungseffekt des CO<sub>2</sub> weist eine Unsicherheitsbandbreite von ca. 25% auf
- Modellerte positive Rückkopplungen im Klimasystem sind für ca. 2/3 der berechneten Erwärmung verantwortlich; sie verdreifachen den „reinen“ CO<sub>2</sub>-Effekt
- Ozeane könnten die Erwärmung stärker verzögern als bislang angenommen, aber wenig wahrscheinlich (z.B. Lindzen)
- Künftige Erwärmung wird durch angenommene hohe CO<sub>2</sub> Lebensdauer in der Atmosphäre (ca. 100 Jahre) überzeichnet
- Kann vielen Modellrechnungen zufolge erheblich niedriger sein, hätte große Auswirkungen auf modellierte Erwärmung

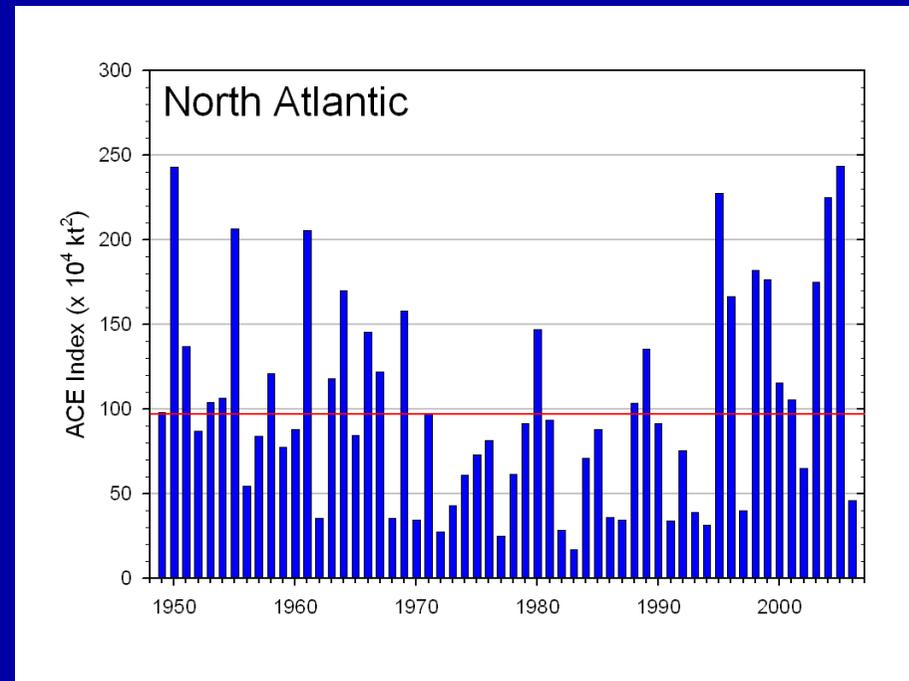
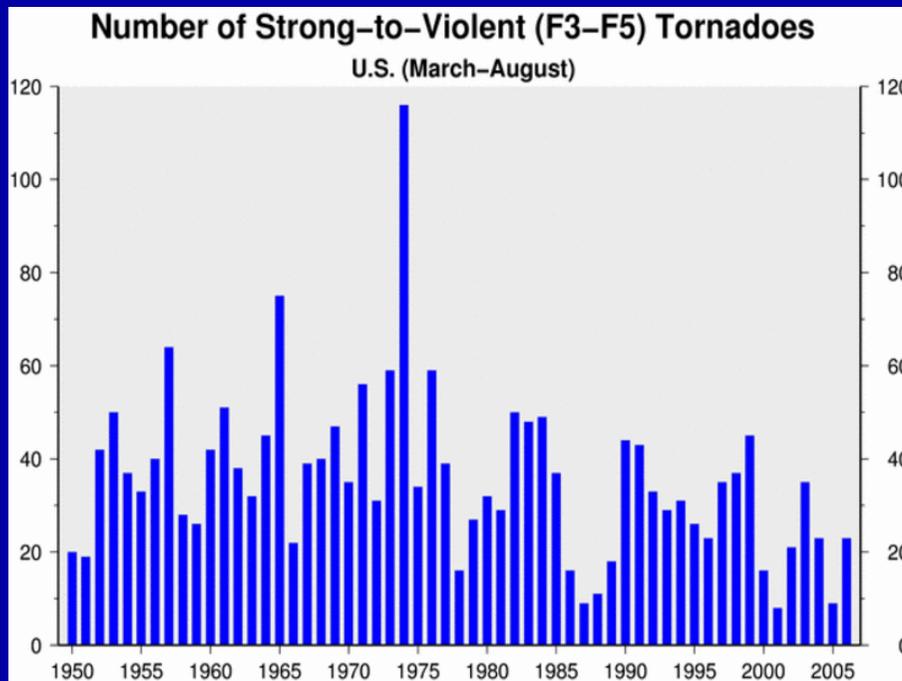
# Haben Witterungsextreme wie Stürme, Überschwemmungen, Dürren zugenommen?

---

## Extremereignisse (Beobachtungen):

- Generell gibt es statistische Probleme mit dem Trendnachweis extremer Ereignisse in begrenzten Zeitreihen (50 – 150 Jahre); zudem sehr stark von der Wahl des Parameters abhängig
- Trotz gegenteiliger Darstellungen in den Medien hat es in den letzten 30 – 50 Jahren keine allgemeine Zunahme extremer Klima (oder besser Wetter- und Witterungs-) Ereignisse gegeben
- Die Intensität der Hurrikane über dem Atlantik hat zwar in den letzten 20 Jahren zugenommen, aber davor abgenommen. Langfristig (seit 1945) hat es keinen Anstieg gegeben.
- Weltweit hat die Intensität der tropischen Wirbelstürme in den letzten 20 Jahren nicht zugenommen trotz eines Anstiegs der Wasser - temperatur in den Tropen
- Keine Zunahme starker Tornados in den USA in den letzten 50 Jahren

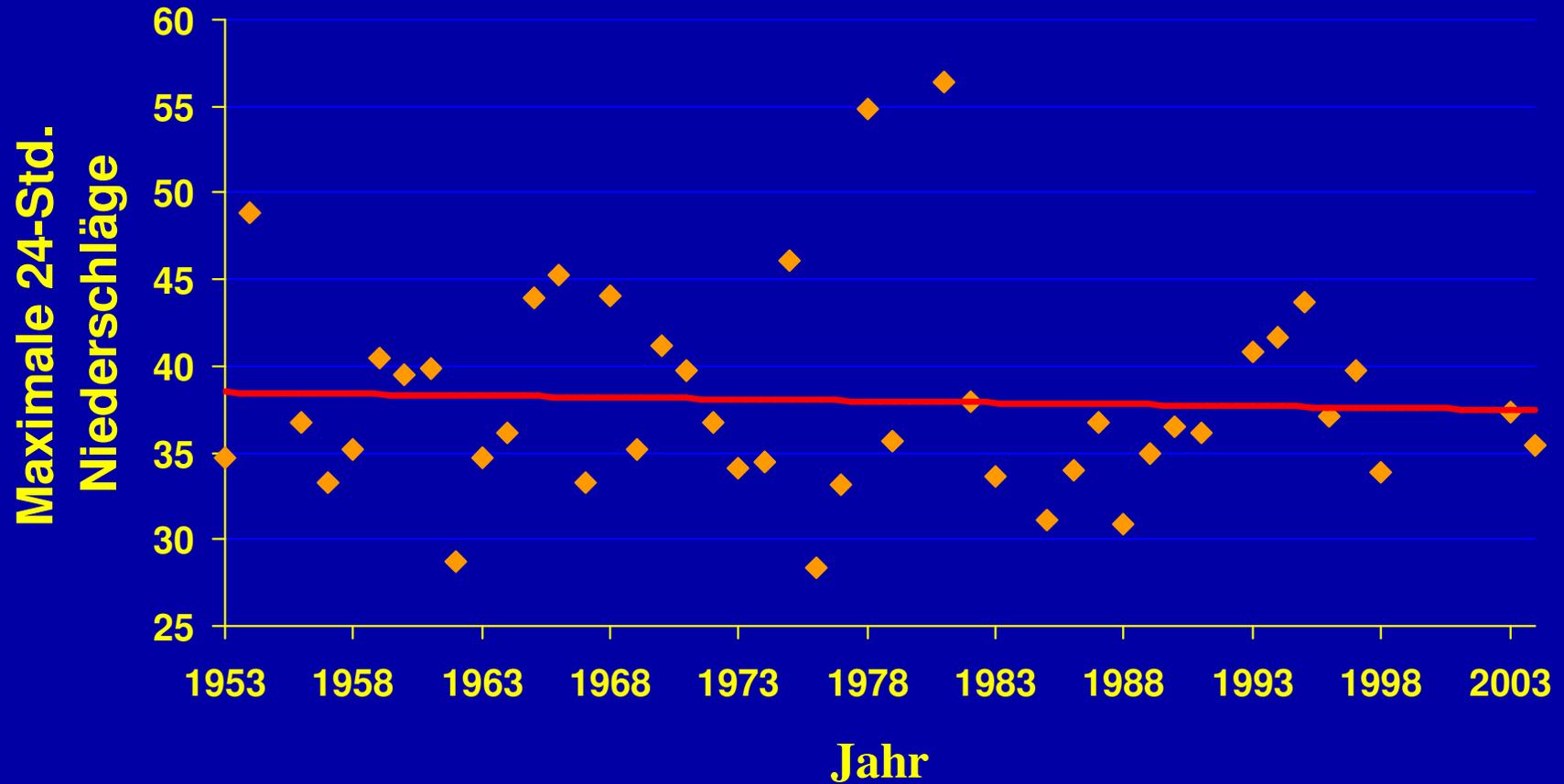
# Extremereignisse (Beobachtungen): Tornados and Hurrikane



Quelle: US NOAA

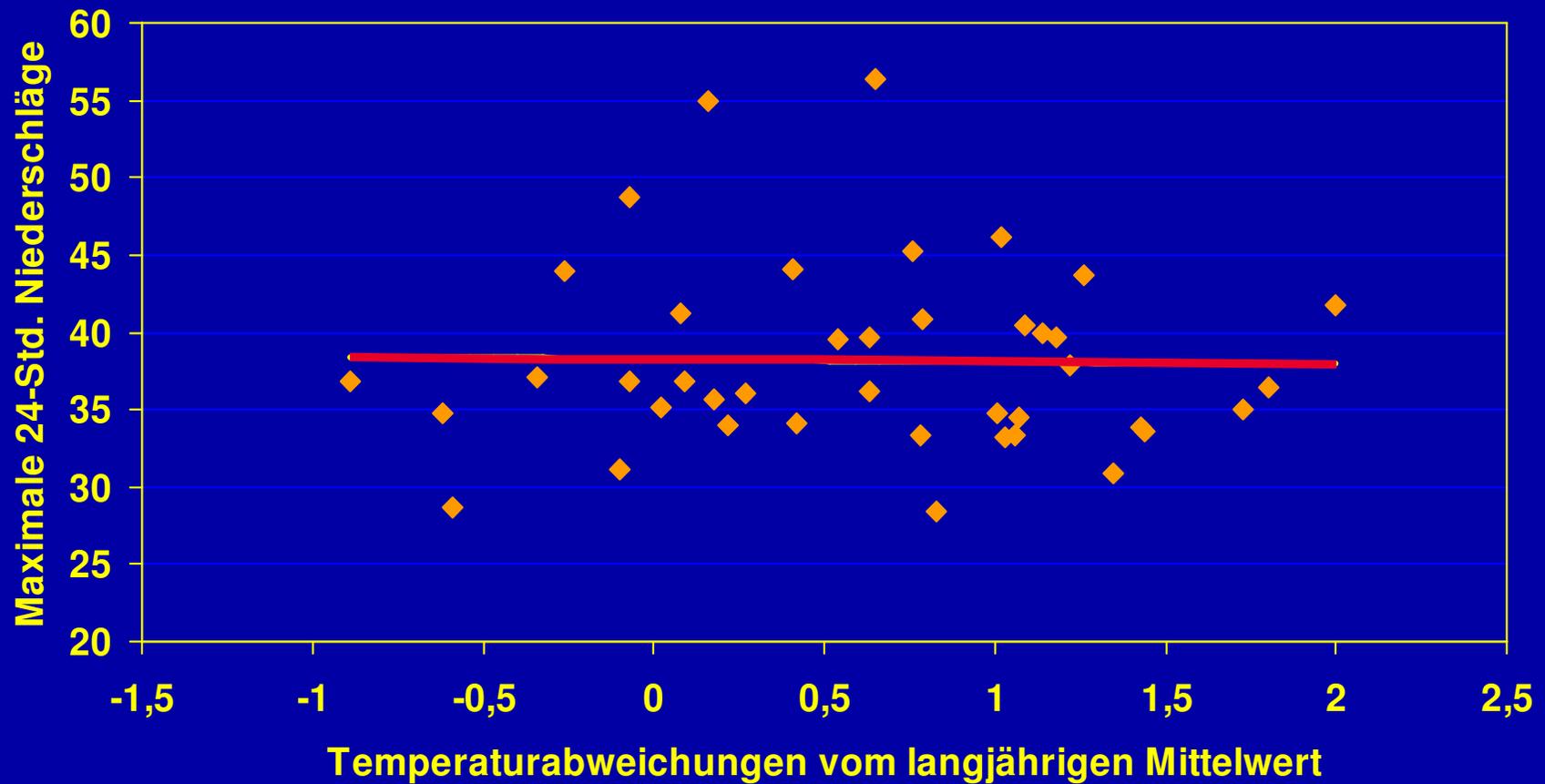
- 
- Geringfügiger Anstieg von Starkregenereignissen in den USA zwischen 1900 und 2000, aber kein Zusammenhang mit einer Erwärmung erkennbar
  - In Deutschland ist kein Anstieg der maximalen 24 std. Niederschlagssumme erkennbar (guter Indikator für Extremniederschläge), trotz einer Erwärmung von ca. 1 °C in den letzten 50 Jahren
  - Ferner ist in Deutschland in den letzten 50 Jahren keine Zunahme von starken Stürmen nachweisbar – trotz einer Erwärmung von ca. 1 °C
  - Zahlreiche andere Beispiele aus anderen Teilen der Welt deuten in eine ähnliche Richtung: Kategorische Aussage, Klimaextreme hätten zugenommen ist sicher nicht richtig

## Trends von Extremniederschlagsereignissen in Deutschland seit 1953



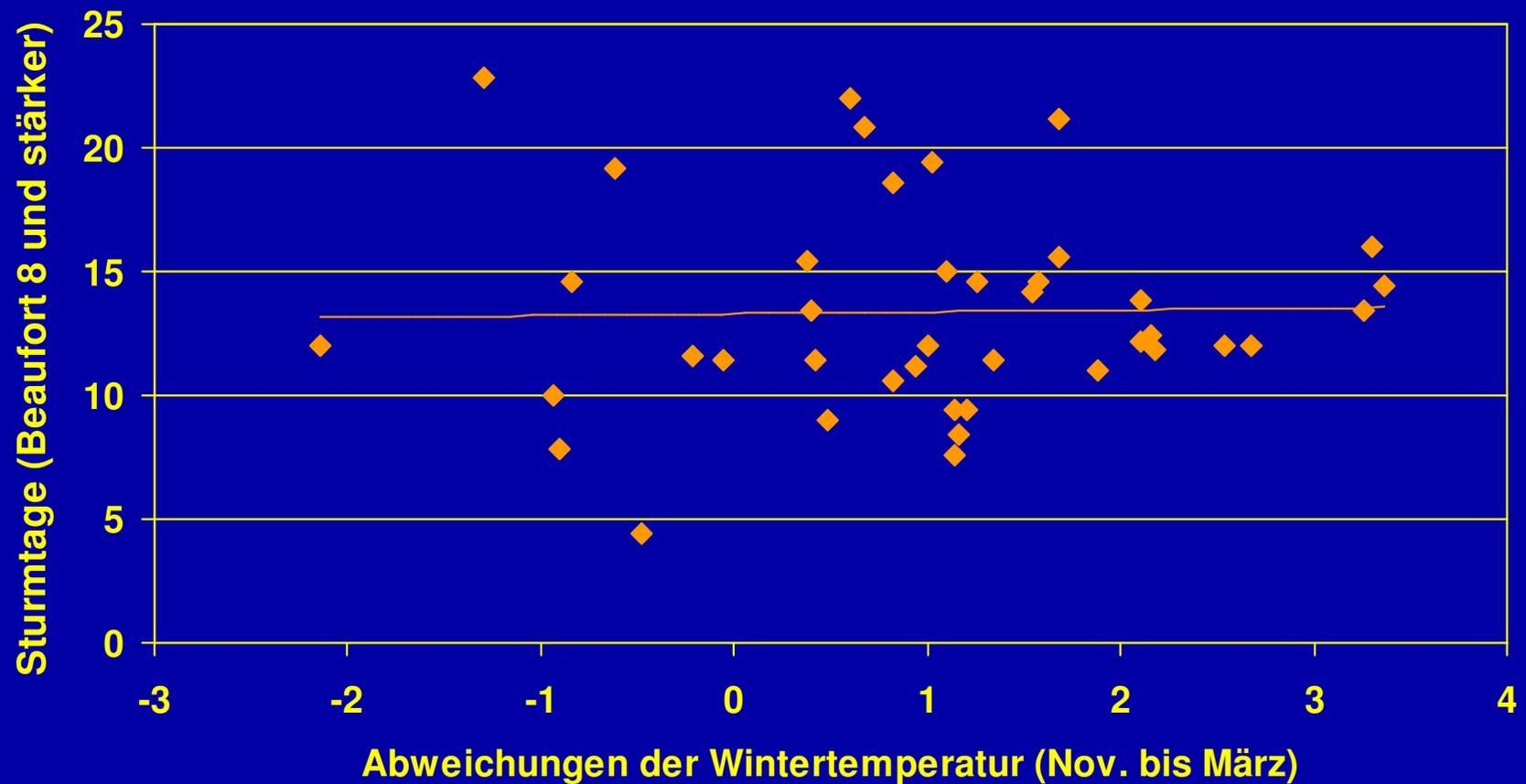
Quelle: Deutscher Wetterdienst, Klimatologische Werte für das Jahr

## Jahresmitteltemperaturen und Extremniederschläge in Deutschland seit 1953



Quelle: Deutscher Wetterdienst, Klimatologische Werte für das Jahr

## Wintertemperaturen und Sturmhäufigkeit in Deutschland seit 1956



Quelle: Deutscher Wetterdienst, Klimatologische Werte für das Jahr

## Sollen Witterungsextreme wie Stürme, Überschwemmungen, Dürren künftig zunehmen?

---

### Extremereignisse (Modellvorhersagen):

Trotz zahlreicher anderslautender Darstellungen in den Medien gibt es keinen allgemeinen Konsens, dass Extremereignisse, besonders Hurrikane und Stürme der mittleren Breiten, an Stärke und Häufigkeit zunehmen sollen

- Eine Erwärmung wird den Temperaturkontrast zwischen dem Äquator und den Polen abschwächen, weswegen Stürme in den mittleren Breiten eher schwächer werden sollten
- Eine Erwärmung wird den vertikalen Temperaturgradienten in den Tropen abschwächen und die Westströmung in der oberen Troposphäre der Subtropen verstärken, was zu einer Abschwächung von Stärke und Häufigkeit von Hurrikanen führt, die einer Verstärkung durch steigende Meeresoberflächentemperaturen entgegenwirkt

# Future changes in the frequency of tropical storms



Ratio (%) of number of storms in global warming experiment to number in control experiment

model	reference	Ocean basin						
		Global	NA	WNP	ENP	NI	SI	SWP
T106 JMA 10y	Sig1 et al. 2002	66	161	34	33	109	43	69
T42 NCAR CCM2 10y	Tsutsui 2002	102	86	111	91	116	124	99
N144 HadAM3 15y	McDonald et al. 2005	94	75	70	180	142	110	82
T106 CCSR/NIES/FRC GC	Hasegawa and Emori 2005			96				
T106 JMA 10y	Yoshimura & Sig1 05	fewer						
T63 ECHAM5-OM	Reigtsma et al. 2006	94						
20km MRI/JMA	Oouchi et al. 2006	70	134	62	66	48	72	57

Red = significantly more tropical storms in the future simulation

Blue = significantly fewer tropical storms in the future simulation

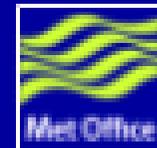
**Summary: fewer tropical cyclones globally in the future simulations, sign of regional changes varies between model and basin**

## Tropical Storms and Climate Change

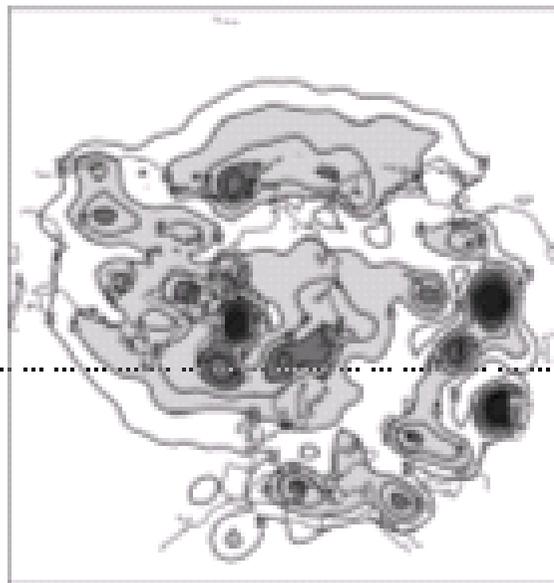
---

- **There is a minor reduction in the number of tropical storms by some 6%**
- **There are no changes in the extremes of tropical storms in spite of increased tropical SST by 2-3°C**
- **There are marked changes in the regional tropical storm tracks which we suggest, analogues to ENSO, are driven by regional tropical SST anomalies**

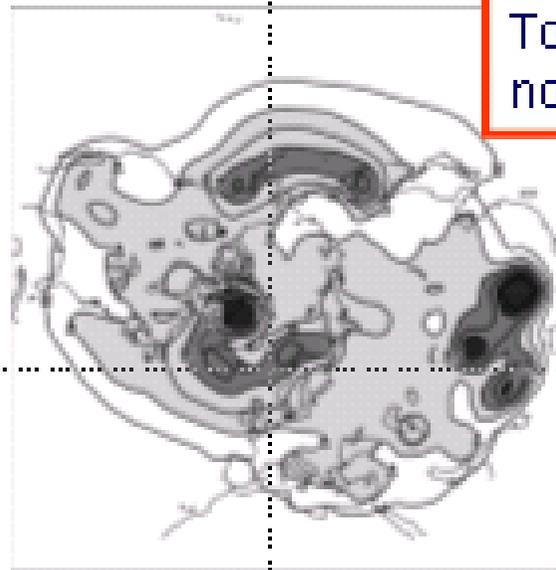
# Simulation of mid-latitude storms by models:- Cyclone density



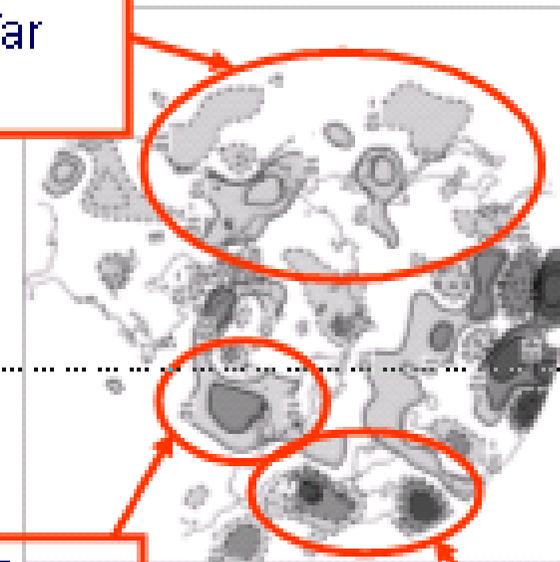
ERA



AMIP 13 Model Mean



Difference



*number of cyclone events per 145,000 km<sup>2</sup>  
accumulated over nine 120 day winter  
periods for the Northern Hemisphere*

Lambert et al. (2002) Climate Dynamics

Source: Ruth McDonald, 2006

© Crown copyright 2005

## Summary

- All models have systematic errors in the simulation of cyclone tracks
- Cyclones tend to be too weak
- Errors often larger than climate change signal

# Klimawandel in Deutschland

---

- Die Temperaturen in Mitteleuropa sind in den letzten Jahrzehnten um ca. 1 °C angestiegen, mehr als im globalen Mittel. Ist der Treibhauseffekt hierfür verantwortlich?
- Untersuchungen zeigen, dass Änderungen in den Windströmungen über dem Ostatlantik und Mitteleuropa die Hauptursache sind, z.B. mehr Südwestwinde statt West im Winter oder mehr Südwinde statt Nordwest im Sommer.
- Beispielhaft seien hier für die letzten Jahrzehnte die statistischen Zusammenhänge zwischen diesen Zirkulationsparametern, Treibhausgasen, Sonnenflecken, ENSO und der Temperatur sowie den Niederschlägen für die einzelnen Monate des Jahres dargestellt.

**Gezeigt sind die gesamte „erklärte Varianz“  $R^2$  einer multiplen Regressionsanalyse sowie der Beitrag zur Reduzierung der Varianz durch den Faktor Treibhausgase in Prozent.**

Monat	Temperatur	Red Var THG	Niederschlag	Red Var THG
Januar	91	1	87	0
Februar	88	0	79	0
März	90	0	77	0
April	86	12	60	0
Mai	84	1	81	0
Juni	88	0	89	1
Juli	91	7	58	2
August	91	28	68	0
September	75	6	44	0
Oktober	88	0	85	0
November	74	0	73	0
Dezember	71	0	74	12

Die Tabelle zeigt, dass Treibhausgase nur eine untergeordnete Rolle bei der Erklärung der Temperaturschwankungen in Mitteleuropa spielen.

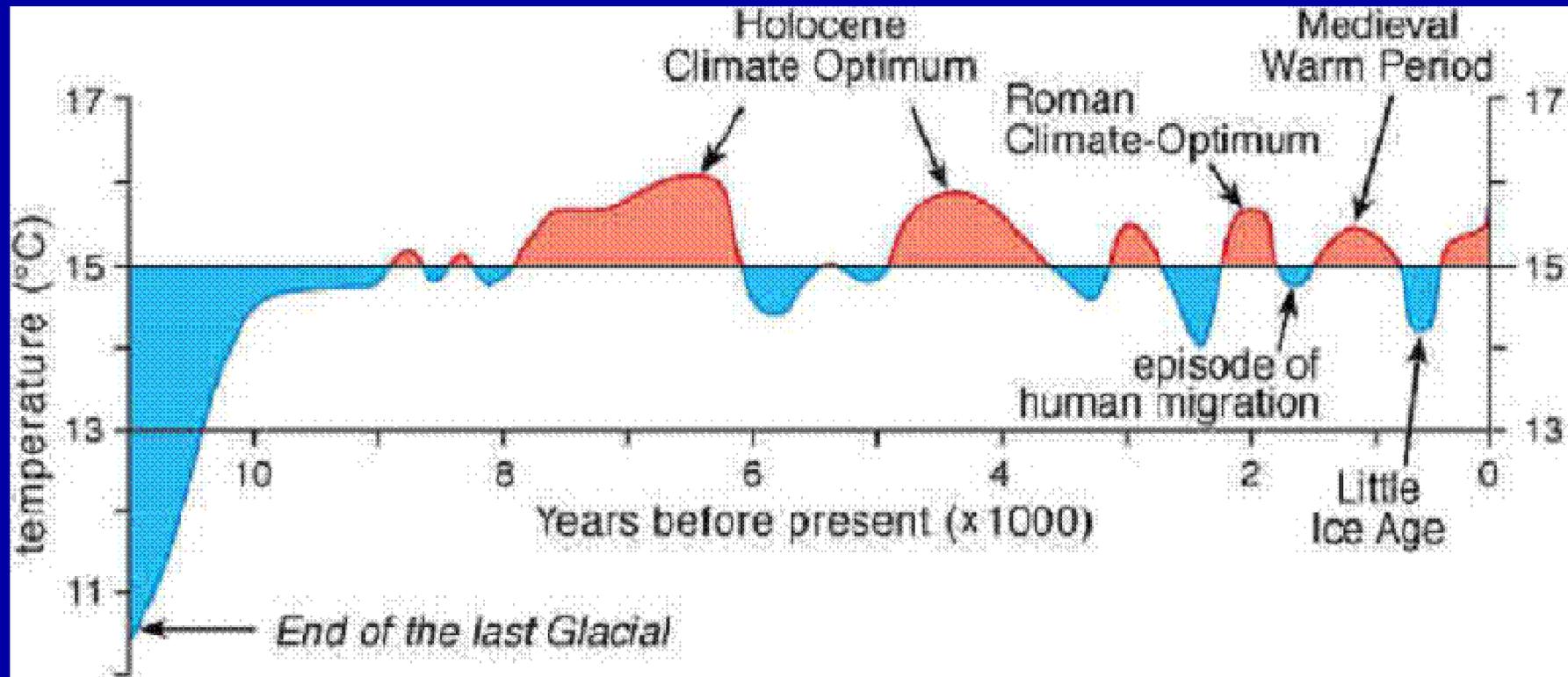
## Ist eine moderate Erwärmung des Klimas positiv oder negativ zu werten?

---

Wärmere Klimaabschnitte werden in der Klimatologie als „Klimaoptima“ bezeichnet, weil sich durch Analyse zahlreicher Daten gezeigt hat, dass wärmere Abschnitte positiv für die Natur und menschliche Aktivitäten waren. Dies gilt für bis zu 2 – 3 °C wärmere Klimate

- Die Erwärmung der nächsten Jahrzehnte (ca. 0,12 – 0,2 °C pro Jahrzehnt) wird sehr wahrscheinlich unterhalb dieser Werte bleiben, sodass allenfalls ein neues Klimaoptimum erreicht wird
- Eine „Klimakatastrophe“ wie sie in den Medien häufig propagiert wird ist deswegen sehr unwahrscheinlich

# Paleo-Klimatische Temperaturschwankungen



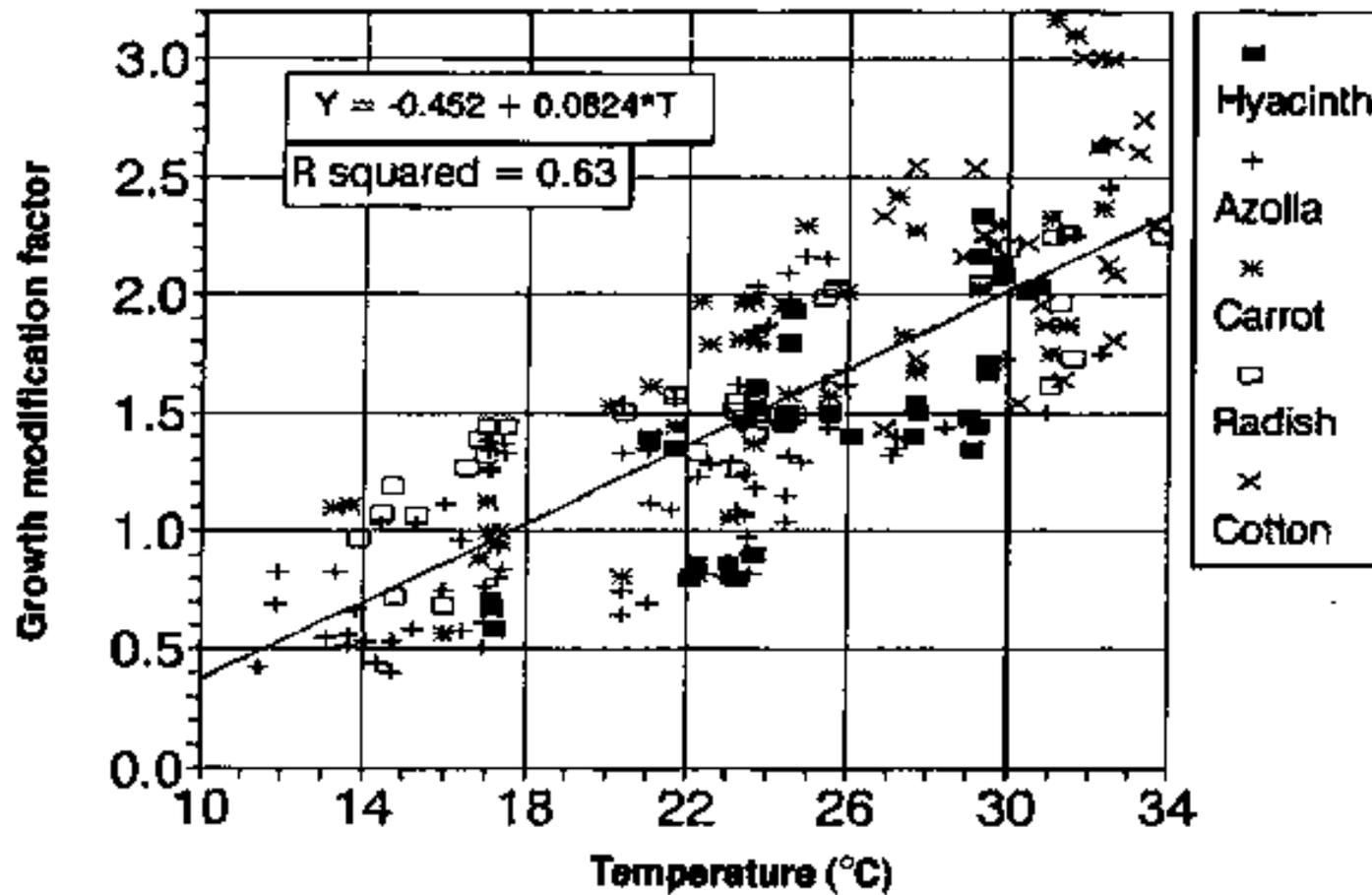
Average near-surface temperatures of the northern hemisphere during the past 11,000 years (after Dansgaard et al., 1969, and Schönwiese, 1995)

## Auswirkung eines wärmeren Klimas und eines erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehaltes auf die Landwirtschaft

---

- Wenn die Wasserverfügbarkeit keinen limitierenden Faktor darstellt, führt eine Erwärmung von 2 – 3 °C in Kombination mit einem steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalt zu einem Anstieg der landwirtschaftlichen Produktivität, steigendem Erntertrag, zunehmender Fruchtezah und Fruchtequalität
- Steigender CO<sub>2</sub>-Gehalt wirkt als Düngemittel und verringert die Evapotranspiration der Pflanzen und macht deswegen Pflanzen dürreresistenter
- Der CO<sub>2</sub>-Düungeeffekt wirkt Stress durch Wassermangel entgegen
- Der CO<sub>2</sub>-Düungeeffekt nimmt mit steigender Temperatur zu und ist deswegen besonders in den Tropen und Subtropen wirksam

## Einfluss von Temperatur und CO<sub>2</sub>-Gehalt auf das Pflanzenwachstum



Quelle: Kimball et. al., 1993

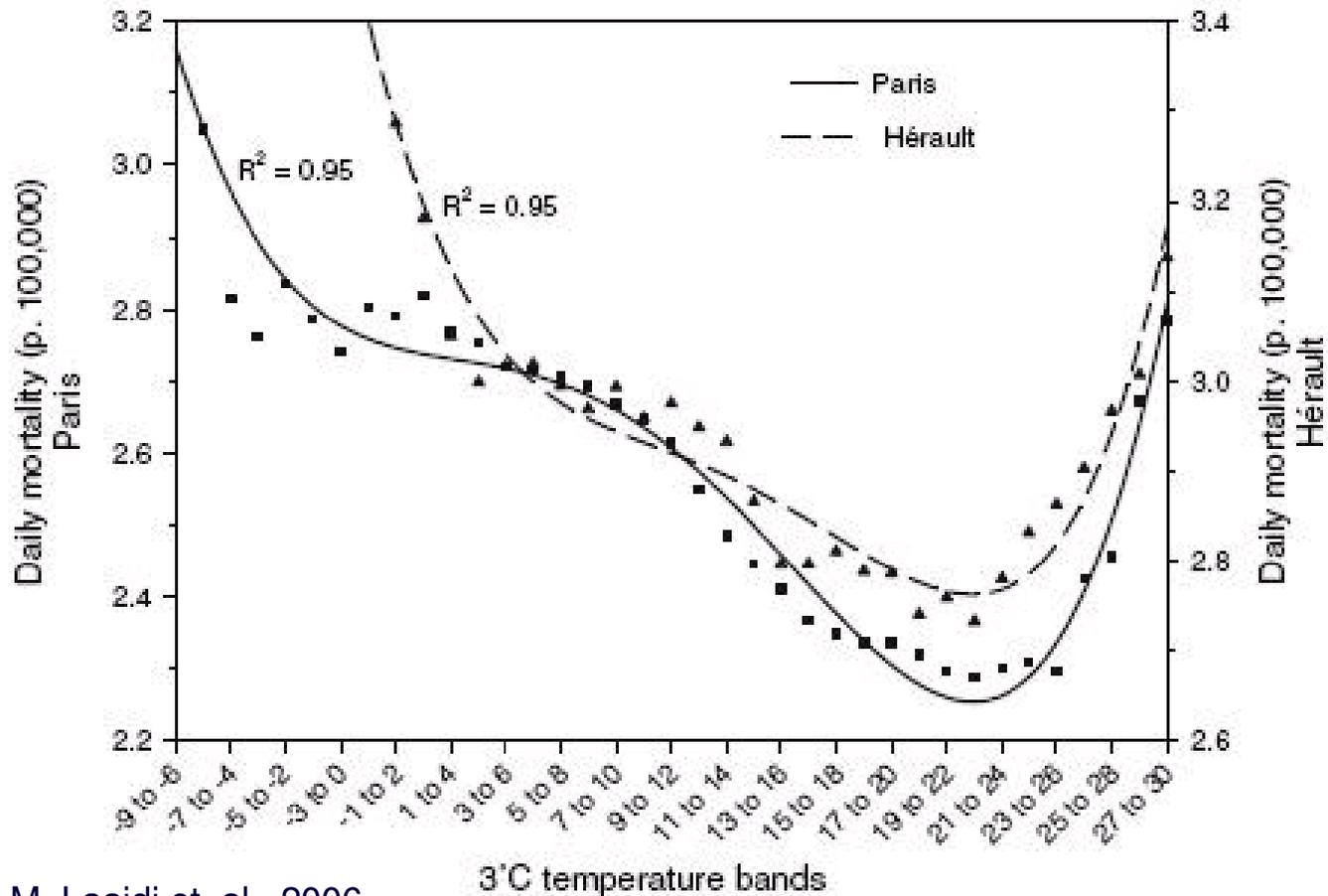
## Auswirkung eines wärmeren Klimas auf die menschliche Gesundheit

---

Trotz vieler anderslautender Darstellungen in den Medien hat ein wärmeres Klima allgemein positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit:

- In den meisten Klimaregionen der Welt haben Morbidität und Mortalität ein klares Maximum im Winter und nur ein sekundäres Maximum im Sommer
  - Eine Erwärmung von 2 – 3 °C führt zu einer deutlichen Verringerung der Winter Morbidität und Mortalität und nur zu einem relativ kleinen Anstieg der Sommer Mortalität und Morbidität; die Gesamtwirkung ist eine deutliche Minderung der Mortalität und Morbidität
  - Dies ist sogar in den heißen Regionen des Mittelmeerraumes und den Südstaaten der USA der Fall
  - Die Ausbreitung von Malaria und anderer tropischer Krankheiten durch eine Erwärmung ist eher fragwürdig, da hygienische Verhältnisse und nicht die Temperatur der ausschlaggebende Faktor für das Auftreten der Malaria und anderer tropischer Krankheiten sind
-

# Temperaturen und Mortalität in zwei Regionen Frankreichs



Quelle: M. Laaidi et. al., 2006

# Zusammenfassung

---

1. Treibhausgase erwärmen das Klima – grundlegende Physik
2. Relativ sicher ist die Erwärmung – unsicher ist das Ausmaß
3. Aber: Nur ein kleinerer Teil der Erwärmung der letzten 100 Jahre kann zweifelsfrei auf Treibhausgase zurückgeführt werden - natürliche Parameter, wie die Sonne, haben ebenfalls bedeutende Rolle gespielt
4. Und: Die beobachtete Erwärmung ist wesentlich kleiner als die mit Klimamodellen berechnete Erwärmung für den bislang beobachteten Treibhausgasanstieg
5. Deswegen: Es gibt keine belastbaren Argumente dafür, dass sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten drastisch erwärmen wird

- 
6. Auch wenn Treibhausgase für die gesamte Erwärmung der letzten 3 Jahrzehnte verantwortlich wären, würde eine Trendprojektion (unter der Annahme weiter exponentiell steigender CO<sub>2</sub>-Emissionen) in den nächsten 100 Jahren zu keiner größeren Erwärmung als etwa 1,5 – 2,0 °C führen
  7. Die Auswirkungen einer geringen Erwärmung werden klimageschichtlich eher positiv als negativ gesehen – eine „Klimakatastrophe“ wird es nicht geben
  8. Viele Klima und Wetterextreme werden in einem wärmeren Klima eher ab- als zunehmen – der Medienhype ist irreführend