



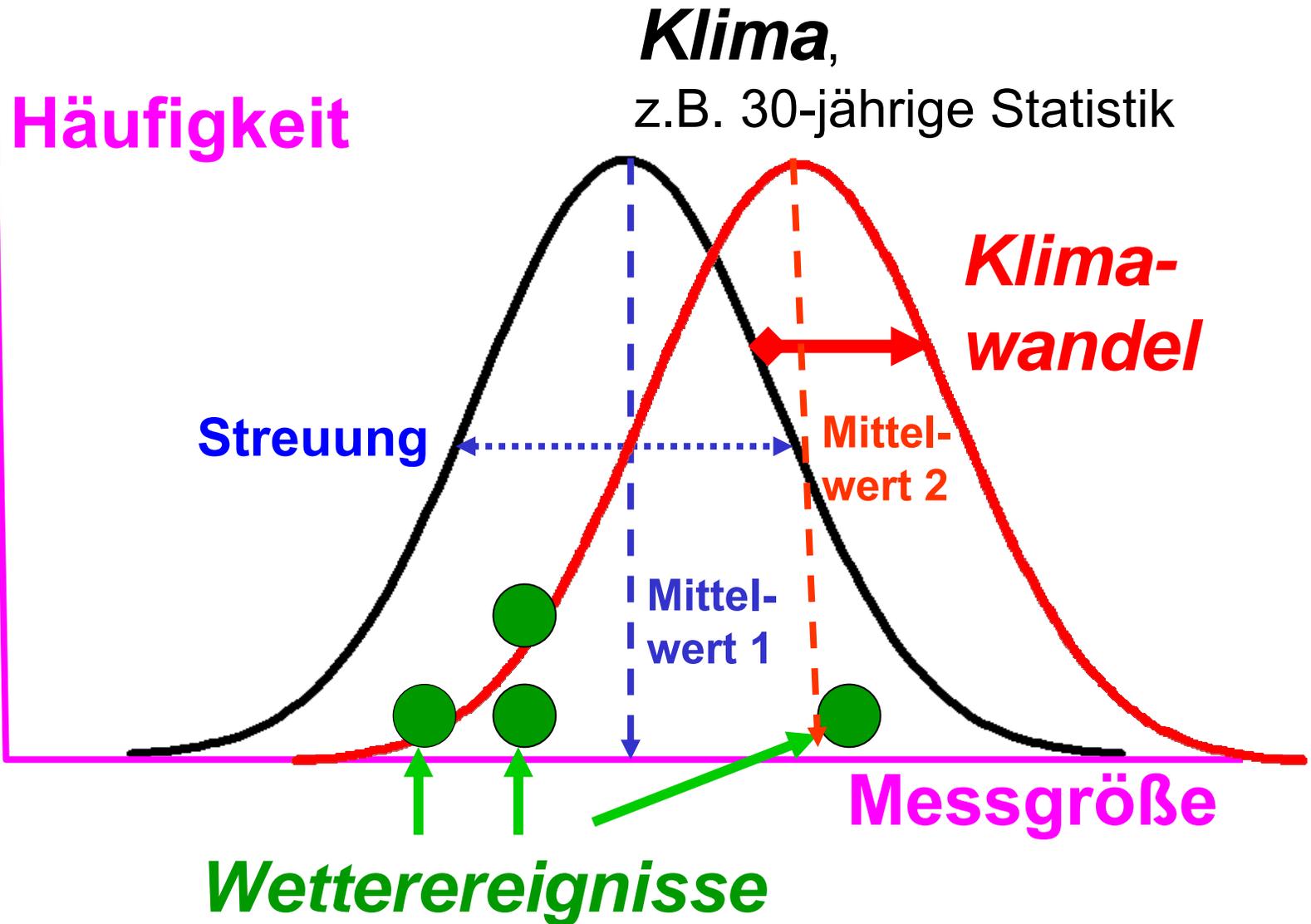
Globaler und regionaler Klimawandel im Industriezeitalter

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

Vortragsübersicht

- **Klimabegriff**
- **Klimainformationen**
- **Übersicht des globalen Klimawandels**
- **Klimawandel in Europa bzw. Deutschland**
- **Klimawandel und Extremereignisse**
- **Ursächliche Hypothesen (statistisch)**
- **Folgerungen**

Zur Unterscheidung von Wetter und Klima



Zeitskalen in der Meteorologie/Klimatologie

Beobachtungszeit	charakteristische Zeit	Zeitskala Jahre, u.a. Stunden	atmosphärische Phänomene
vorerrestrische Zeit		10^{14}	← Alter der Erde
paläoklimatologisch (vorhistorisch)	Klima	10^9 a → 10^{13}	← hypothetischer Zyklus der Eiszeitalter
		10^{12}	← Tertiär
		10^{11}	← Eiszeitalter
		10^6 a → 10^{10}	← Zyklus der Kalt- und Warmzeiten ("Eis- und Zwischeneiszeiten")
		10^9	← holozänes "Klimaoptimum"
neoklimatologisch	Klima	10^3 a → 10^7	← "Kleine Eiszeit"
		10^6	← Gletscherrückzug im 20. Jahrhundert
		10^5	← Sahel-Dürre
5000 a	historisch	a (= Jahr)	← kalter Winter
300 a			
30 a	modern*	mon (= Monat)	← Tiefdruckgebiete (Zyklone)
supra-synoptisch	Witterung	(= Monat)	← tropischer Wirbelsturm
**		d (= Tag)	← Schönwetterwolke (Cumulus)
subklimatologisch	Wetter	h (= Stunde)	← "Staubteufel"
		min (= Minute)	← Windbö
		s (= Sekunde)	← Hitzeflammern
subsynoptisch	Mikro-turbulenz		

Klimabegriff:

1. Klima ist die Statistik der Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag ...) über eine relativ große Zeitspanne (i.a. mindestens 30 Jahre; WMO*).
2. Klima betrifft Langzeitzustände der Atmosphäre (Skala nach oben offen).

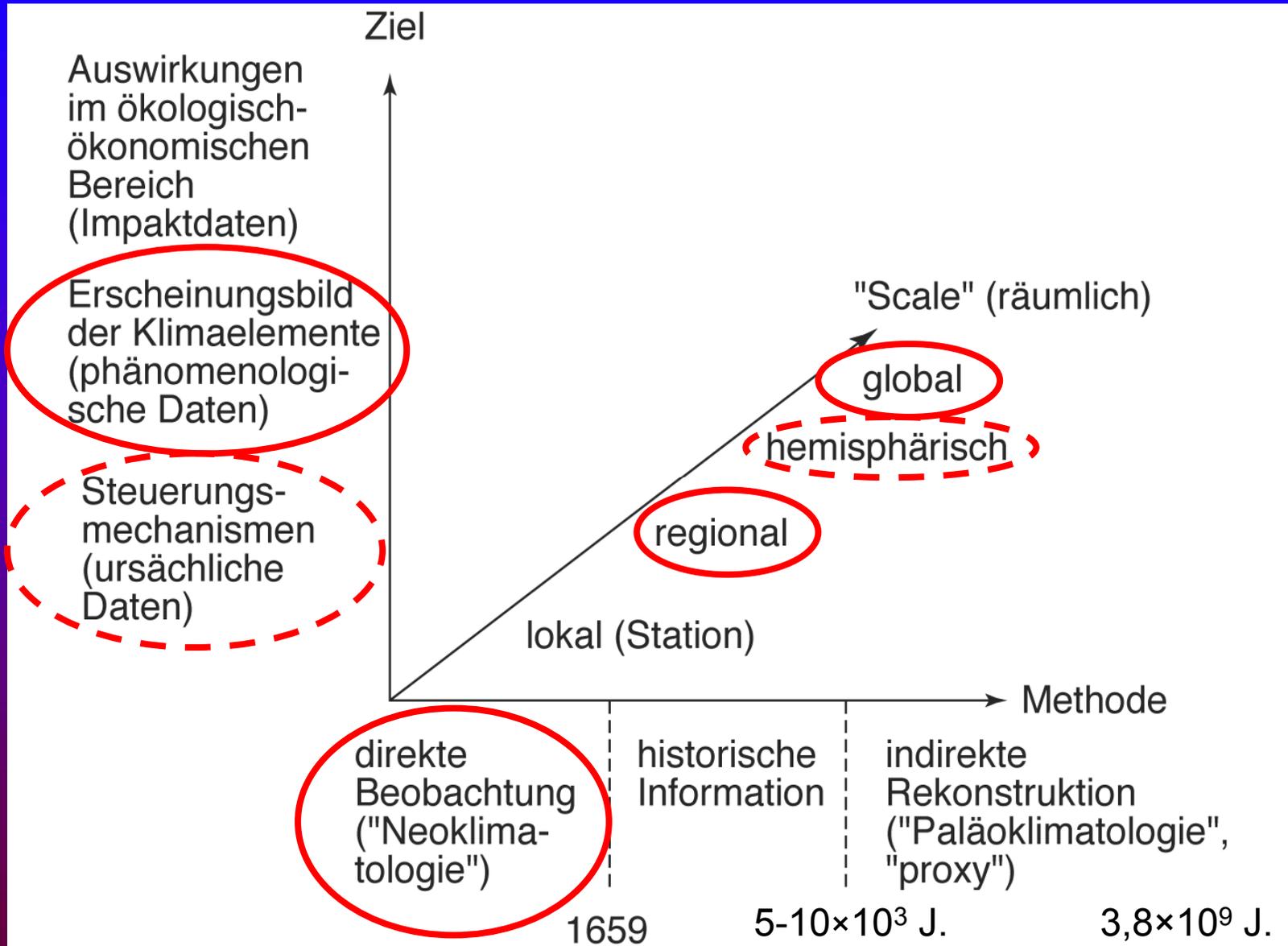
*) Weltmeteorolog. Org., UN)

* auch instrumentelle Epoche (direkte Messung der Klimadaten)

** theoretische obere Grenze der Vorhersagbarkeit des Wetters

Schönwiese, 2008

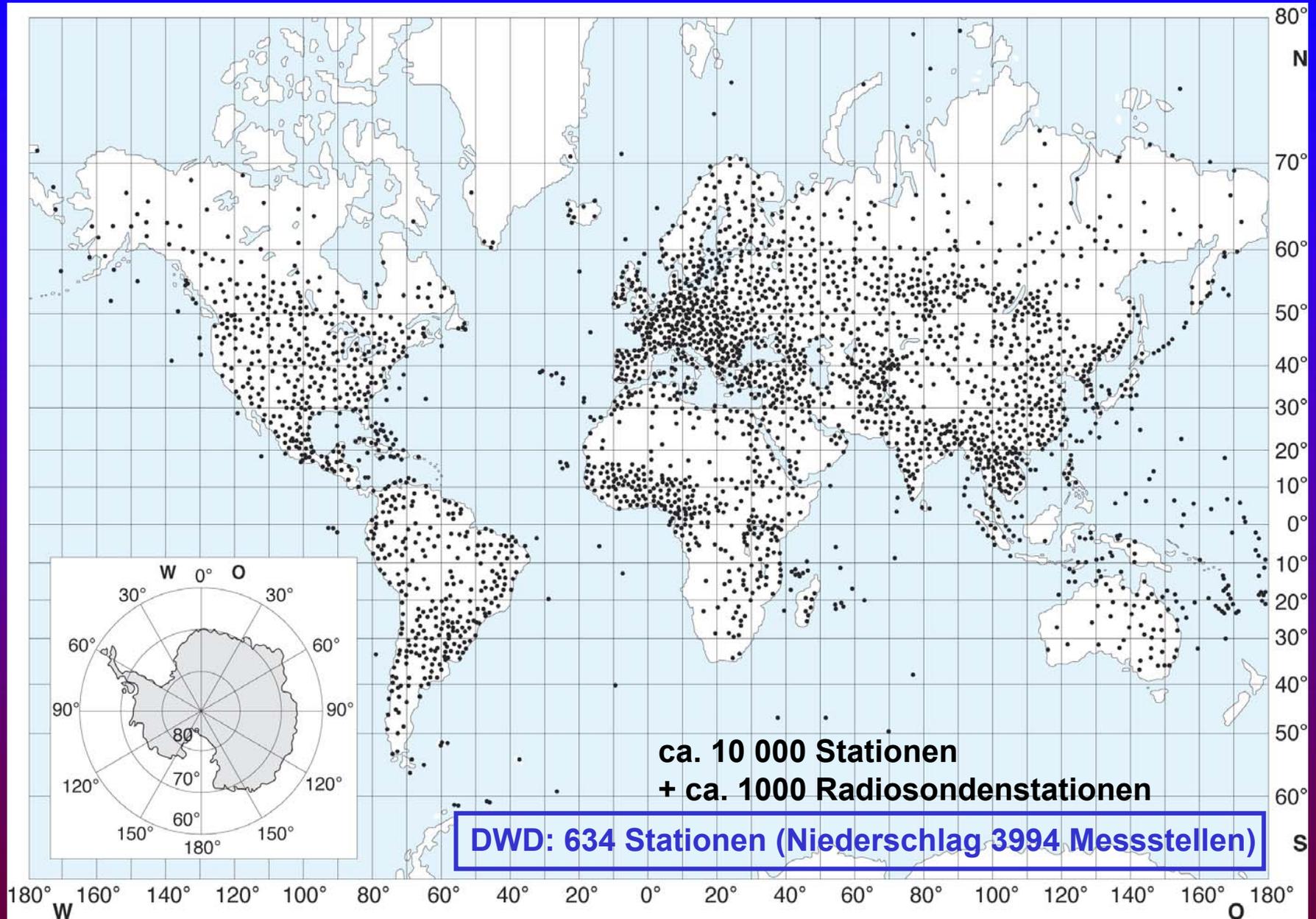
Die „Dimensionen“ der Klimainformationen (Daten)



Zur historischen Entwicklung der neoklimatologischen Informationen

- **1659: Beginn der längsten Messreihe (Temperatur-Monatswerte „Zentral-England“)**
- **1761: Beginn der „Deutschland“-Temperaturreihe**
- **1780/81: Einrichtung des ersten internat. Messnetzes (Societas Meteorologica Palatina, 39 Stationen)**
- **Um 1850: Weltweit ca. 300 Beobachtungsstationen**
- **1863: Gründung des ersten nat. Wetterdienstes (Frankr.)**
- **1872: Gründung der Internat. Meteorolog. Organisation (IMO, seit 1950 Weltmeteorolog. Org., WMO)**
- **1901: Erster Wetterballonaufstieg (R. Aßmann)**
- **1938: Erste praktikable Radiosonde (unbemannter Ballon mit Funkübertragung der Messdaten)**
- **Ab ca. 1950: Globales Radiosonden-Messnetz**

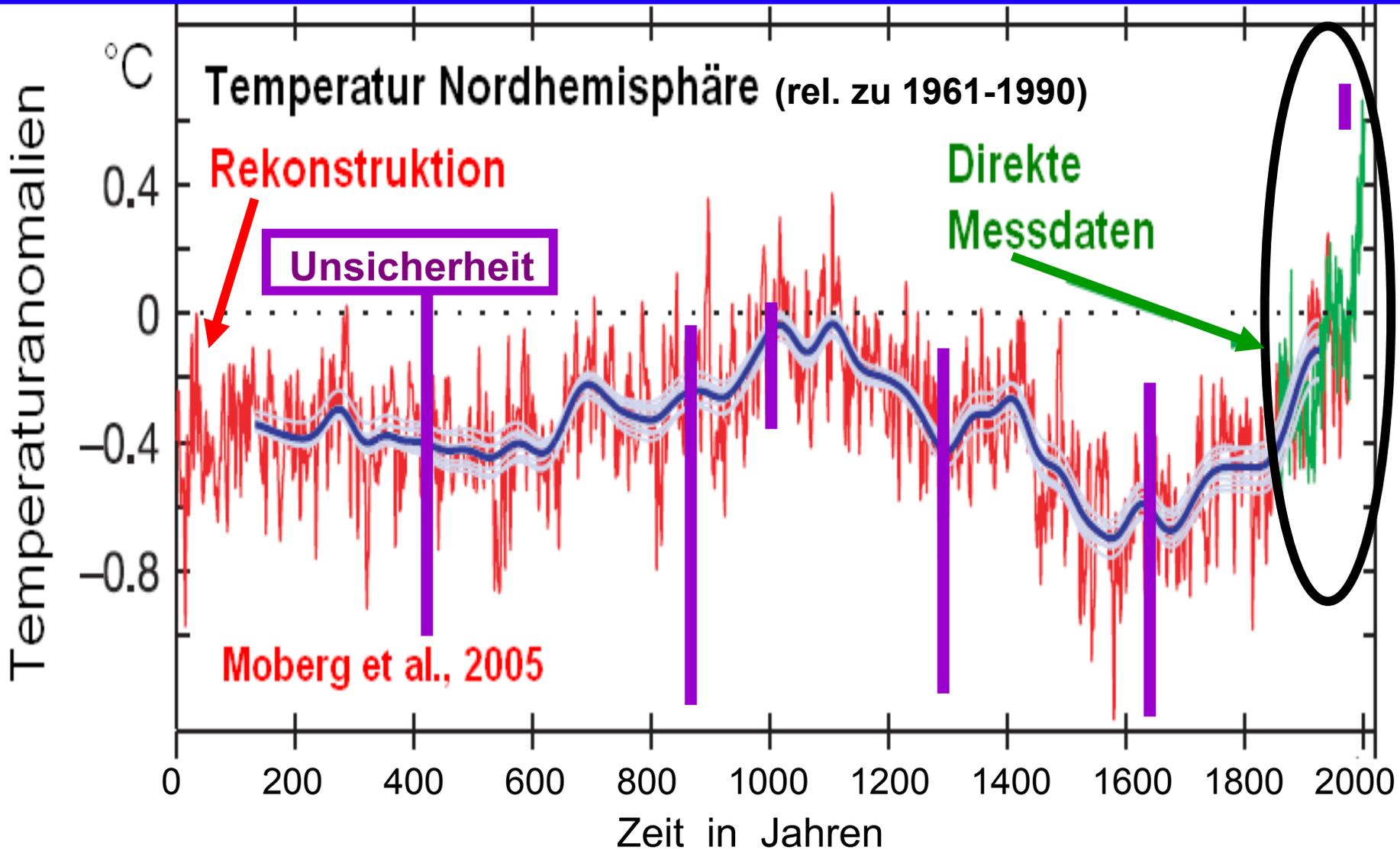
Globales Beobachtungsnetz für bodennahe atmosphär. Daten



Probleme der Neoklimatologie

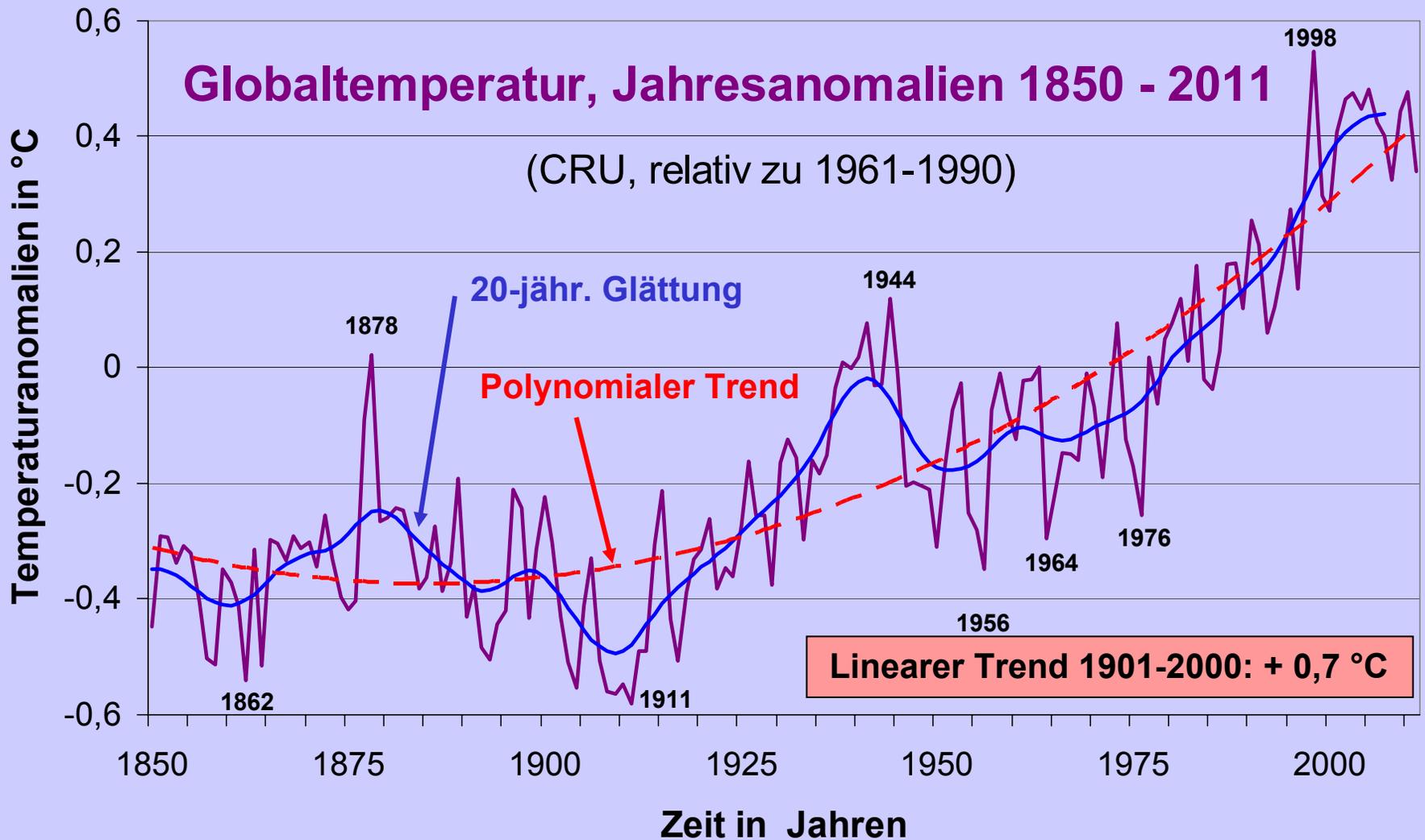
- Die Neoklimatologie beinhaltet zwar den enormen Vorteil, *direkt gemessene* und somit besonders *zuverlässige* Daten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bereitzustellen. Trotzdem gibt es einige *Probleme*:
 - *Messfehler* (bei Temperatur gering, beim Niederschlag ggf. erheblich, z.B. auf See oder Schneefall bei Wind).
 - *Inhomogenitäten* der Messreihen (durch Wechsel der Messgeräte bzw. deren Handhabung, Stationsverlegungen und Veränderungen im Umfeld der Stationen, einschließlich „Stadteffekt“).
 - *Repräsentanz* der Messdaten, zeitlich und insbesondere räumlich, die bei den einzelnen Messgrößen sehr unterschiedlich ist und bei der Dichte der Messnetze berücksichtigt werden muss. Dies ist u.a. wichtig bei der Abschätzung von flächenbezogenen Mittelwerten (durch geeignete Interpolations-Algorithmen).

Klimawandel der letzten ca. 2000 Jahre



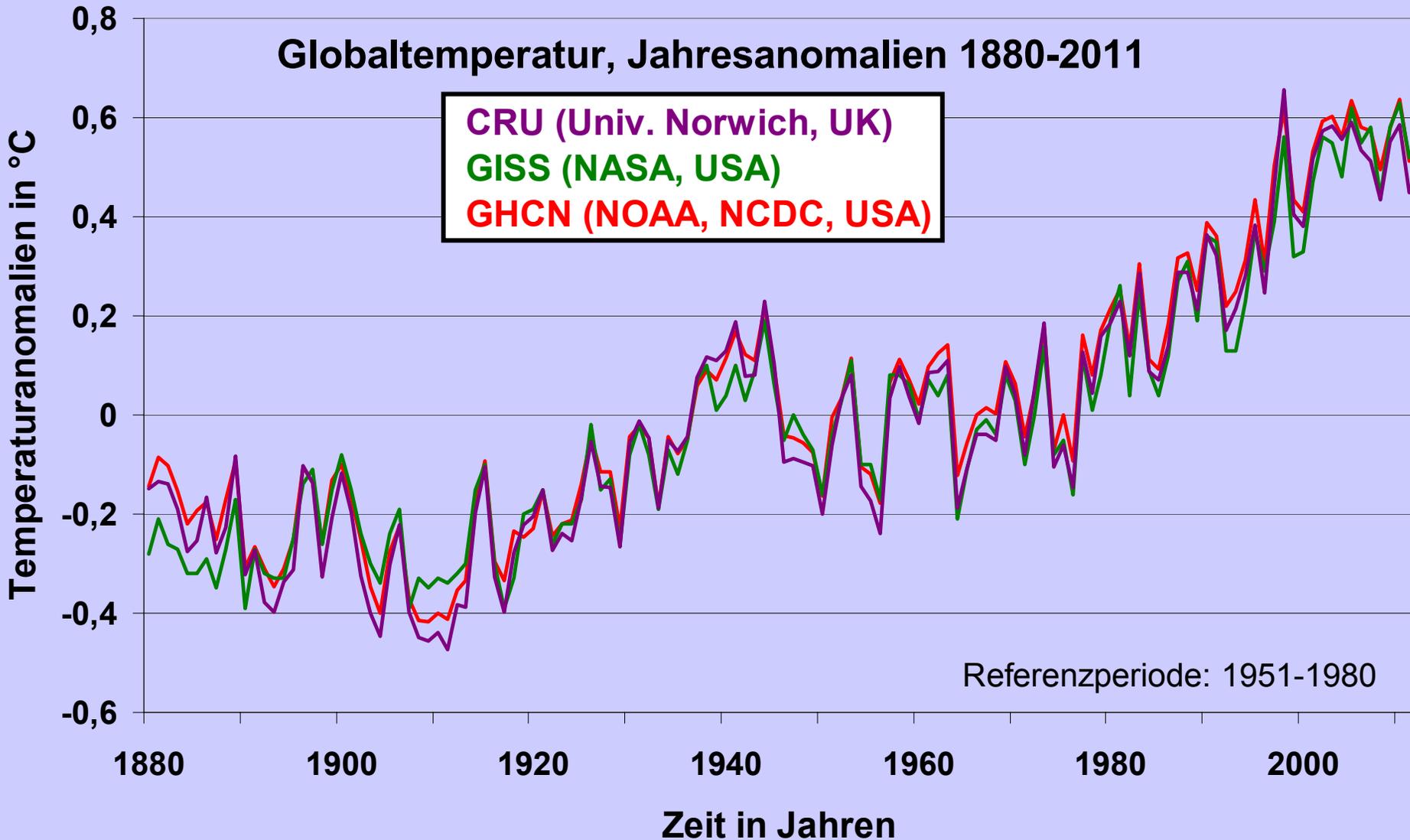
Dazu gibt es 11 Alternativen → Balkenbereich (Unsicherheit; IPCC, 2007)

Klimawandel der letzten ca. 160 Jahre



CRU: Climatic Research Unit, University of Norwich, UK; aktuell 5583 Stationen

Globaltemperatur, Jahresanomalien 1880-2011



Aktuelle Stationsbasis: CRU 5583, GISS ca. 6300, GHCN 7280 Stationen

GISS: Goddard Institute for Space Studies; GHCN: Global Historical Climate Network, NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration, NCDC: National Climate Data Center

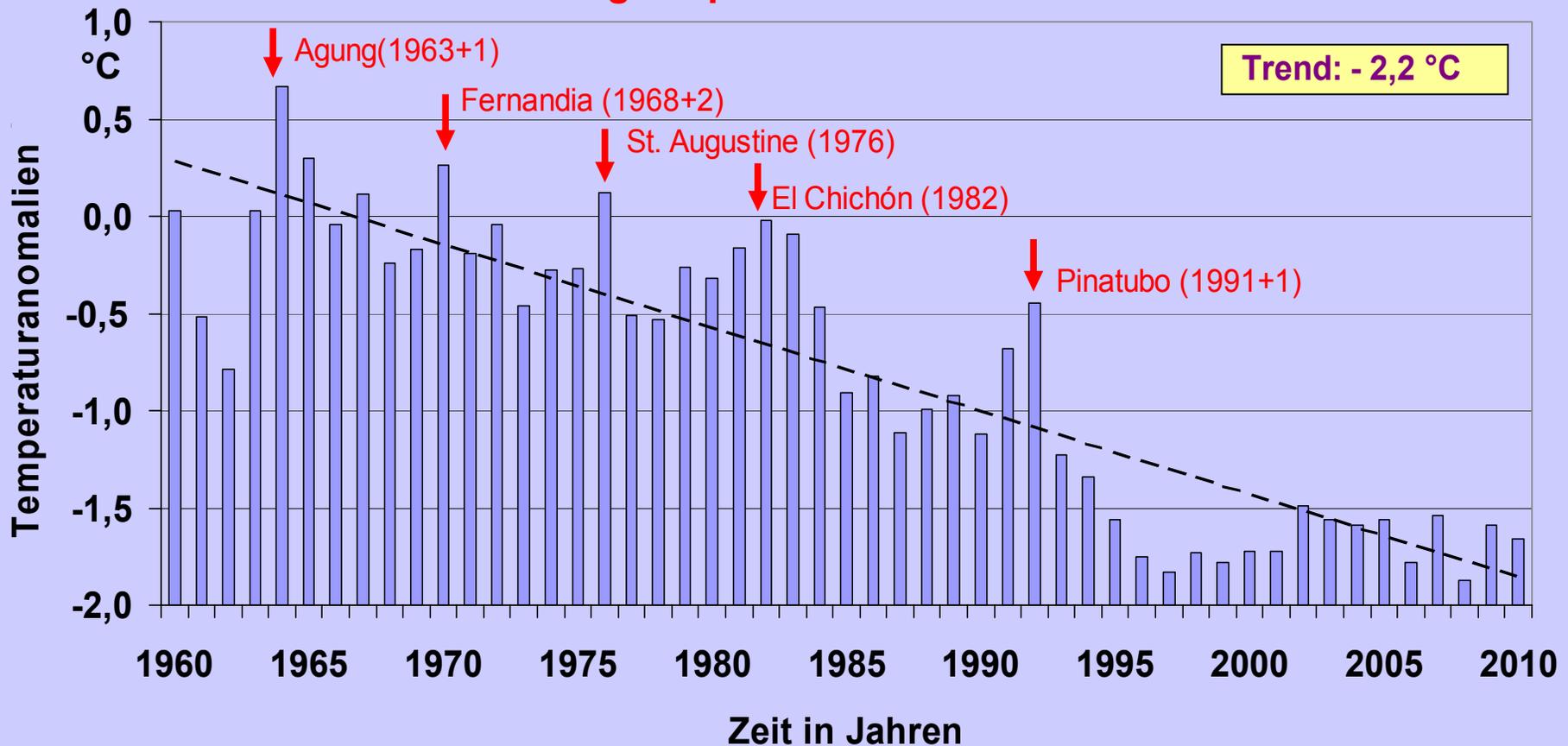
Ein Blick in die Stratosphäre

Globaltemperatur Stratosphäre

(100-30 hPa, entspr. 16-24 km Höhe)

Anomalien 1960 - 2010 (relativ zu 1958 - 1977)

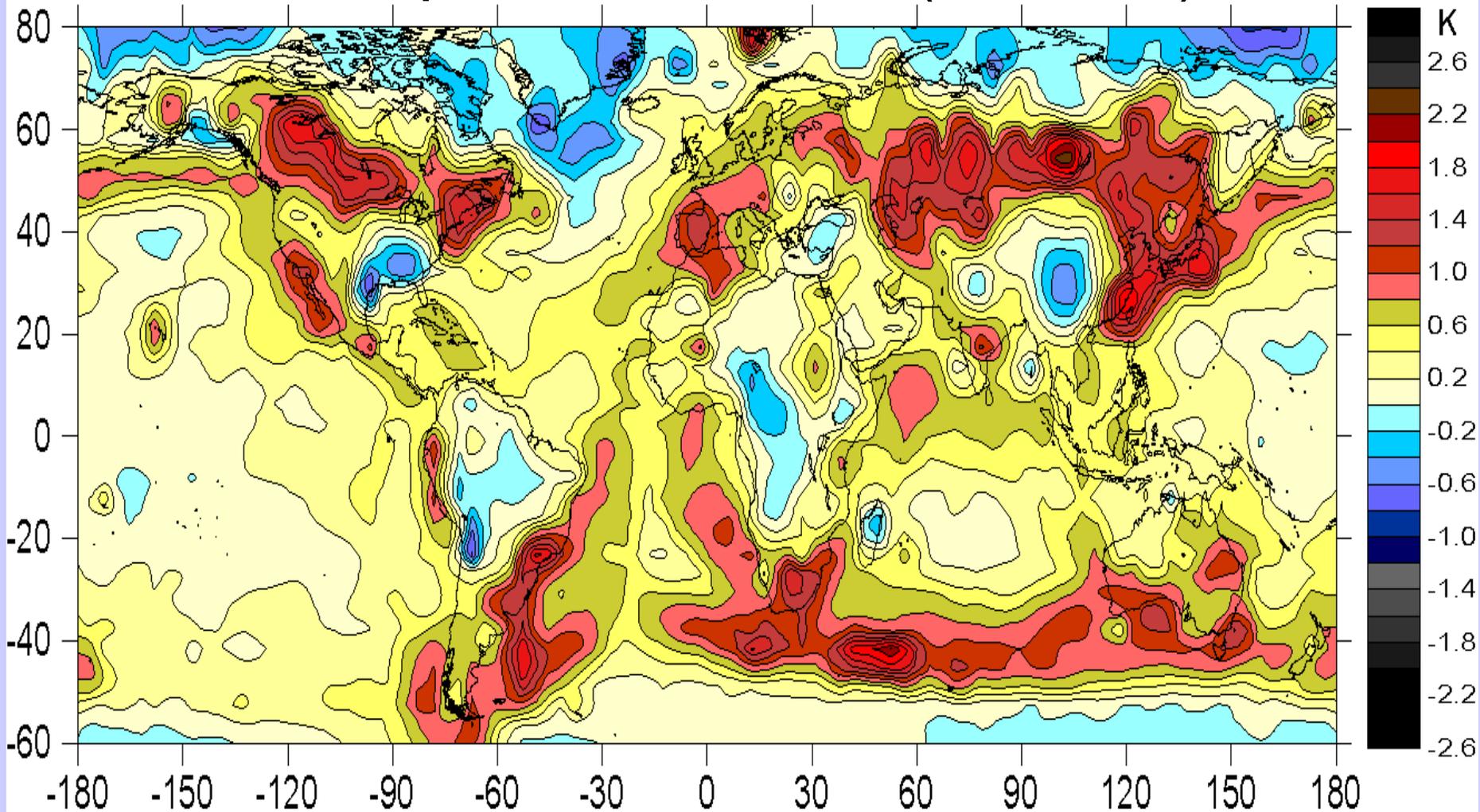
und einige explosive Vulkanausbrüche



Datenquelle: Angell, 2011

Regionale Aspekte des Klimawandels

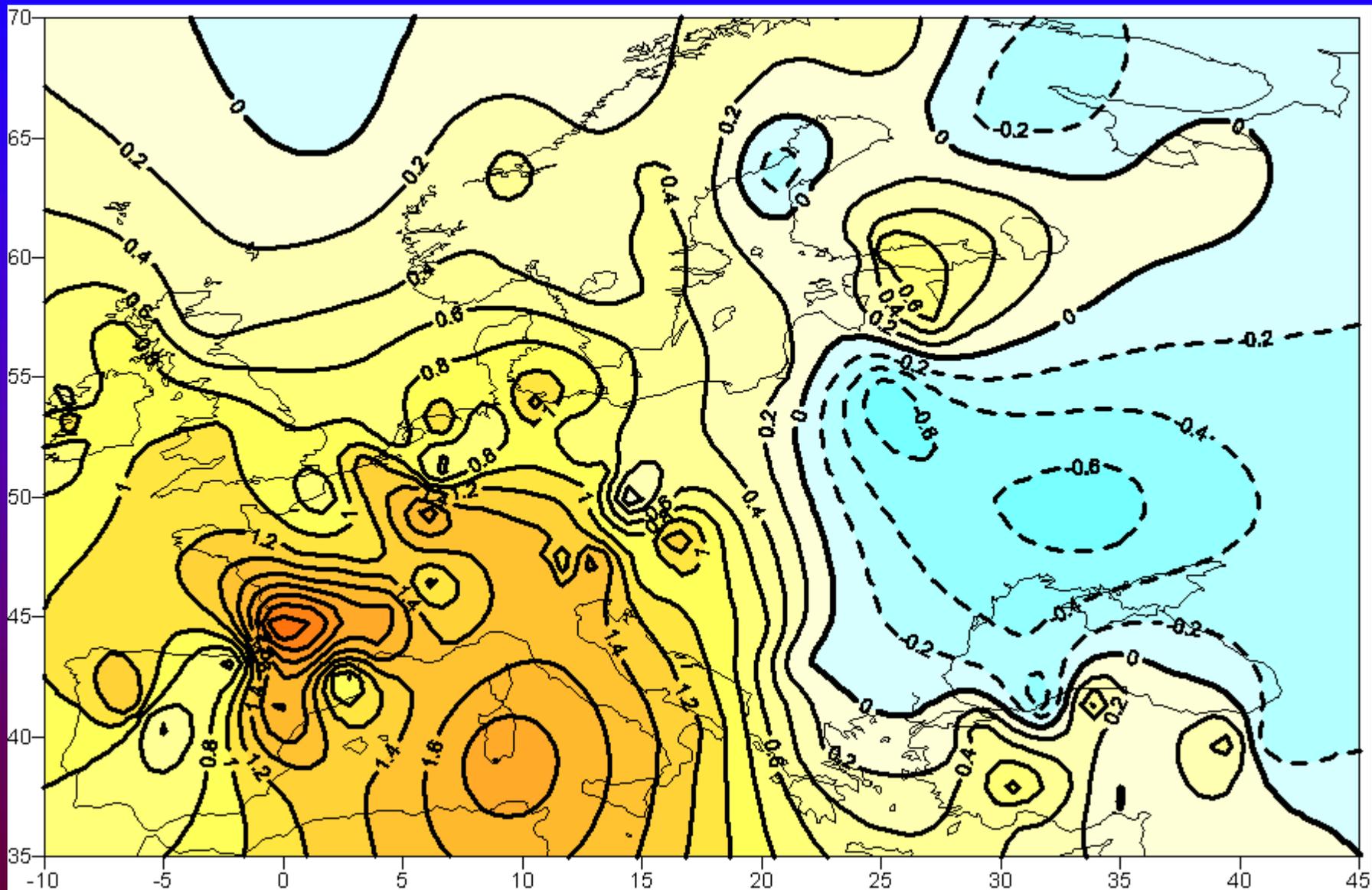
Temperatortrends 1901-2000 (Jahreswerte)



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

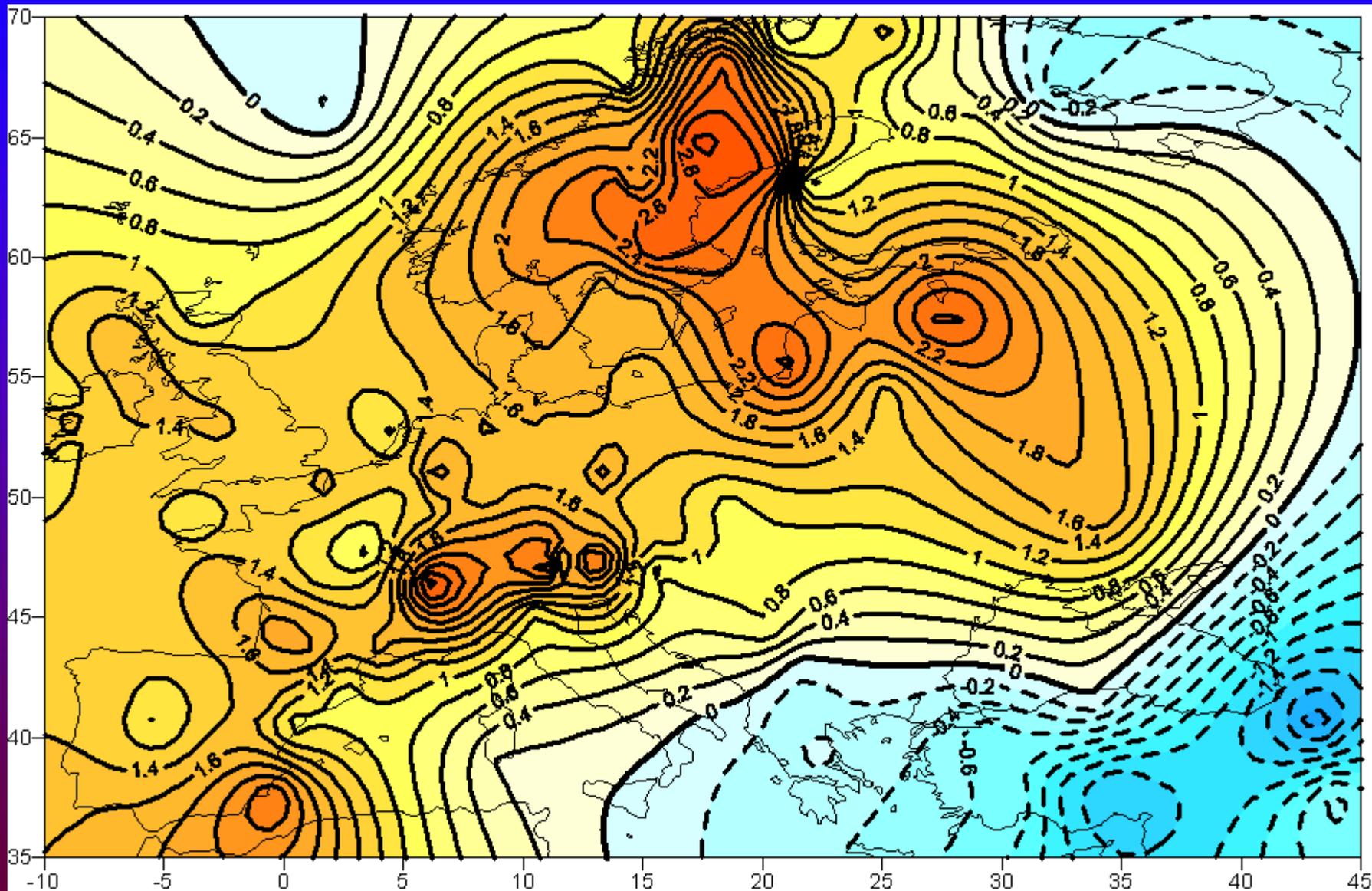
Klimatrends Europa 1951-2000

Temperatur in K Sommer

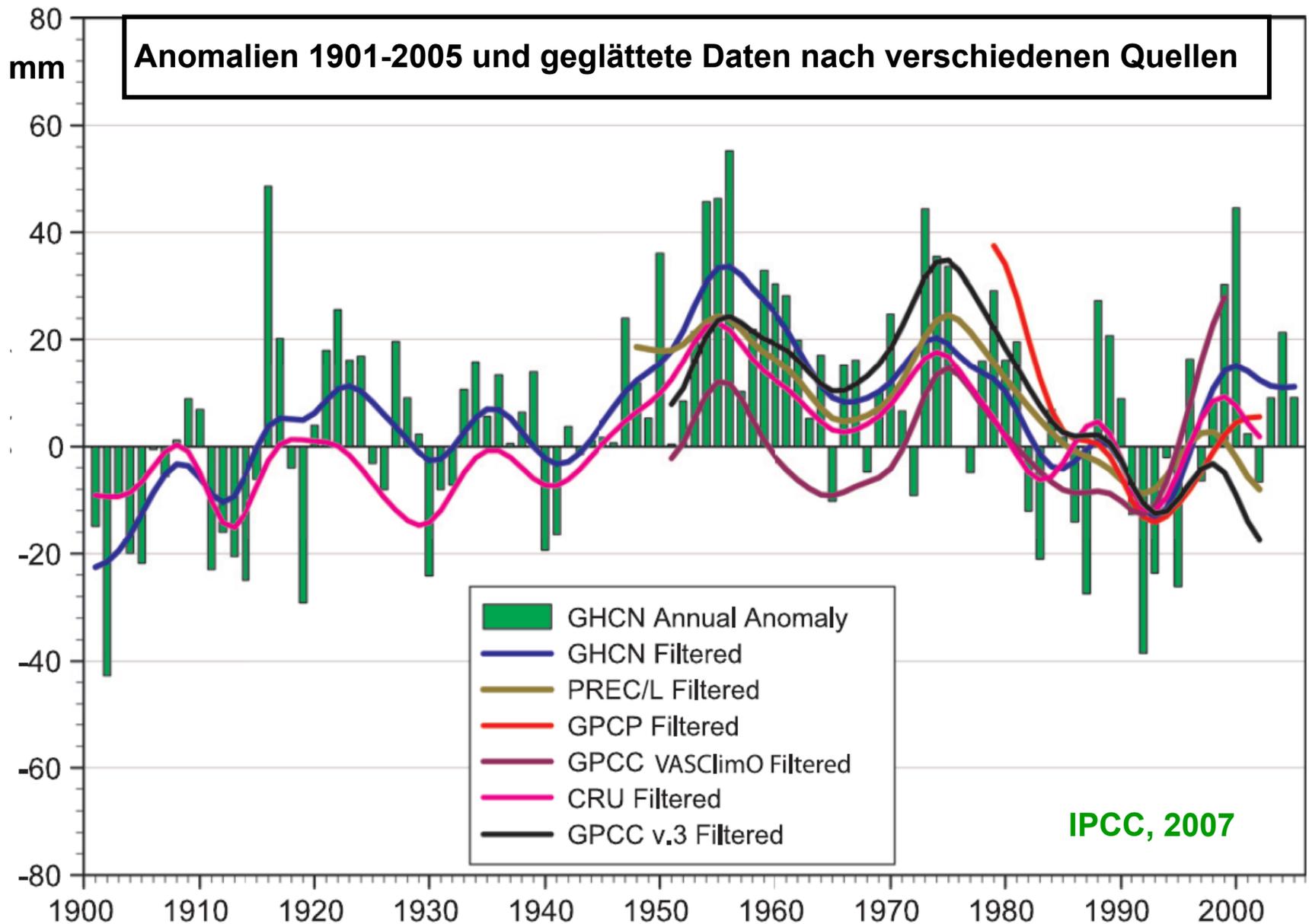


Klimatrends Europa 1951-2000

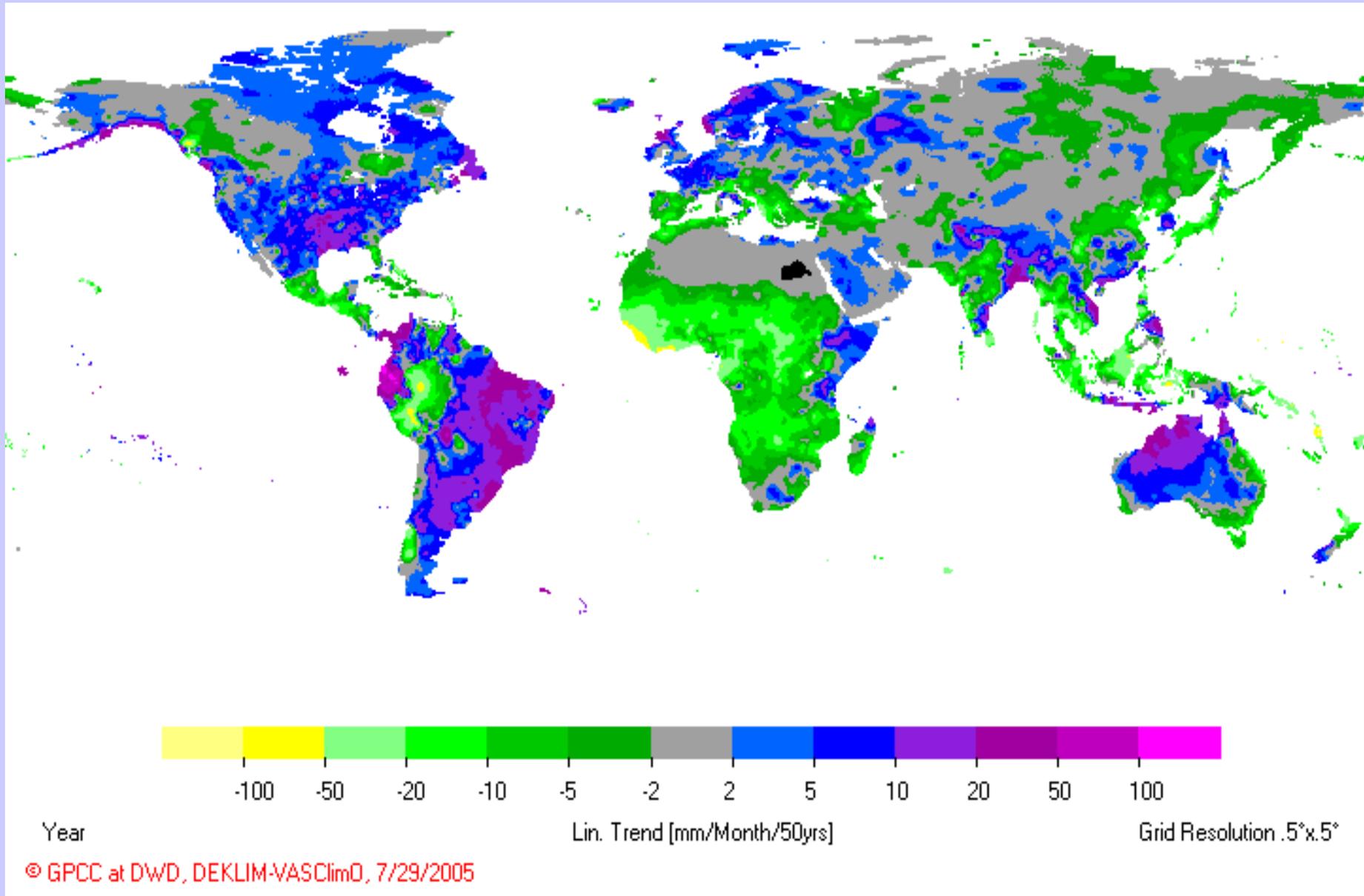
Temperatur in K Winter



Jährl. Niederschlagsanomalien der Landgebiete



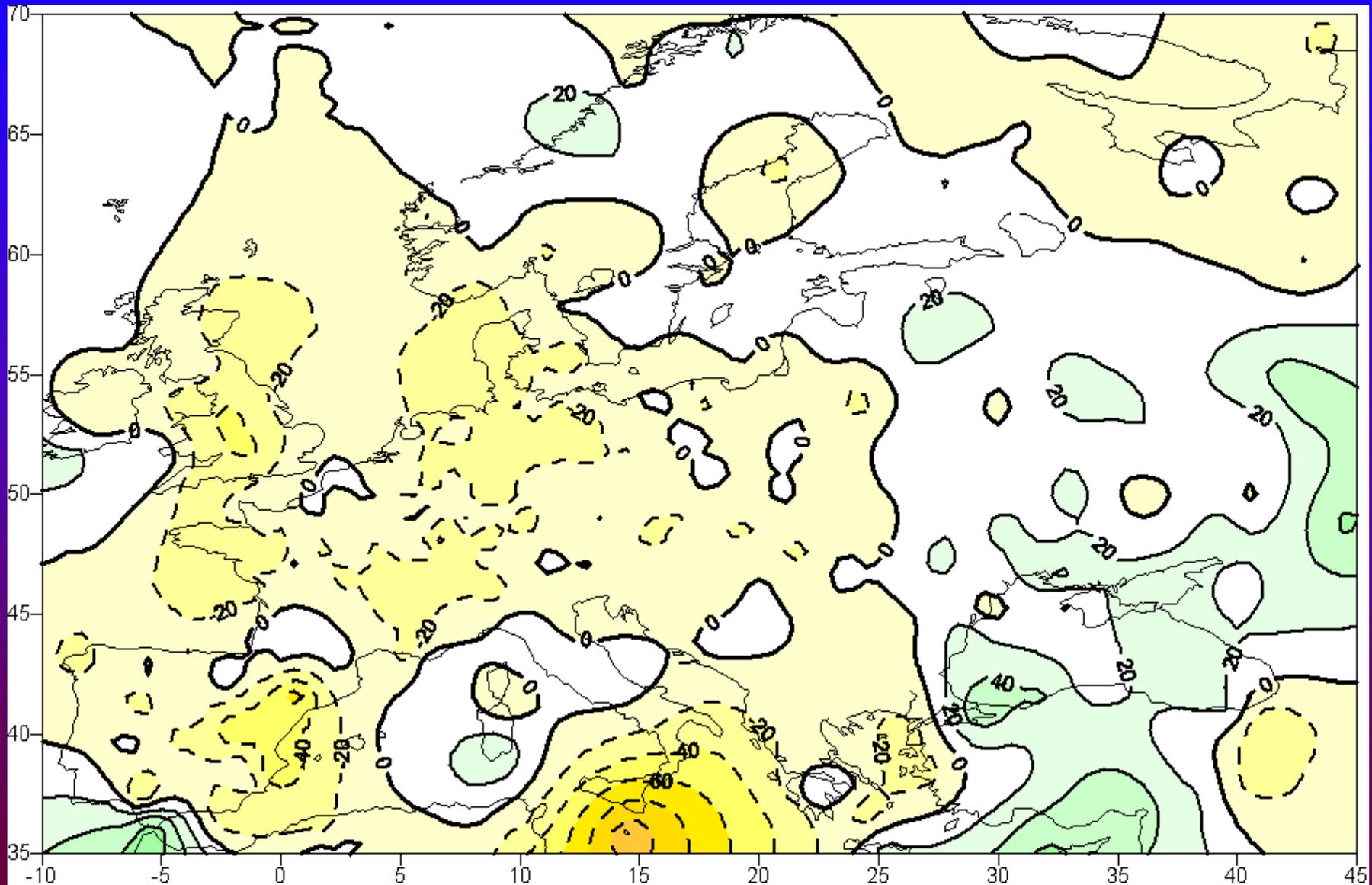
Absoluter Niederschlagstrend (mm) 1951-2000



Beck, Grieser, Rudolf, Schönwiese, Staeger, Trömel, 2007

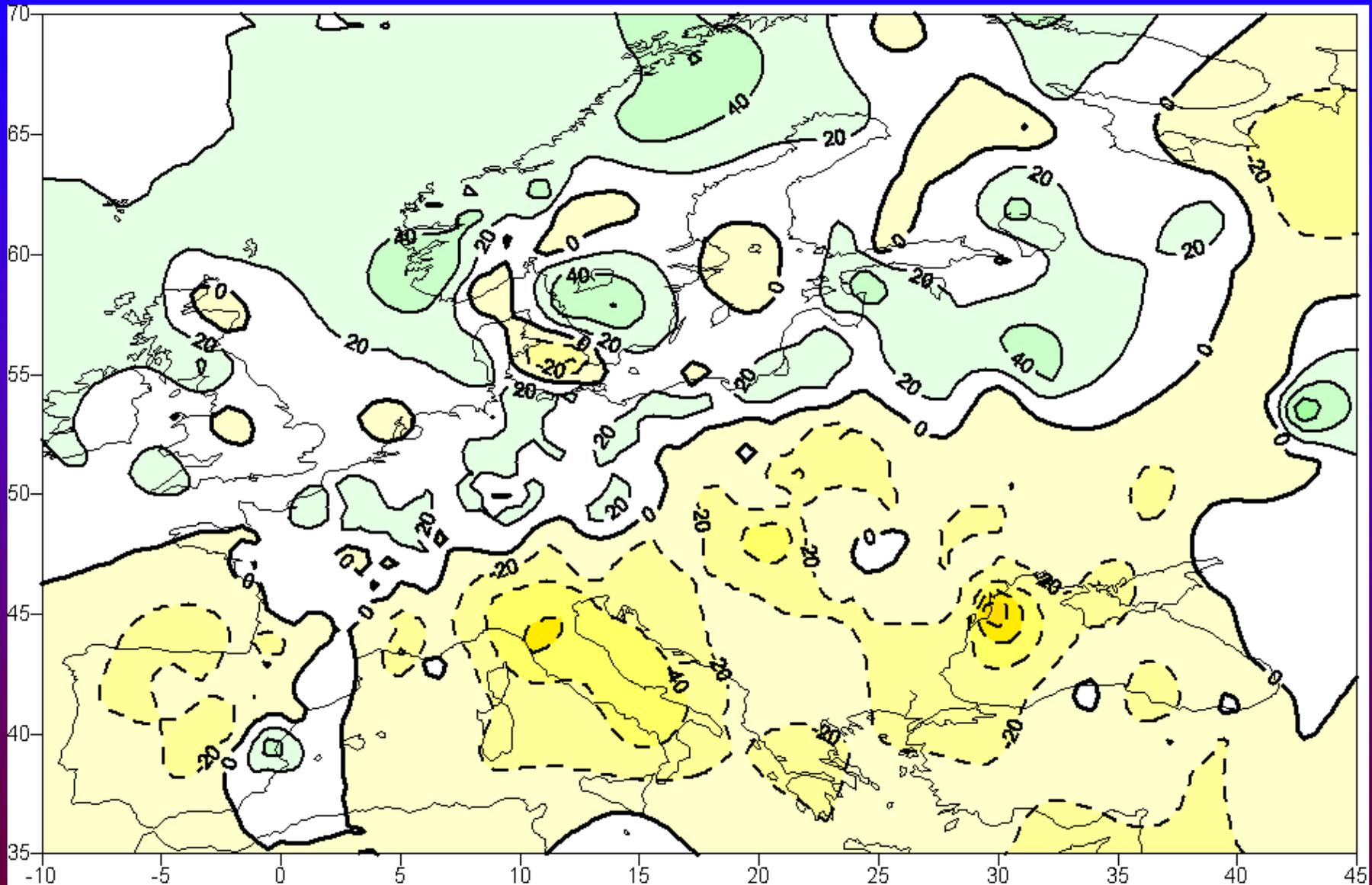
Klimatrends Europa 1951-2000

Niederschlag in % Sommer



Klimatrends Europa 1951-2000

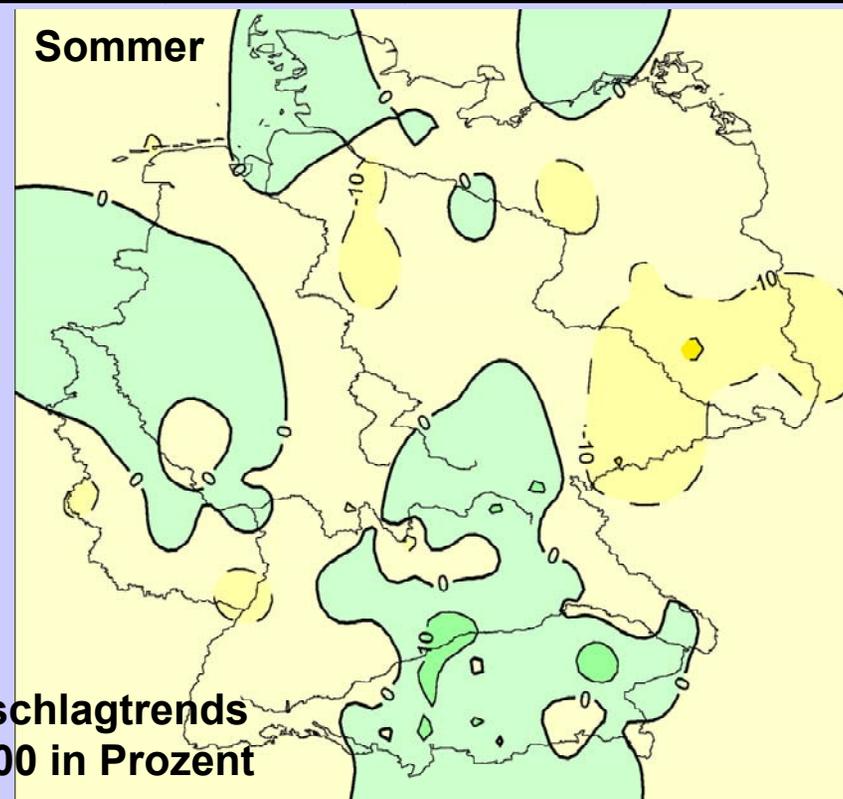
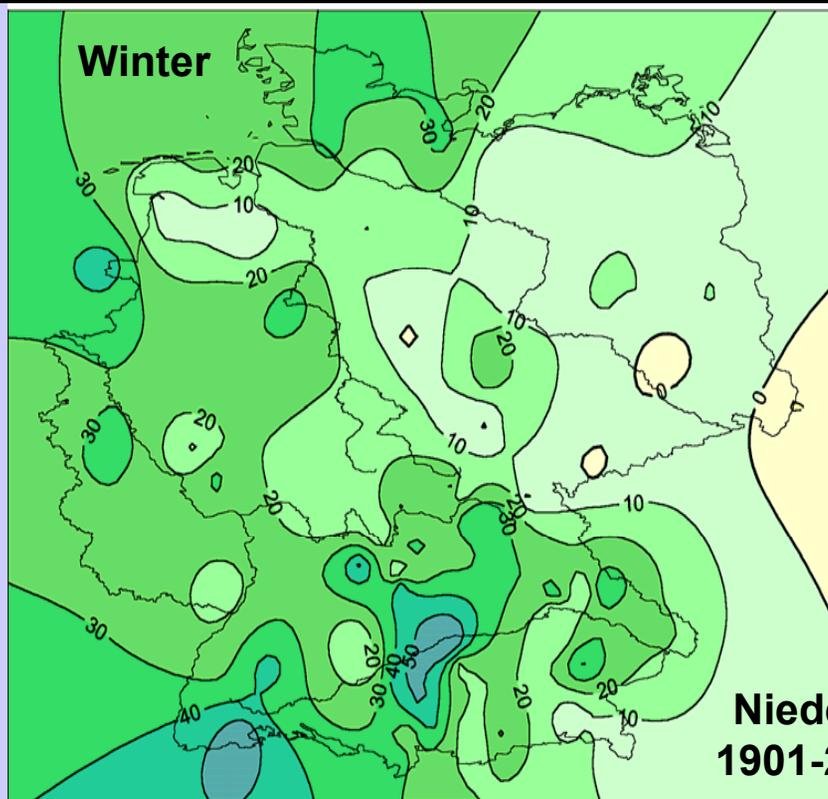
Niederschlag in % Winter



Übersicht der jahreszeitlichen Klimatrends in Deutschland

(Flächenmittelwerte, nach Schönwiese und Janoschitz, 2005)

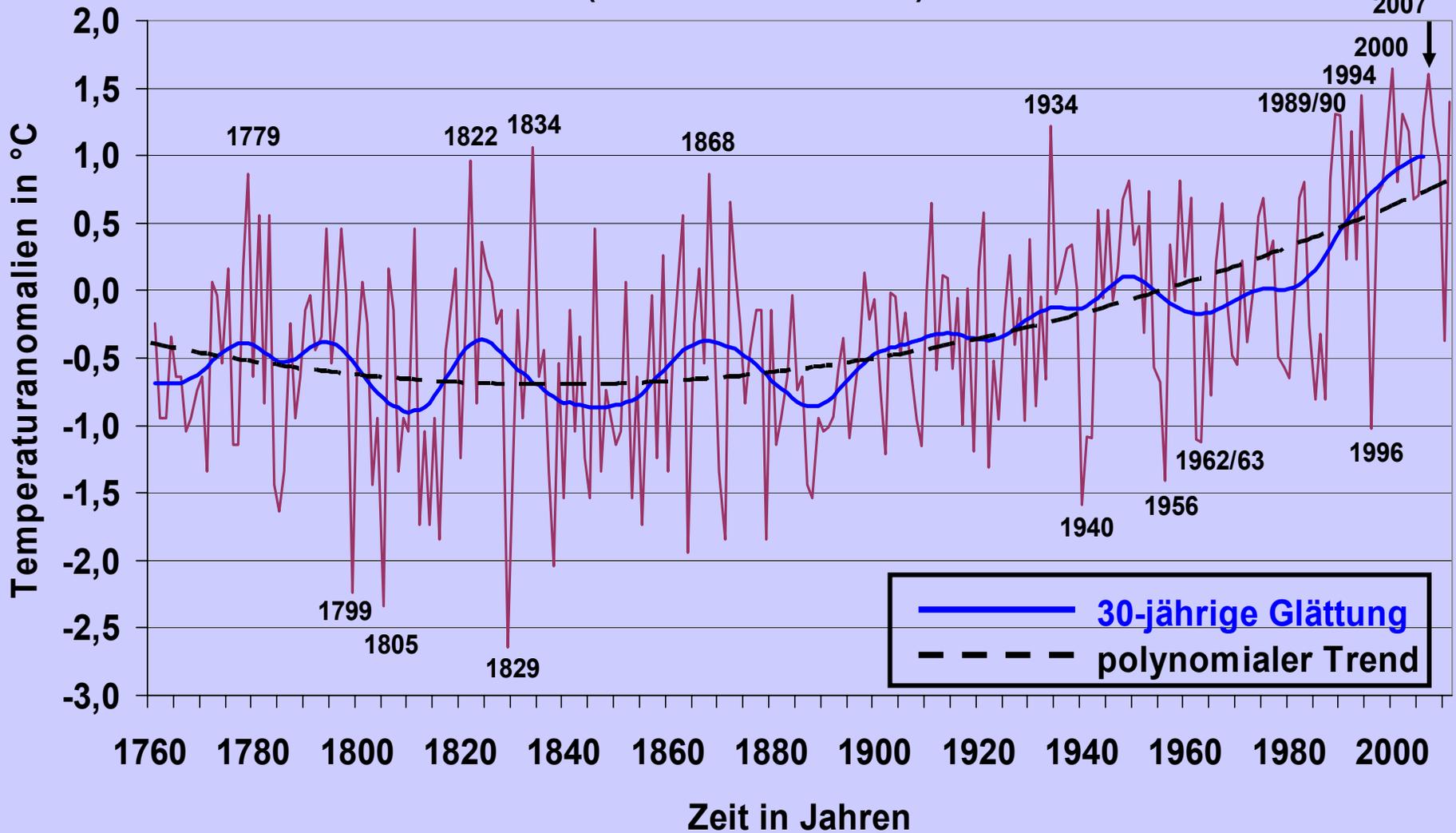
Klimaelement, Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur, 1901 – 2000	+ 0,8 °C	+ 1,0 °C	+ 1,1 °C	+ 0,8 °C	+ 1,0 °C
1951 – 2000	+ 1,4 °C	+ 0,9 °C	+ 0,2 °C	+ 1,6 °C	+ 1,0 °C
Niederschlag, 1901 – 2000	+ 13 %	- 3 %	+ 9 %	+ 19 %	+ 9 %
1951 – 2000	+ 14 %	- 16 %	+ 18 %	+ 19 %	+ 6 %



**Niederschlagstrends
1901-2000 in Prozent**

Deutschland-Temperatur, Jahresanomalien 1761-2011

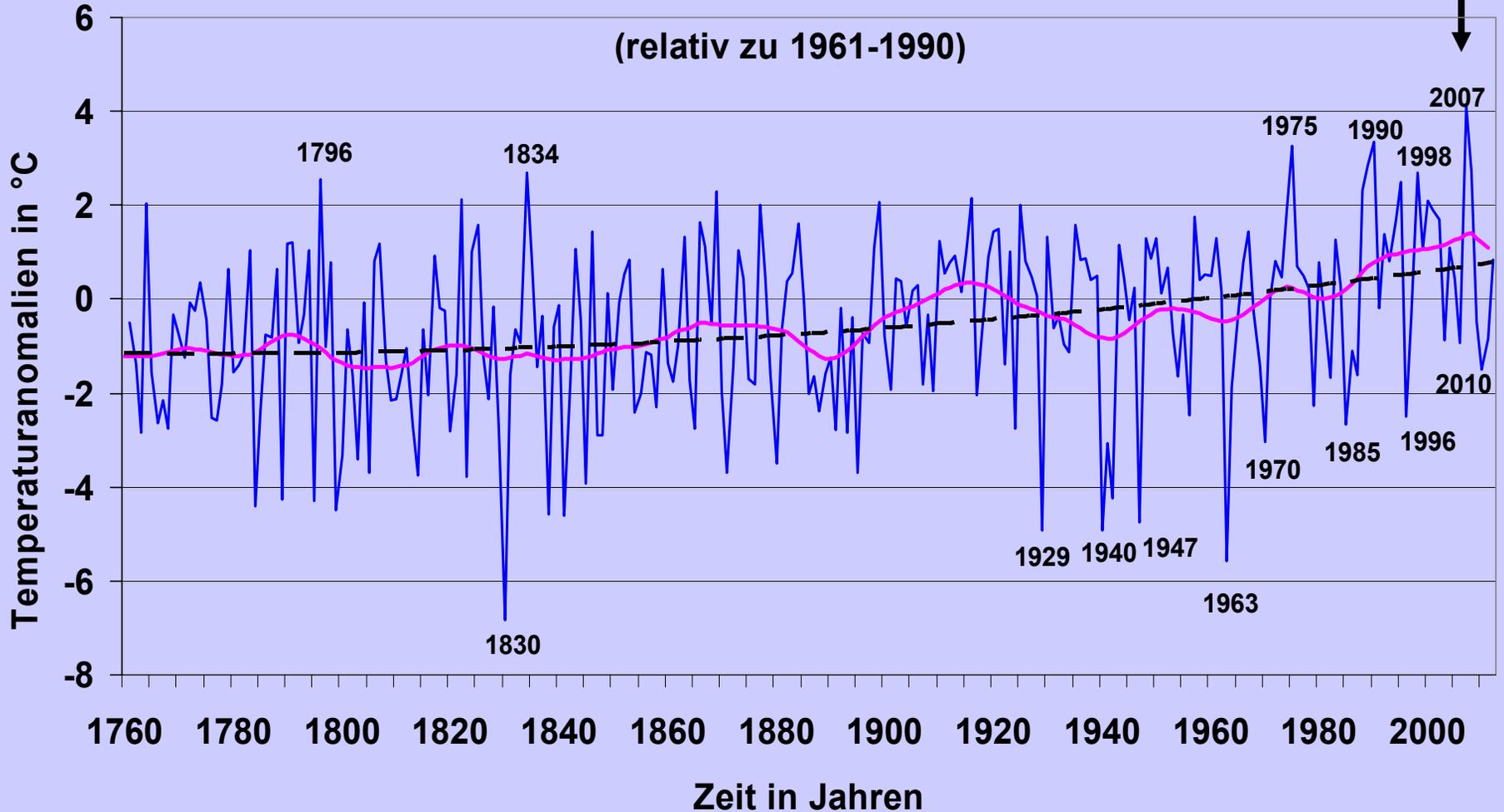
(relativ zu 1961-1990) *



Datenquelle:
Rapp, 2000; DWD;
Analyse:
Schönwiese

Mittelwert (1961-1990): 8,3 °C; 2000, 2007: 9,9 °C

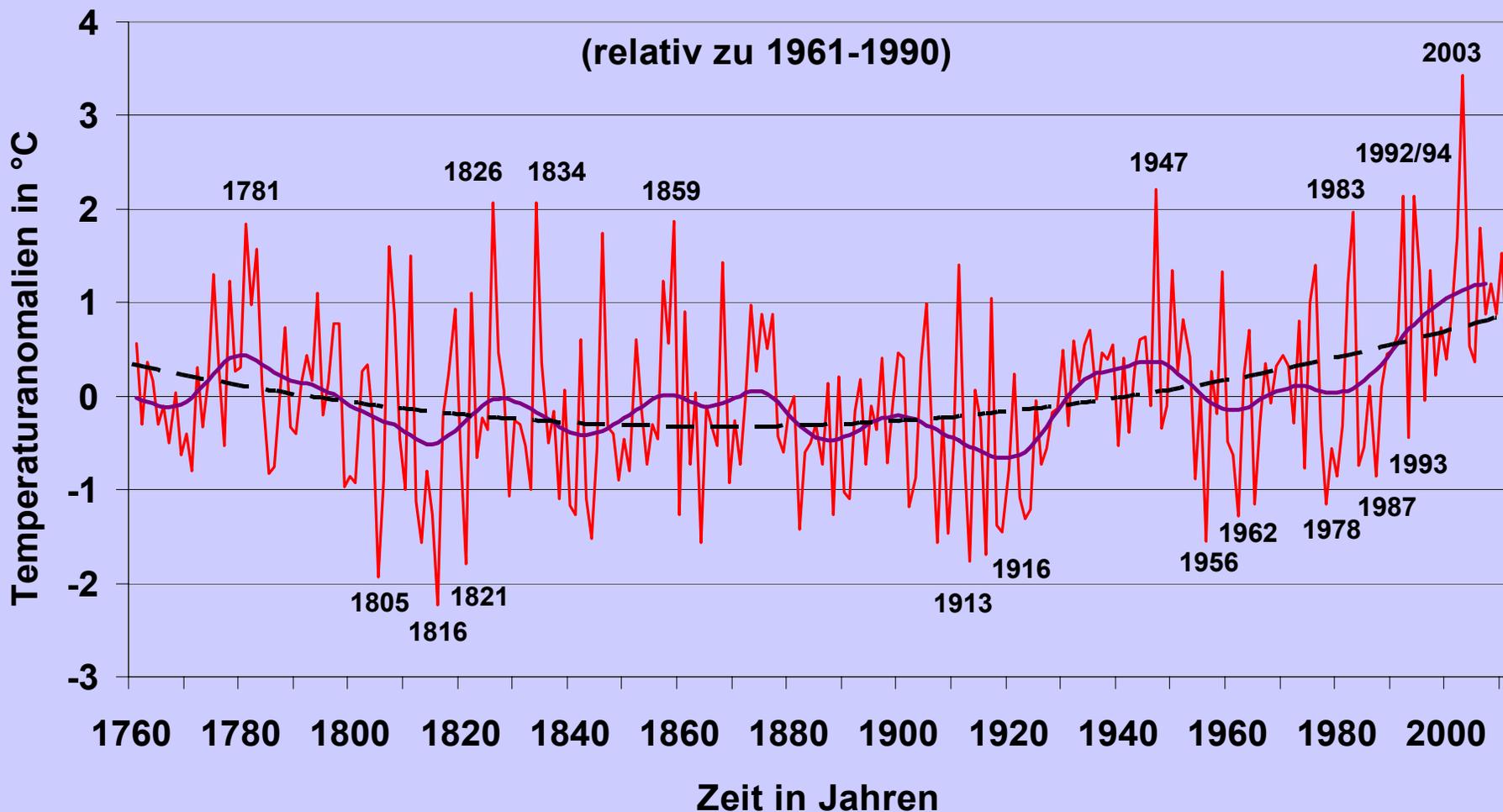
Deutschland-Temperatur, Winteranomalien 1761-2012



Datenquelle: Rapp,
2000; DWD; Analyse:
Schönwiese

Mittelwert (1961-1990): 0,2 °C: 2006/07: 4,3 °C

Deutschland-Temperatur, Sommeranomalien 1761-2011



Datenquelle: Rapp,
2000; DWD; Analyse:
Schönwiese

Mittelwert (1961-1990): 16,2 °C; 2003: 19,6 °C

Auswirkungen des Klimawandels

- **Kryosphäre (Meereis, Landeis, Gebirgsgletscher)**
- **Meeresspiegelhöhe**
- **Wasserversorgung (Menge und Qualität)**
- **Ökosysteme und Biodiversität**
- **Landwirtschaft (Erträge)**
- **Forstwirtschaft, Fischerei, ...**
- **Gesundheit**
- **Todesfälle und ökonomische Schäden durch Extremereignisse**

Wird das Klima extremer?



Dresden,
Aug. 2002



Düsseldorf, Aug. 2003

Münchener Rück
Munich Re Group



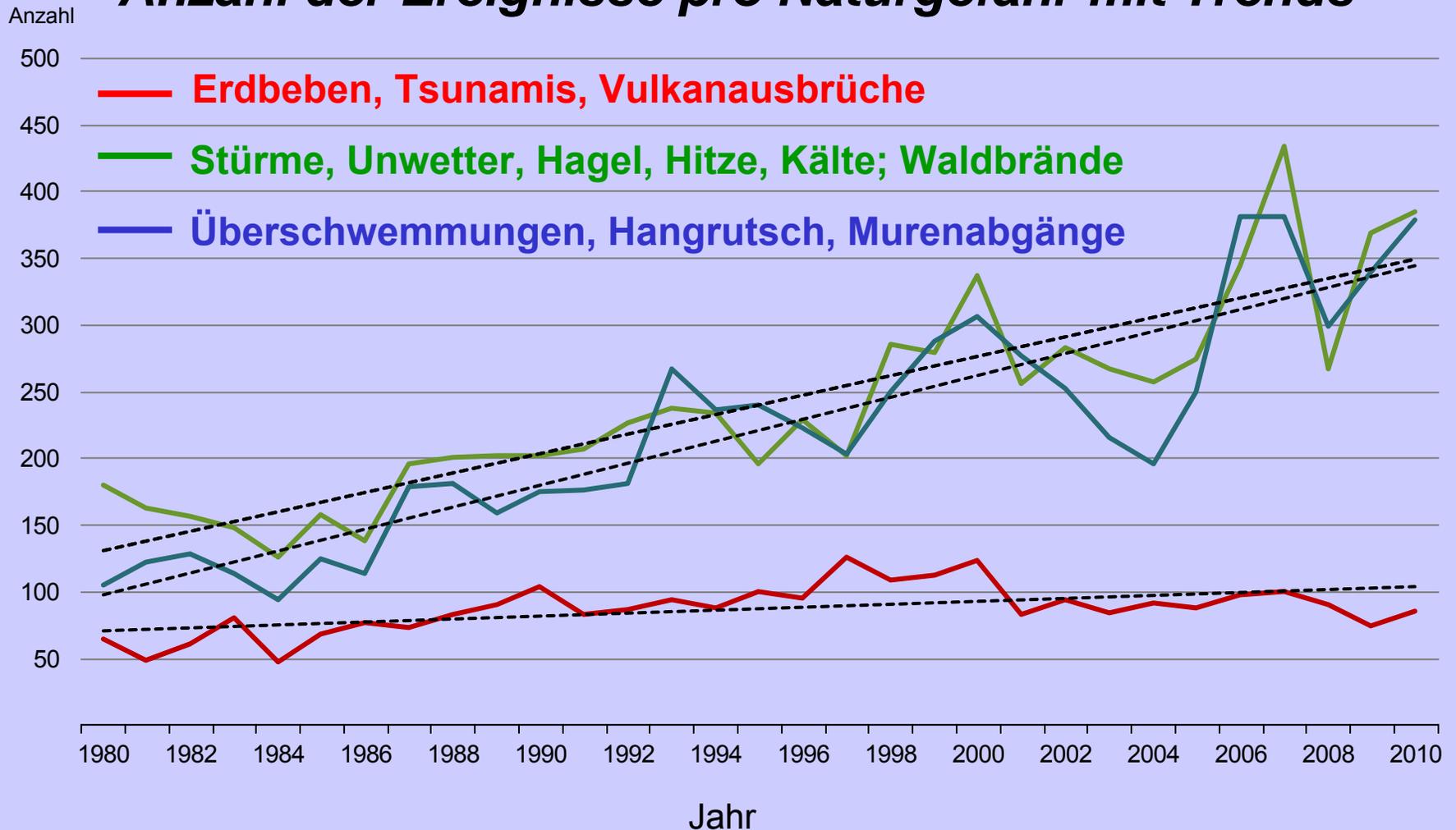
New Orleans, Aug. 2005

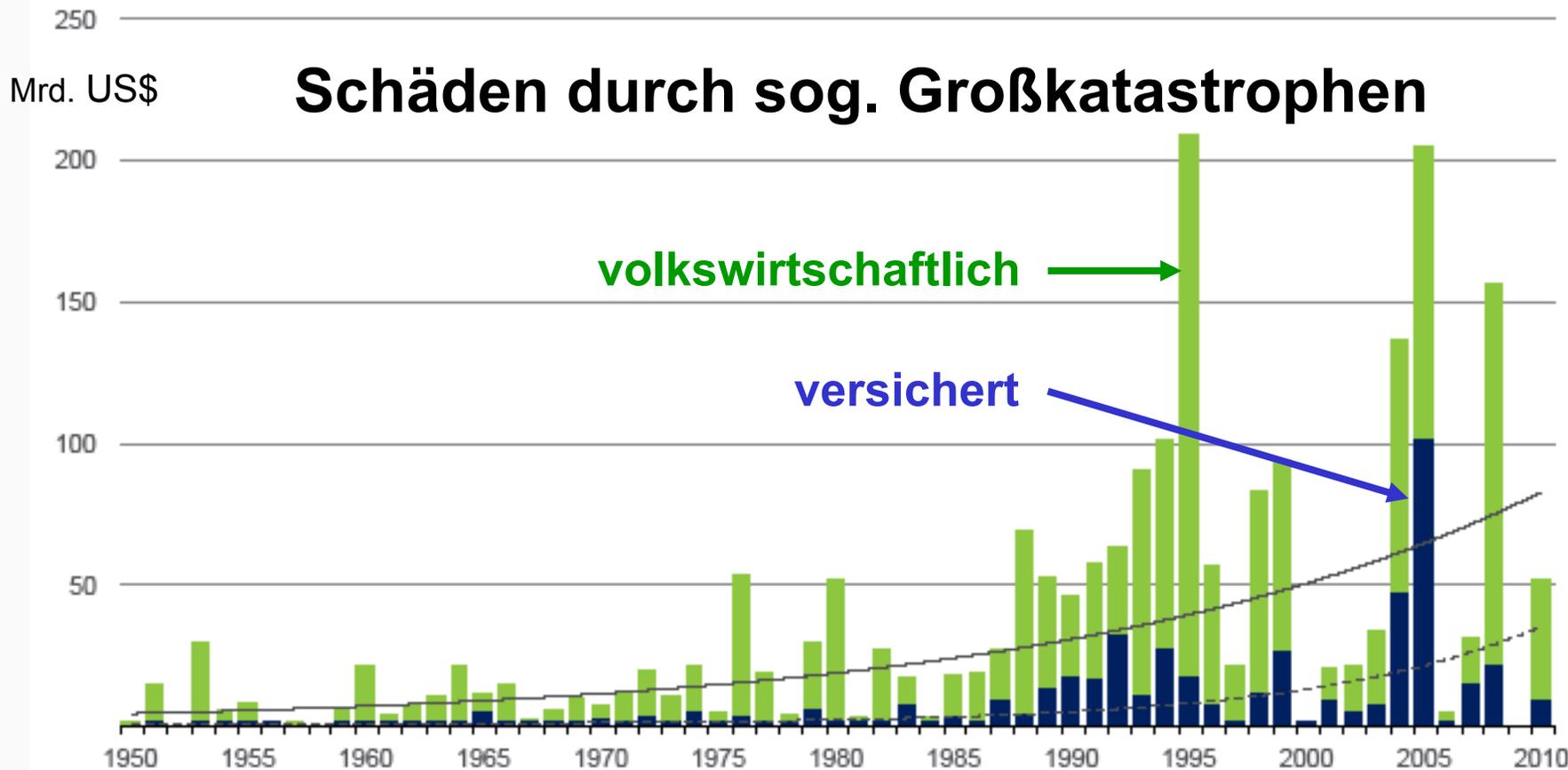


Motten (Rhön), Okt. 2005

Naturkatastrophen weltweit 1980 – 2010

Anzahl der Ereignisse pro Naturgefahr mit Trends





2011: volkswirt. Schäden 380 Mrd. US\$, versichert 105 Mrd. US\$

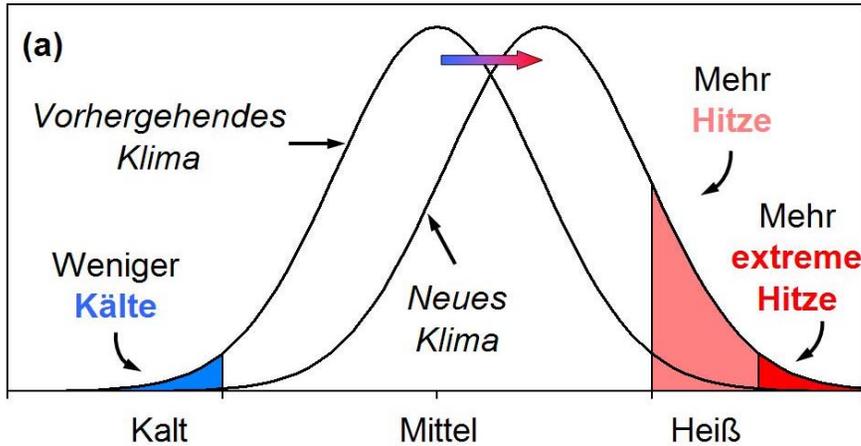
Volkswirtschaftliche und versicherte Schäden in Mrd. US Dollar

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

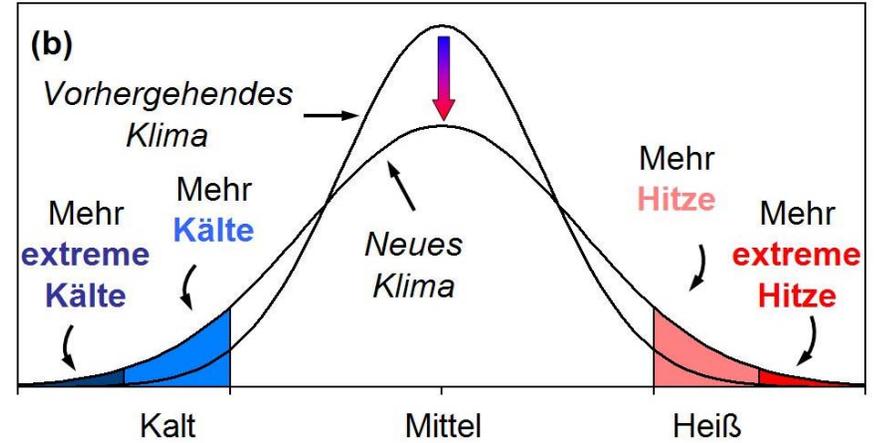
*) 2000/2009 gegenüber 1960/1969; Quelle: MüRück, Wirtz, 2010

Schema möglicher Änderungen von Verteilungen

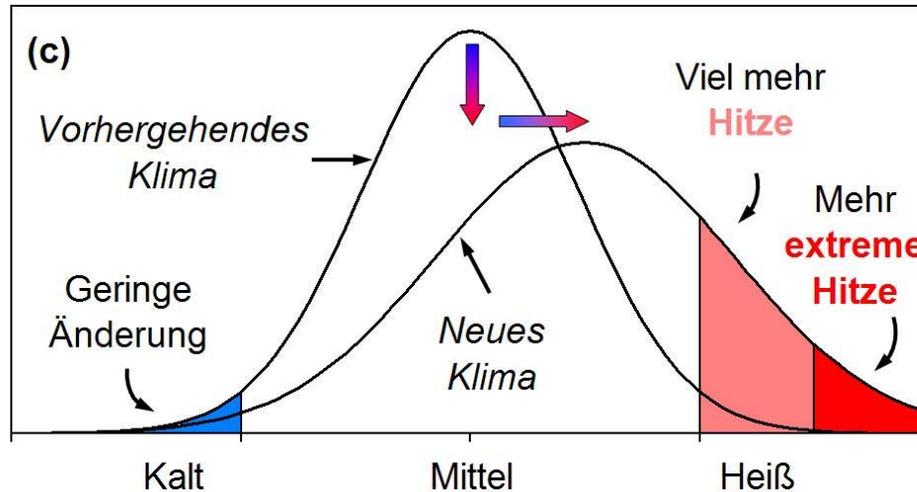
Zunahme des Mittelwerts



Zunahme der Streuung



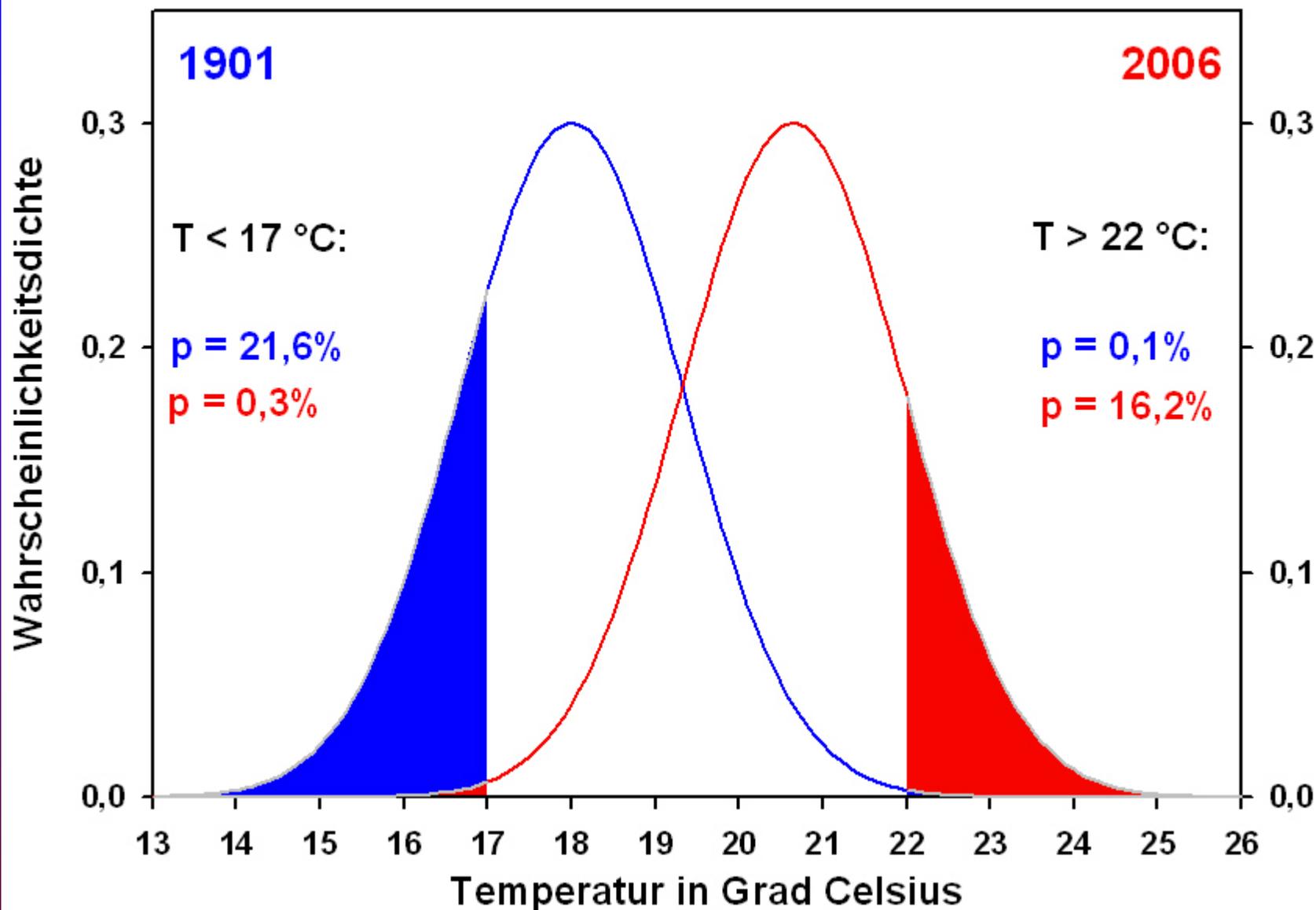
Zunahme von Mittelwert und Streuung



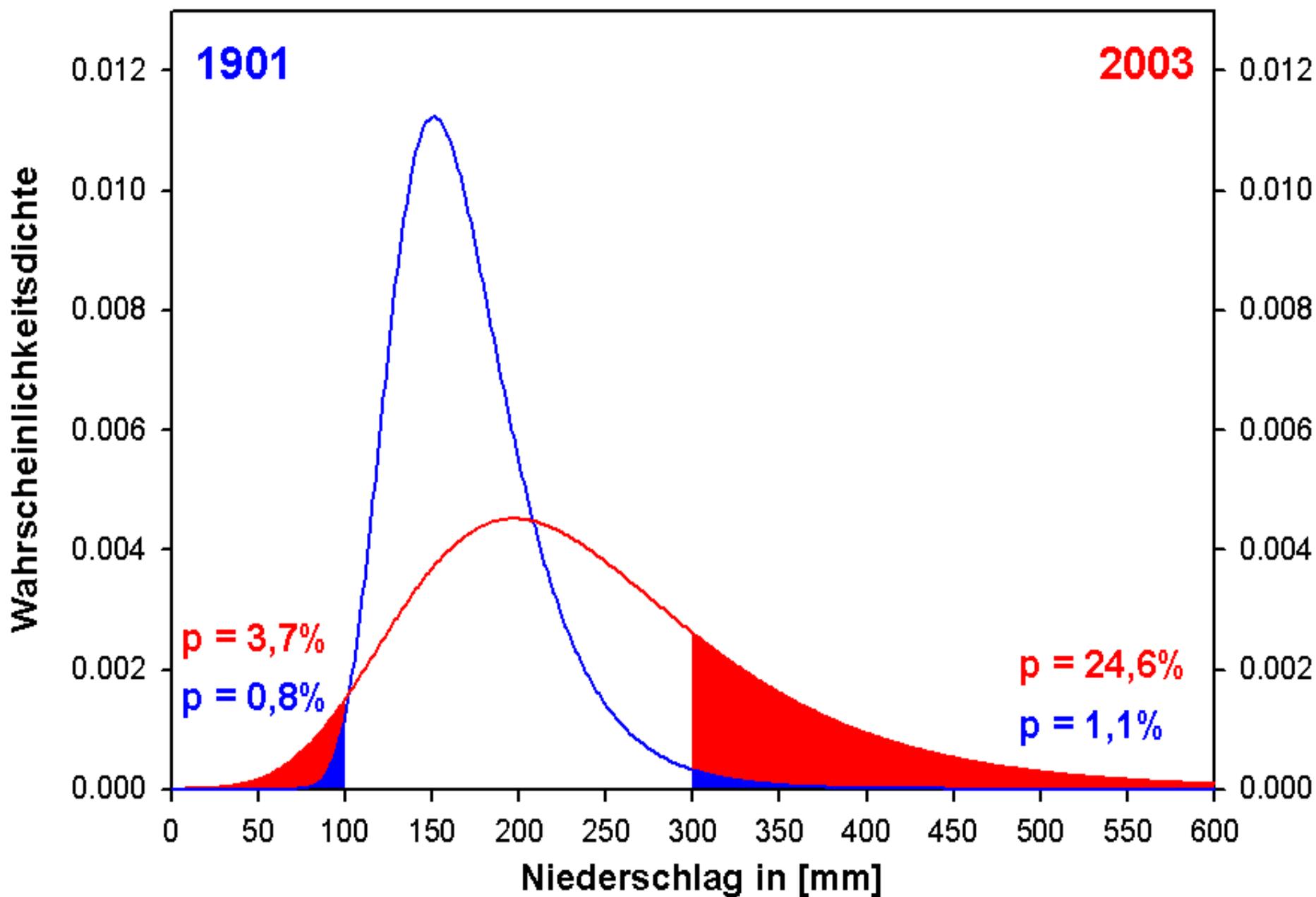
Hier gezeigt am
Beispiel der
Normalverteilung

Nach IPCC, 2001;
dt. nach Hupfer u.
Börngen, 2004.

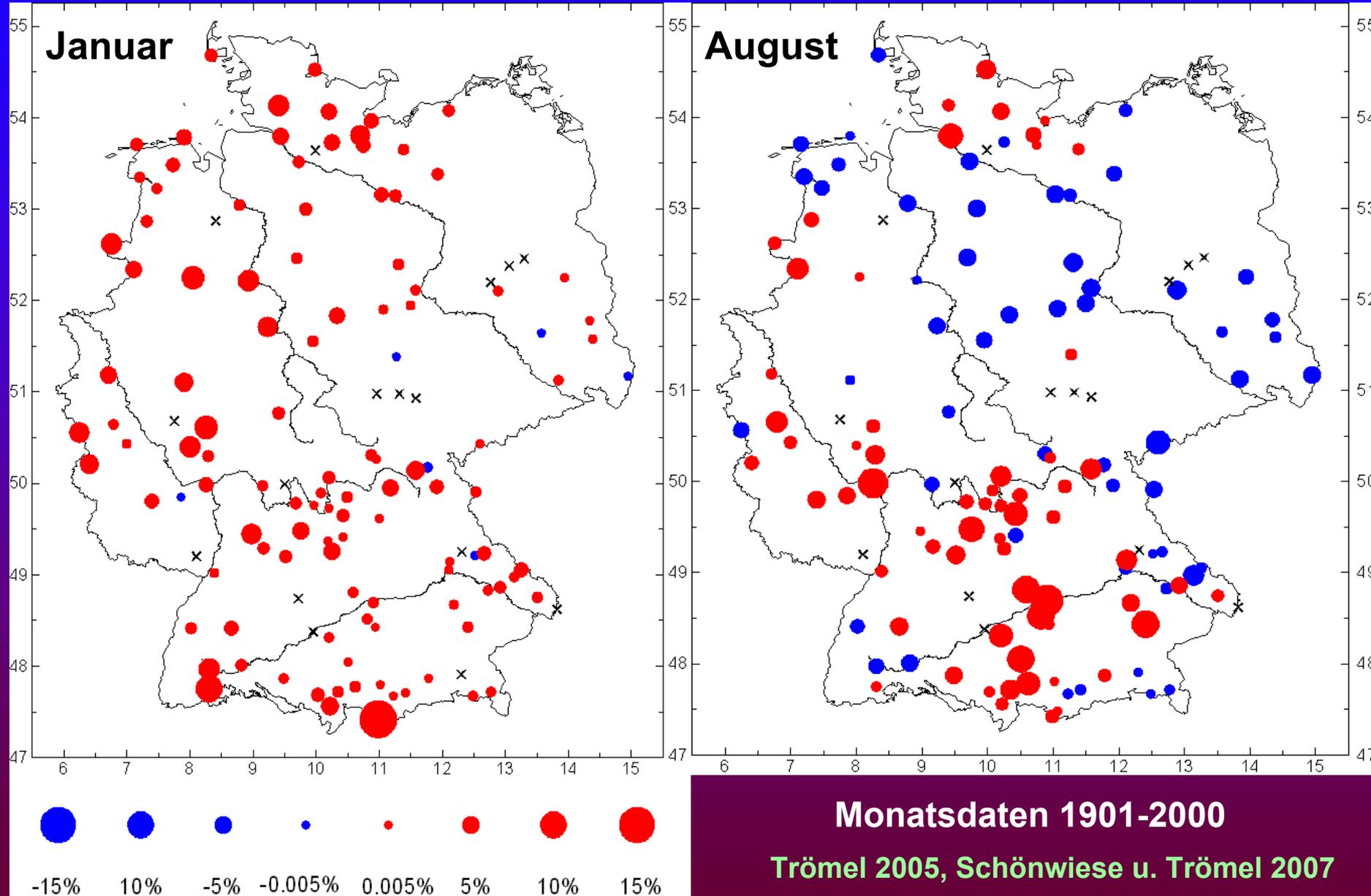
Wahrscheinlichkeitsdichte der Augustmittel-Temperaturen in Frankfurt am Main 1901 bis 2006



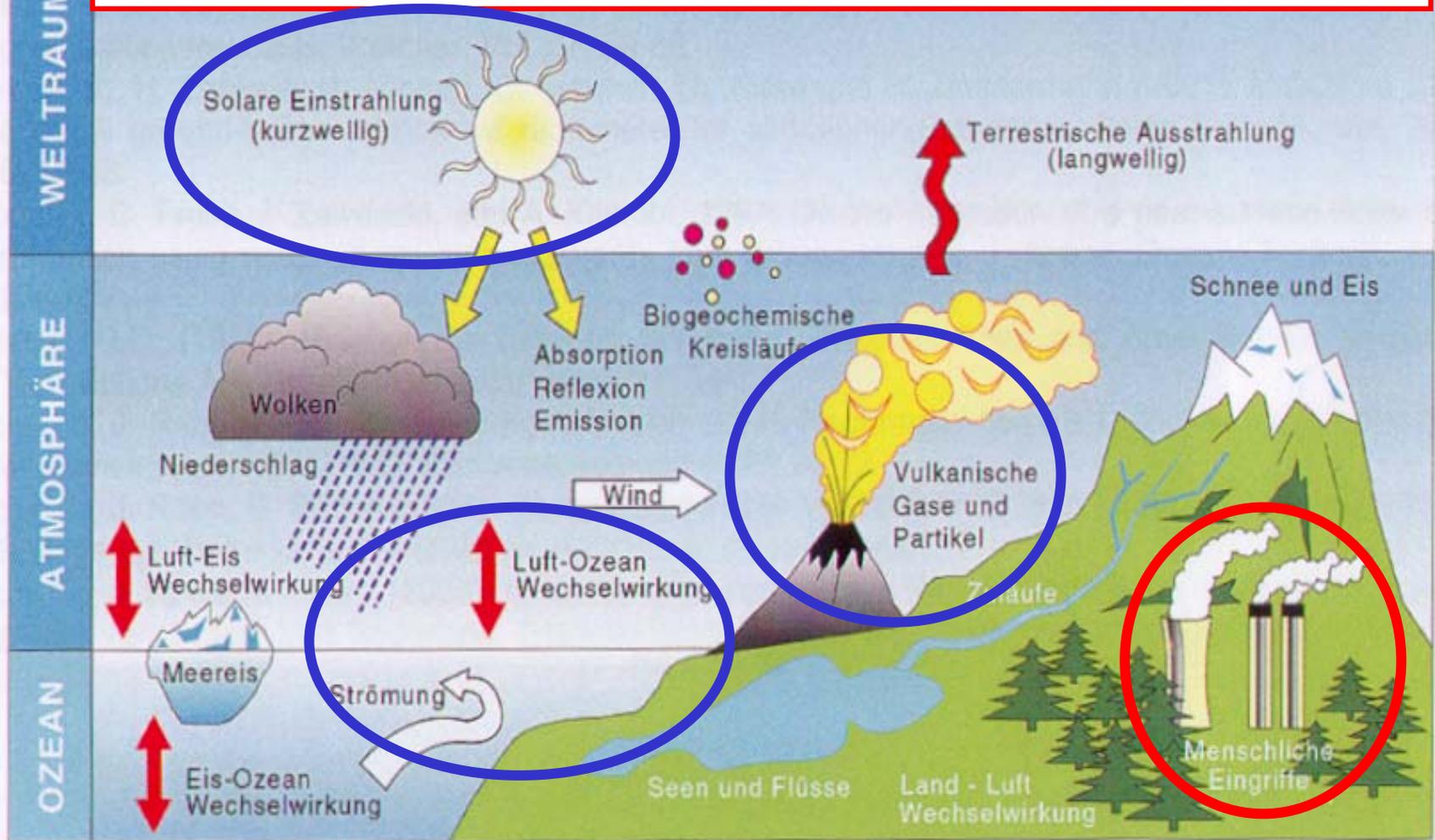
Wahrscheinlichkeitsdichte der Wintersummen des Niederschlages in Eppenrod 1901 und 2003



Niederschlag, Trends der Extremwert-Wahrscheinlichkeit Überschreitung des 95%-Perzentils

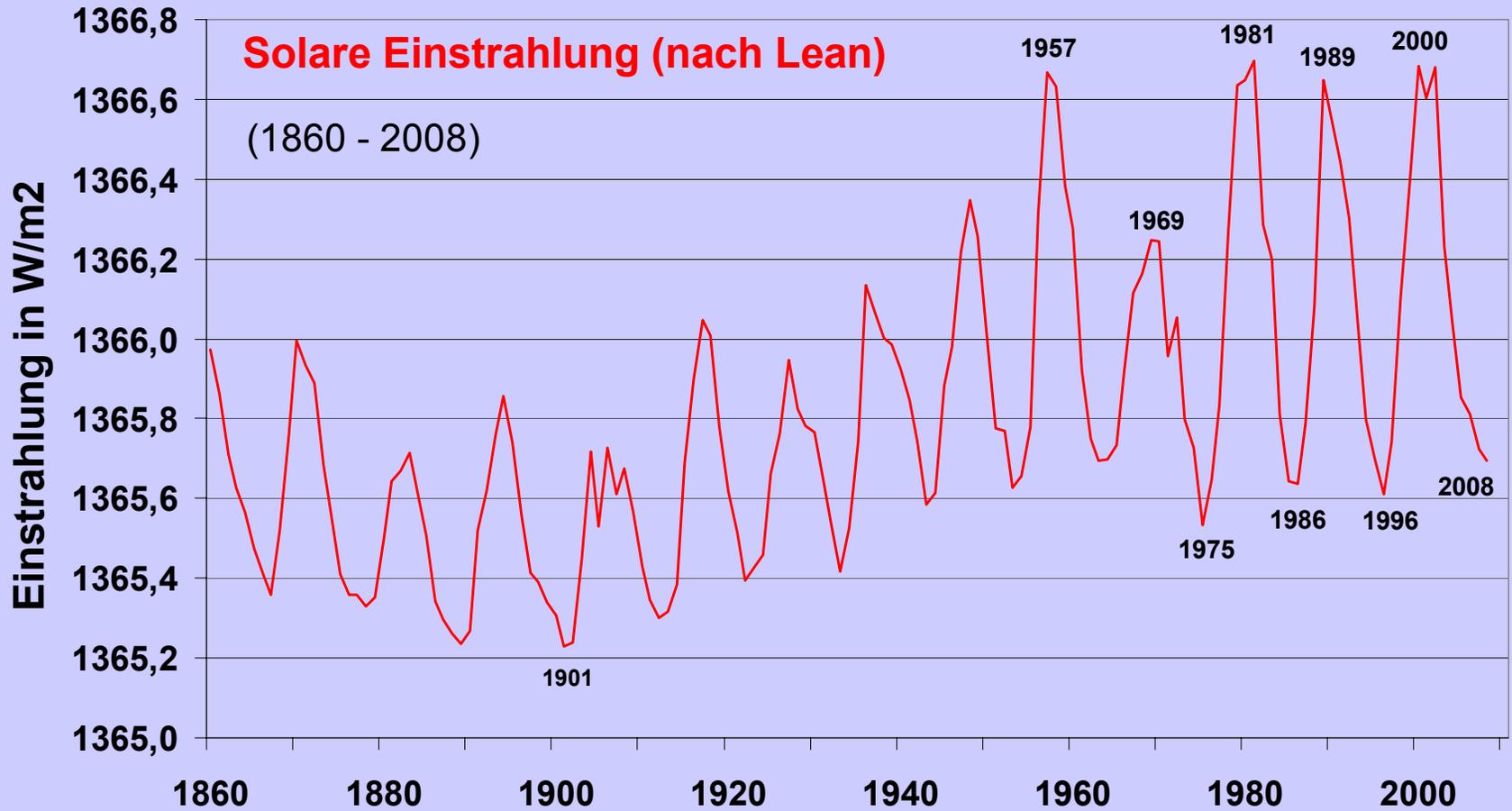


Ursachen des Klimawandels (Industriezeitalter)



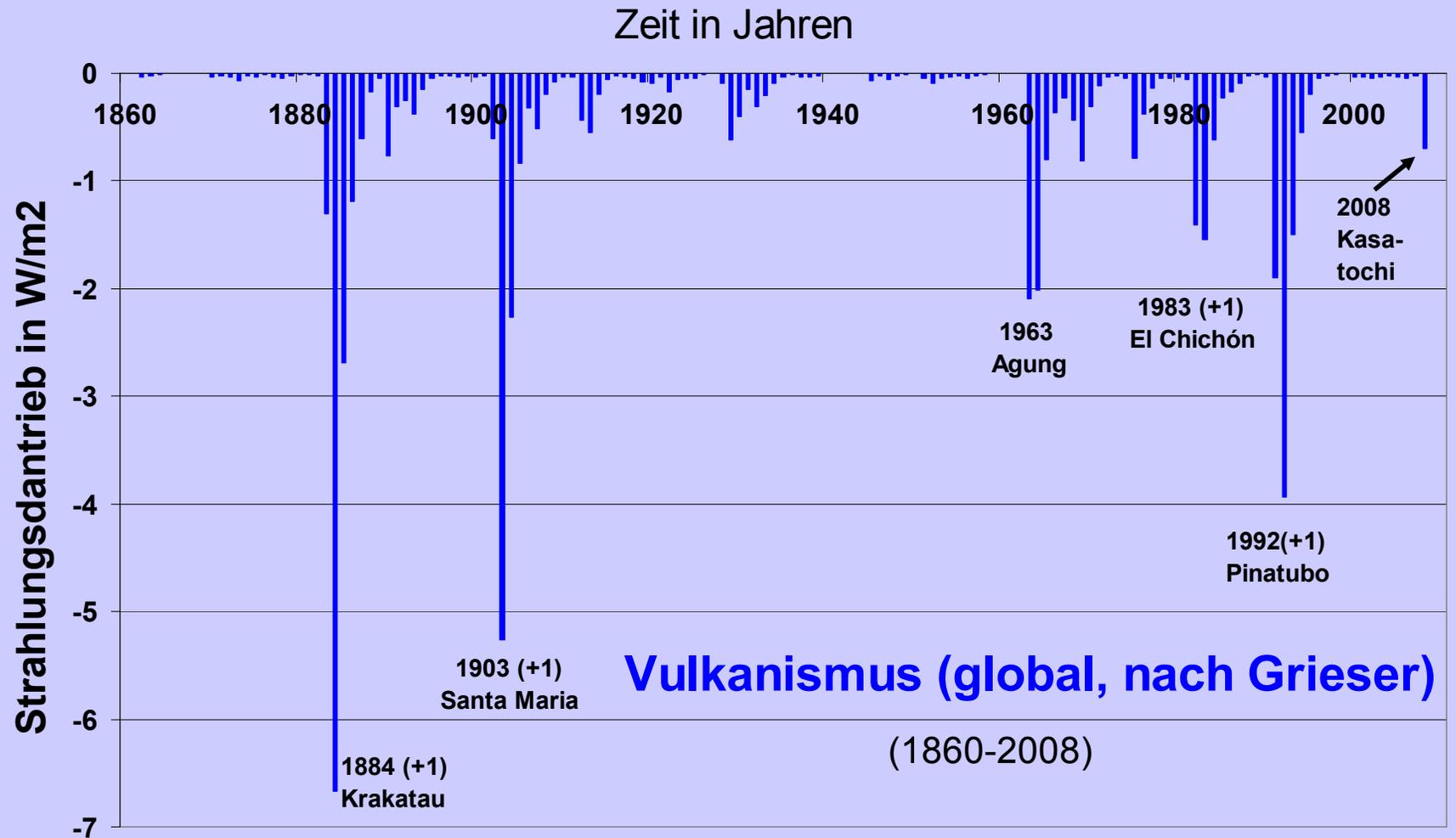
Klimasystem: Komponenten und Prozesse

Datenbasis, natürliche Antriebe



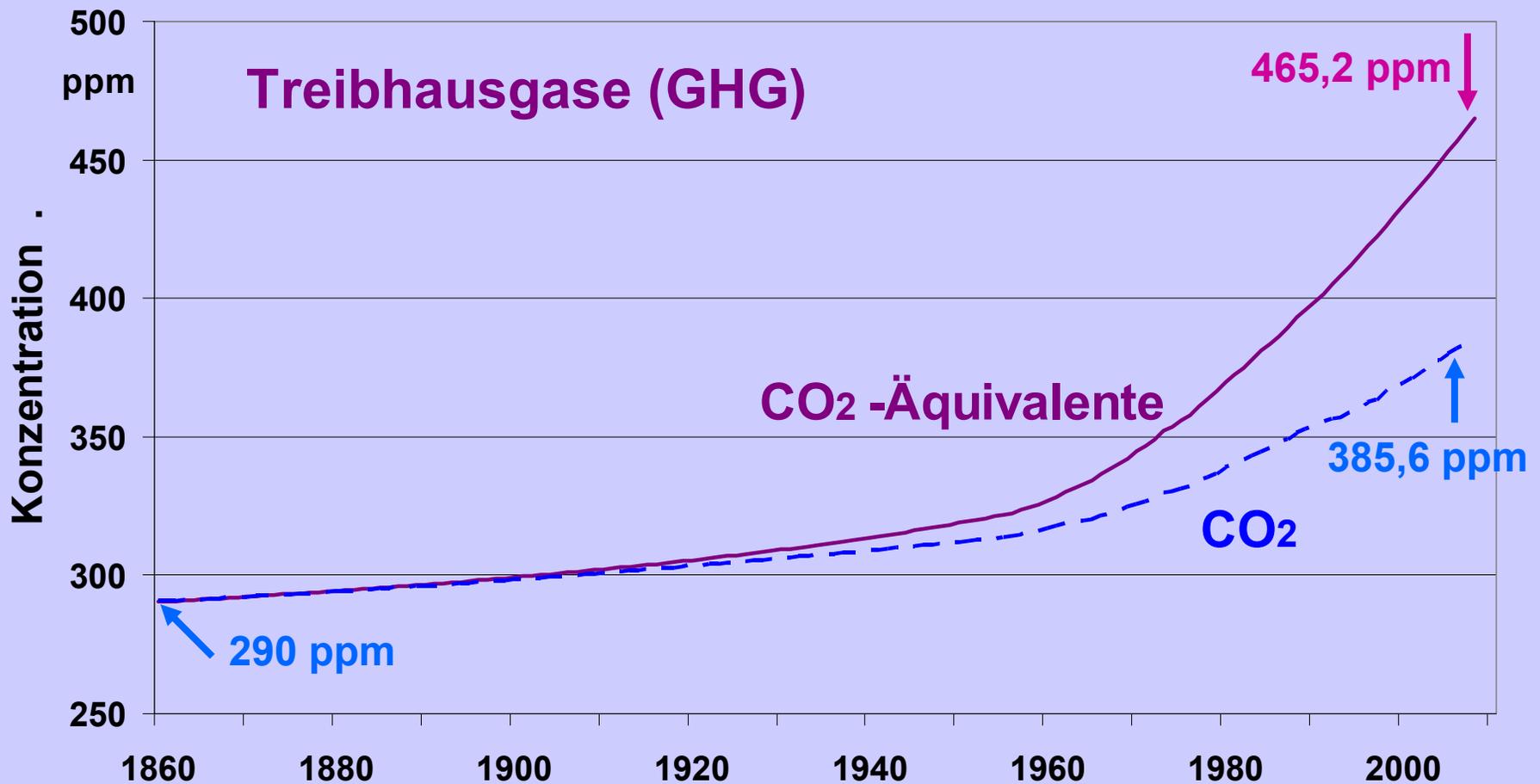
Quelle: J. Lean, pers. Mitt., 2009

Datenbasis, natürliche Antriebe



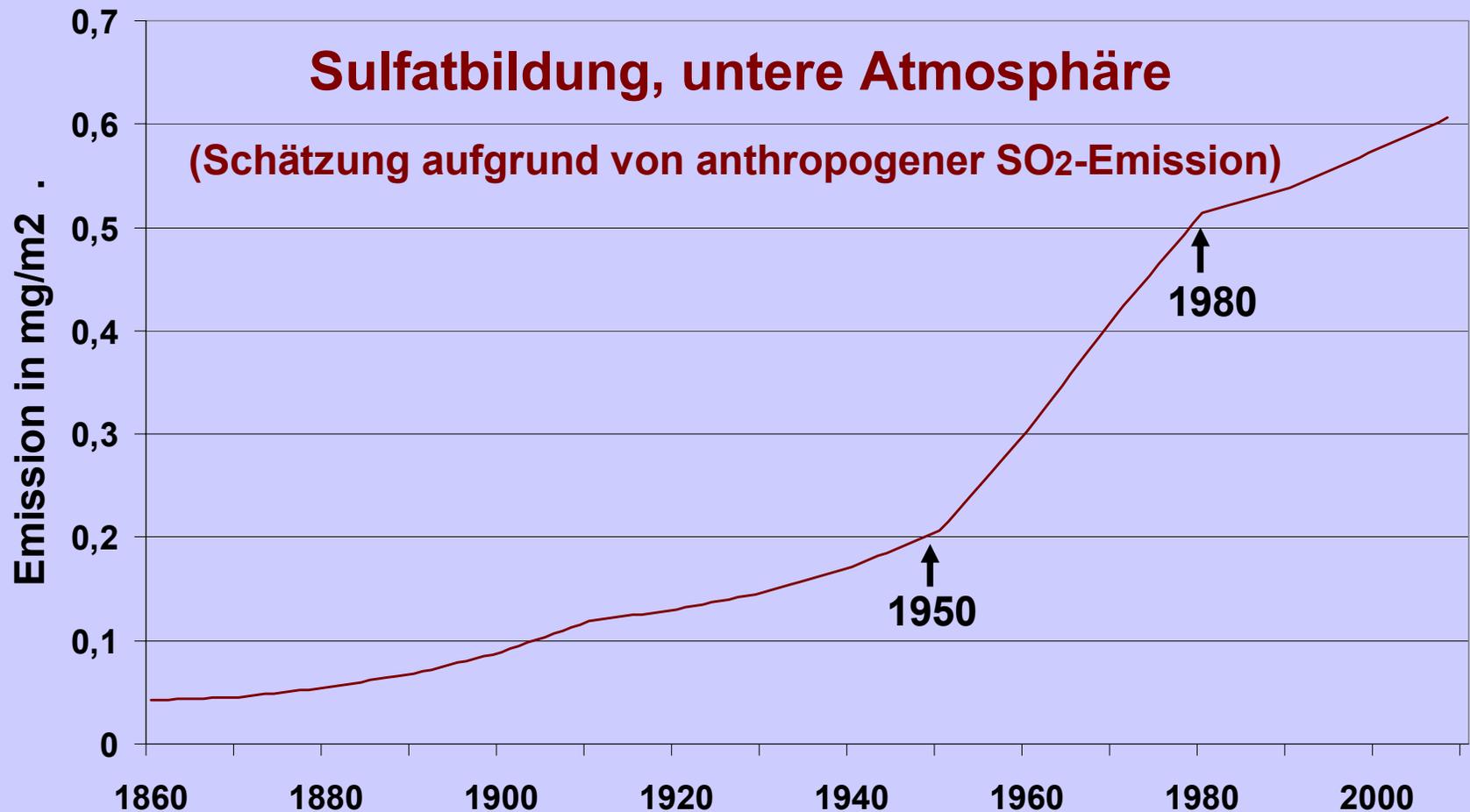
Quelle: J. Grieser, C.-D. Schönwiese, 1999; erg. nach US Smiths. Inst., 2009

Datenbasis, anthropogene Antriebe



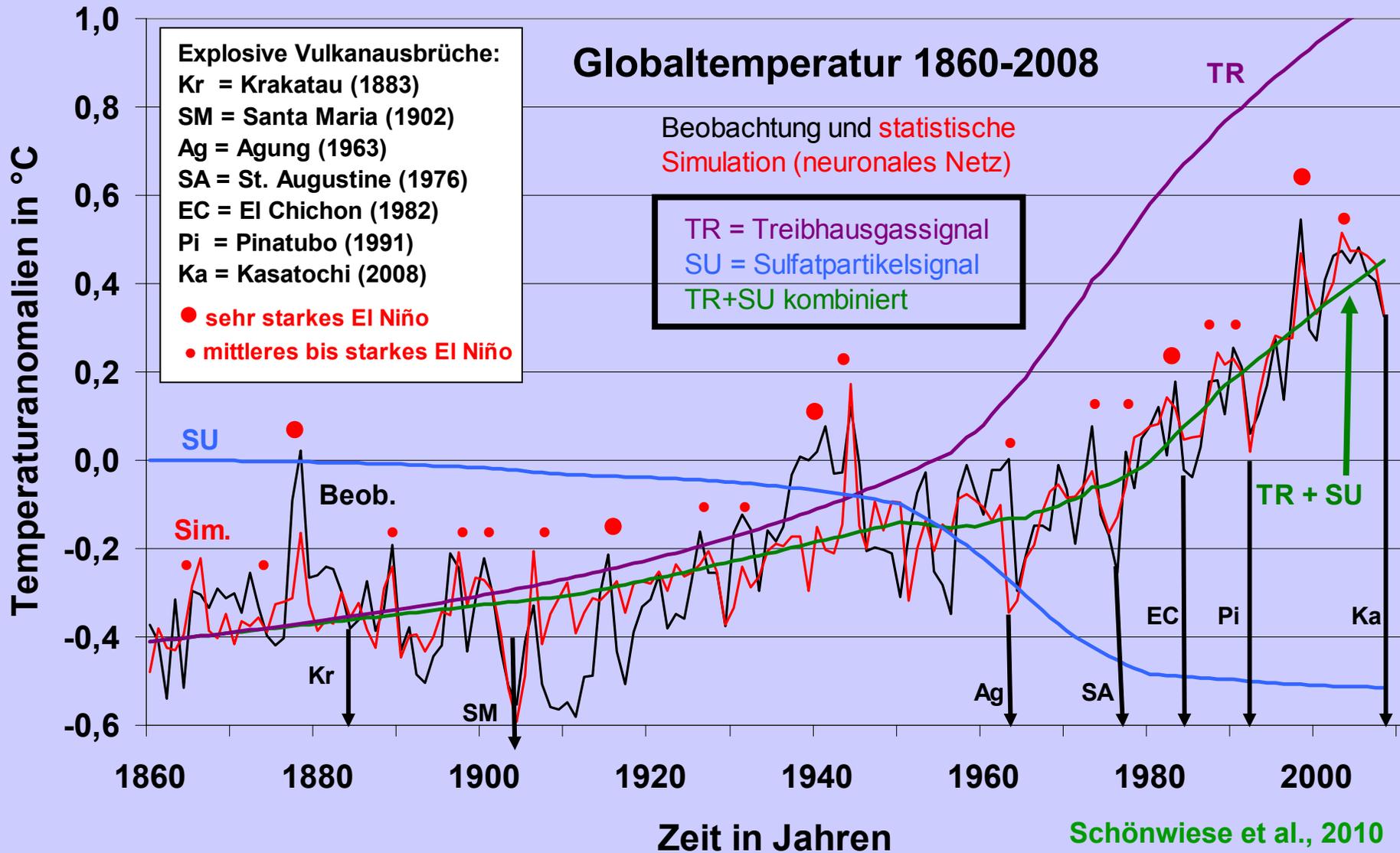
Quelle: CDIAC (Internet), 2009; bearbeitet; RF ca. 3 Wm⁻².

Datenbasis, anthropogene Antriebe



Quelle: R.J. Charlson et al., 1992; MPIM (Cubasch), extrapoliert; RF ca. 1,2 Wm⁻².

Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



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

**Mittlere globale troposphärische Strahlungsantriebe (ca. 1750-2000; IPCC, 2007)
und empirisch-statistisch geschätzte bodennahe Temperatursignale 1860-2008
(nach Schönwiese, Walter und Brinckmann, 2010)**

Klimafaktor	Art	Strahlungsantrieb in Wm^{-2}	Signal in $^{\circ}\text{C}$	Signalstruktur (zeitlich)
„Treibhausgase“	anthr.	+ 3,0 (2,7 - 3,6)	0,9 ↔ 1,5	progressiver Trend
Troposphär. Sulfat	anthr.	- 1,2 (0,4 - 2,7)	- 0,2 ↔ 0,5	uneinheitlicher Trend
Kombiniert	anthr.	-	0,7 ↔ 1,0	uneinheitlicher Trend
Vulkaneruptionen	natürl.	ca. - (1 - 7) *)	- 0,2 ↔ 0,3	episodisch (1-3 Jahre)
Sonnenaktivität	natürl.	+ 0,1 (0,06 - 0,3)	0,1 ↔ 0,2	fluktuativ
El Niño (ENSO)	natürl.	(intern) **)	0,1 ↔ 0,2	episodisch (Monate)

*) Pinatubo: 1991 → 2.4 Wm^{-2} , 1992 → 3.2 Wm^{-2} , 1993 → 0.9 Wm^{-2} , nach McCormick et al. (1995); Reichweite nach Grieser und Schönwiese (1999); **) atmosphärisch-ozeanische Wechselwirkung

Folgerungen

- Seit ca. 1900 hat im globalen Mittel eine deutliche Erwärmung der bodennahen Atmosphäre stattgefunden.
- Seit ca. 1960 hat sich die Stratosphäre abgekühlt.
- Regional und jahreszeitlich sind die Temperatortrends (der bodennahen Atmosphäre) jedoch sehr unterschiedlich, wobei in Deutschland die Erwärmung etwas stärker gewesen ist als im globalen Mittel.
- Beim Niederschlag dominieren die Umverteilungen, wobei in Deutschland die Sommer niederschlagsärmer und die anderen Jahreszeiten feuchter geworden sind.
- Weltweit haben die Anzahl und Schäden durch Extremereignisse drastisch zugenommen. In Deutschland werden die „Warmereignisse“ (milde Winter, heiße Sommer) häufiger, beim Niederschlag z.T. sowohl extrem viel als auch extrem wenig .
- Statistische Abschätzungen weisen auf die immer größere Bedeutung des Klimafaktors Mensch hin.



Vielen Dank
für Ihr Interesse

Homepage des Autors:

<http://www.geo.uni-frankfurt.de/iau/klima>