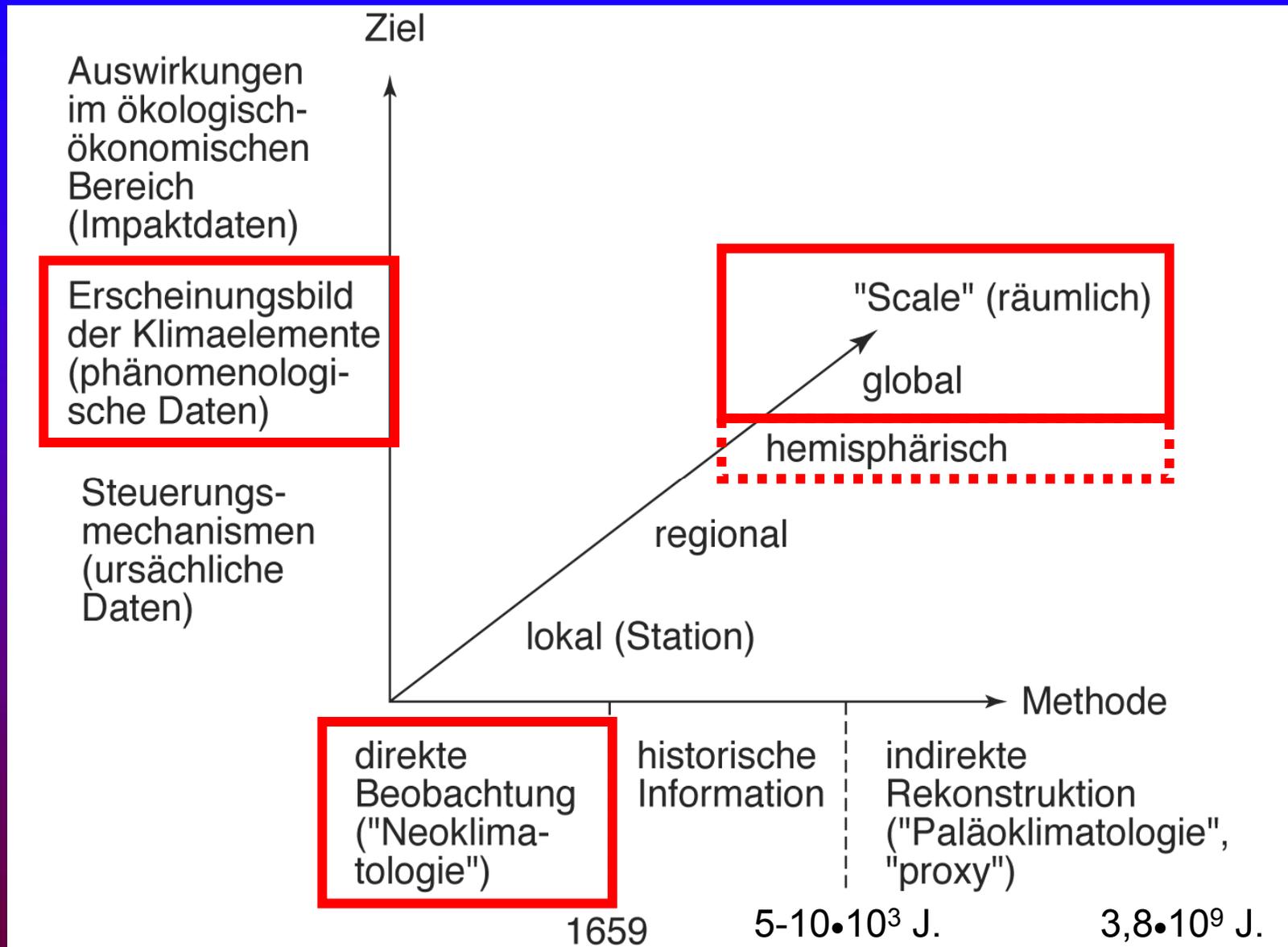




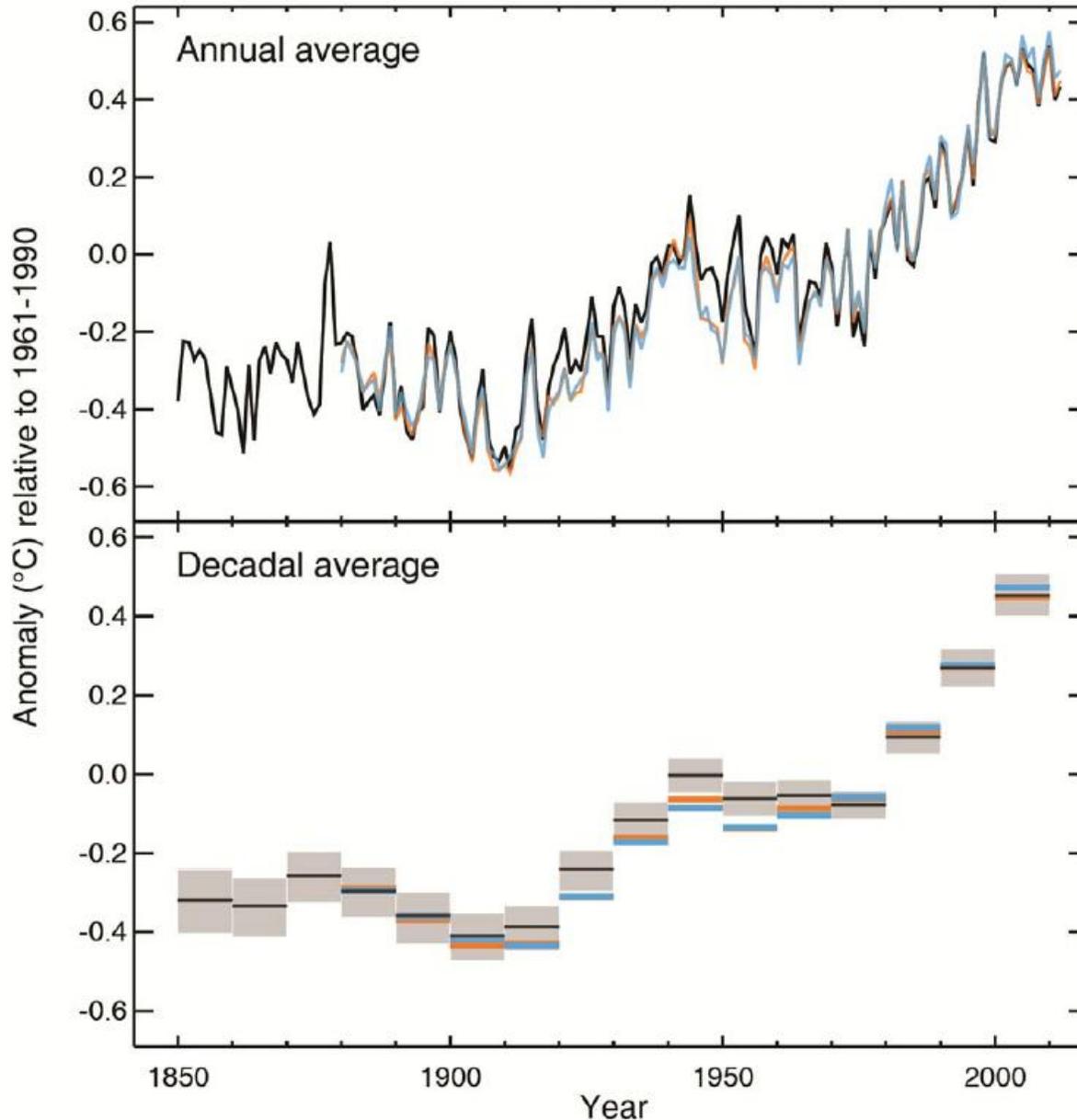
Die globale Temperaturentwicklung in Beobachtung und Modell

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

Aspekte der Klimabeobachtung (Daten)



Observed globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly 1850–2012

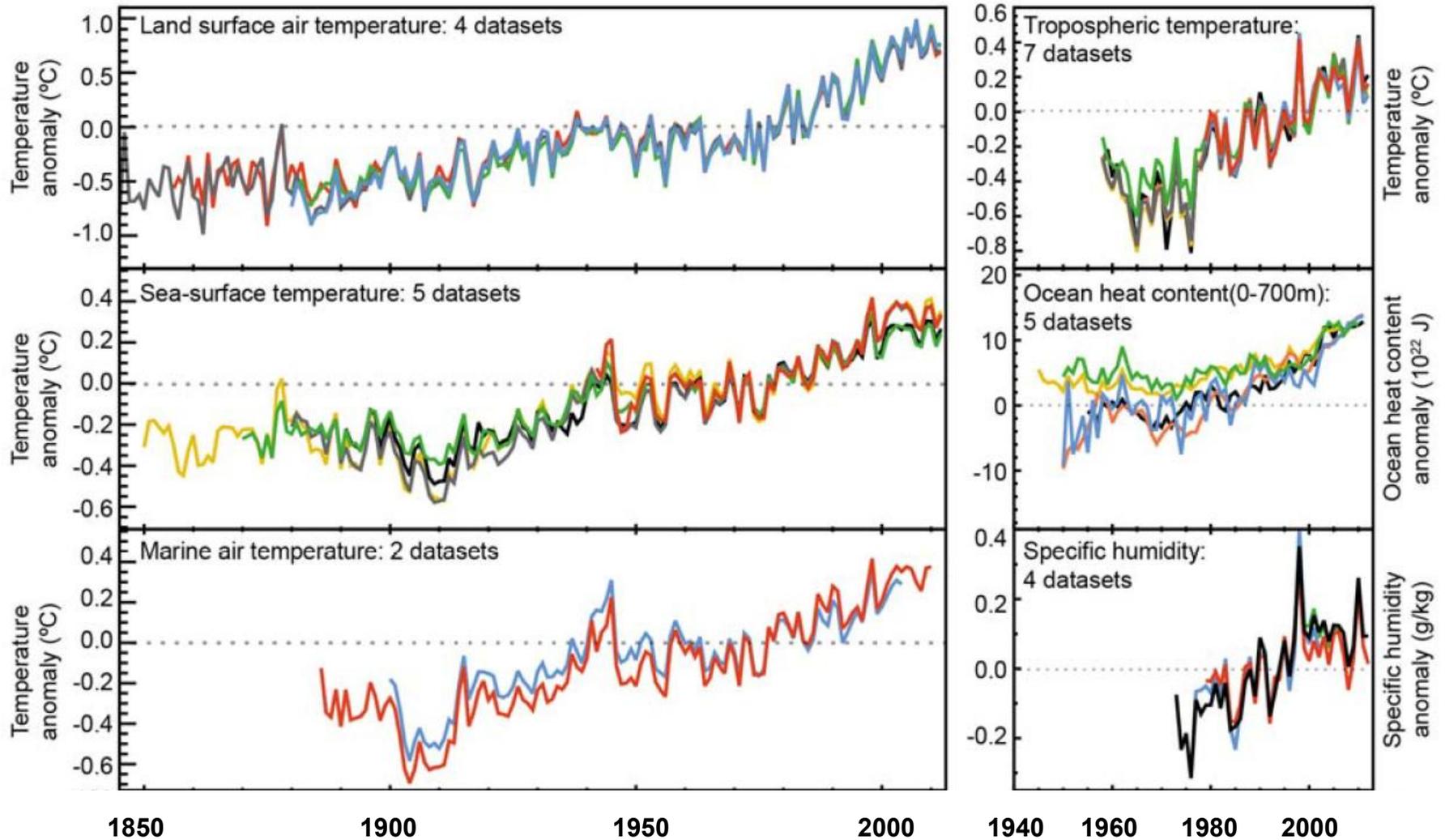


← **Globaltemperatur (Land + Ozean, bodennah), Jahresanomalien relativ zu 1961-1990, 3 Datensätze**

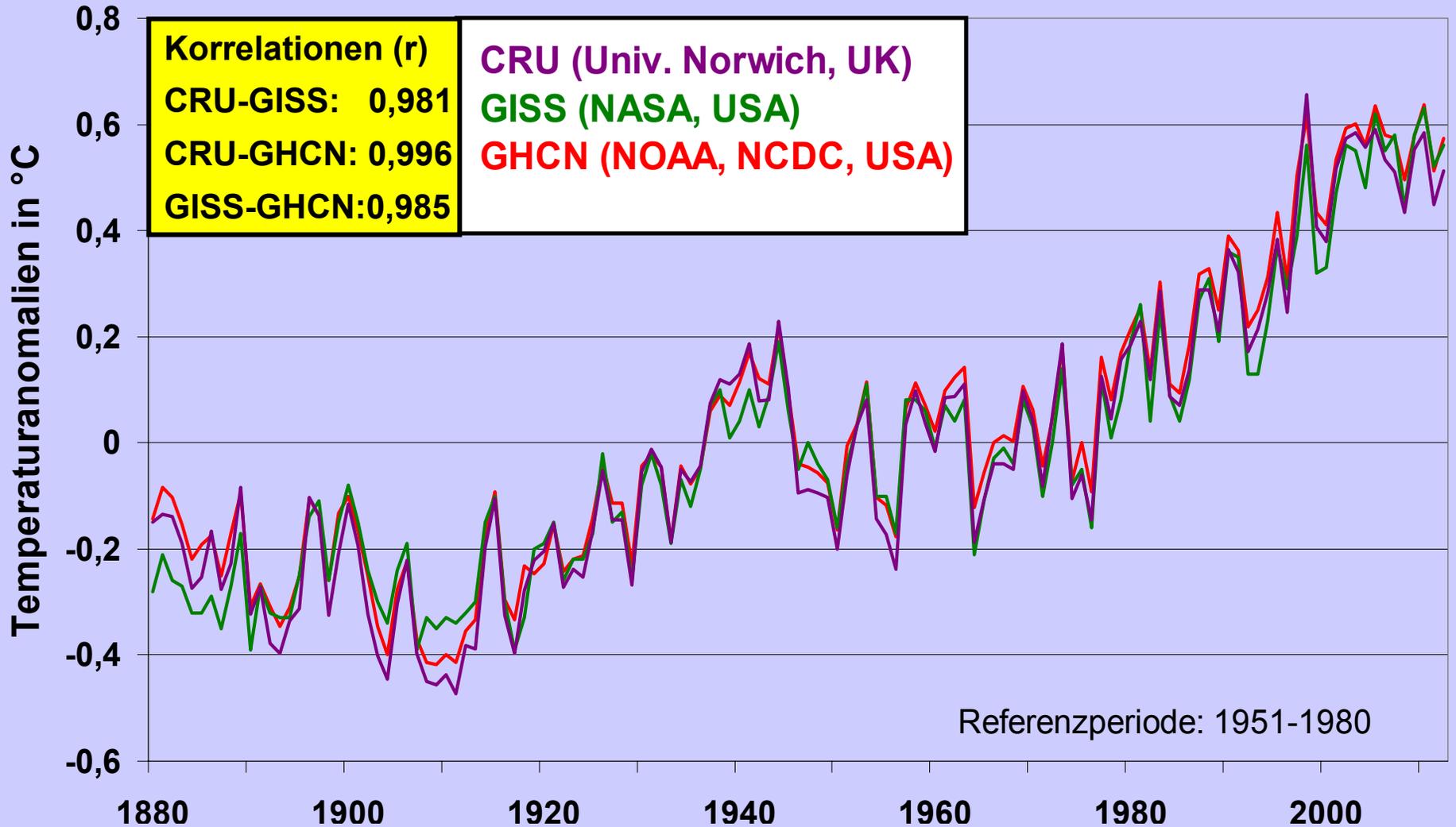
← **Zugehörige Dekadenmittel**

IPCC, 2013

Globaltemperatur: Vergleich Atmosphäre - Ozean



Globaltemperatur, Jahresanomalien 1880-2012

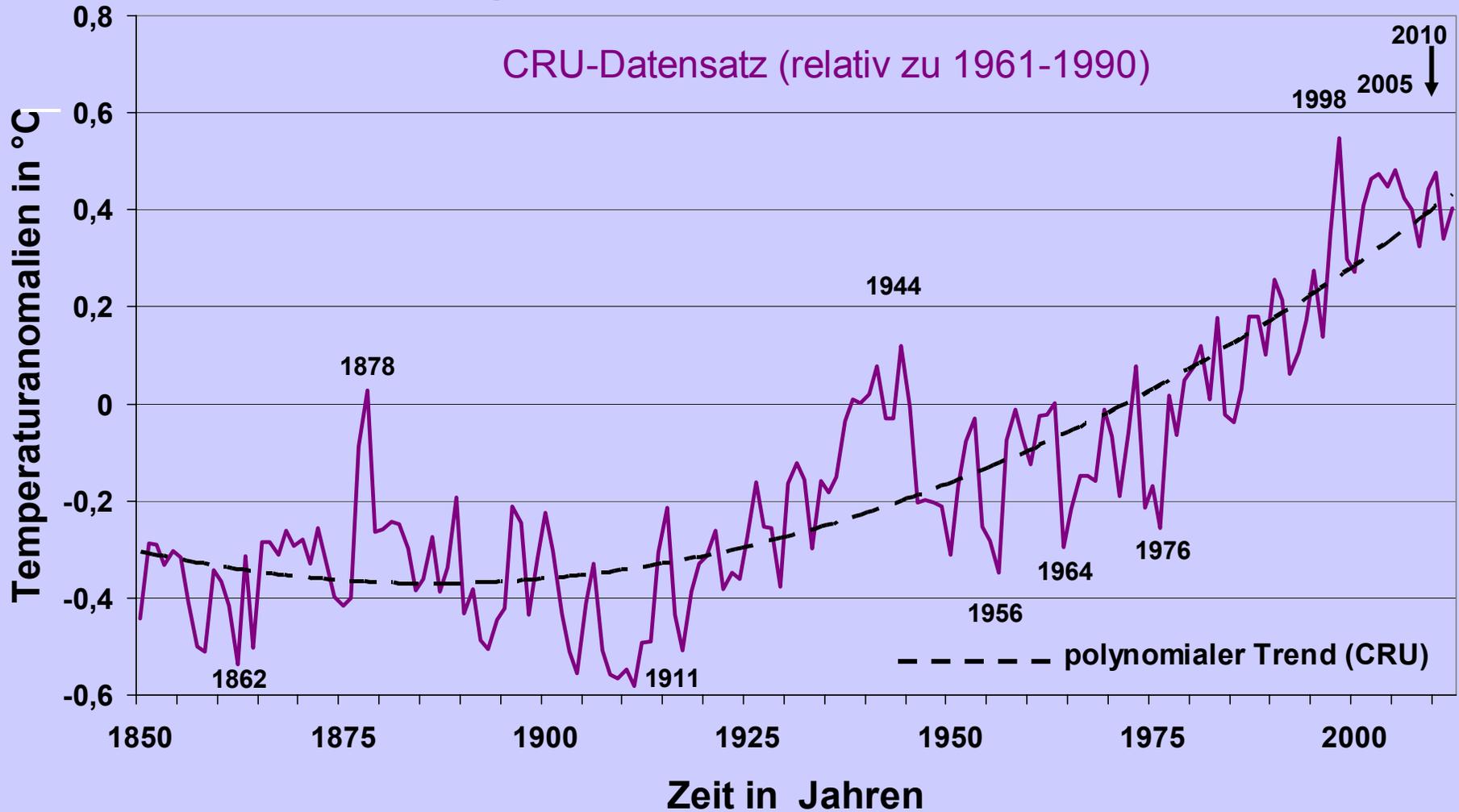


Aktuelle Stationsbasis: CRU 5583, GISS ca. 6300, GHCN 7280 Stationen

CRU: Climatic Research Unit, Univ. of Norwich, UK; GISS: Goddard Institute for Space Studies, NASA: Nat. Aeronautics and Space Administration; GHCN: Global Historical Climate Network, NOAA: Nat. Oceanic and Atmospheric Administration, NCDC: National Climate Data Center; USA.

Klimawandel im Industriezeitalter

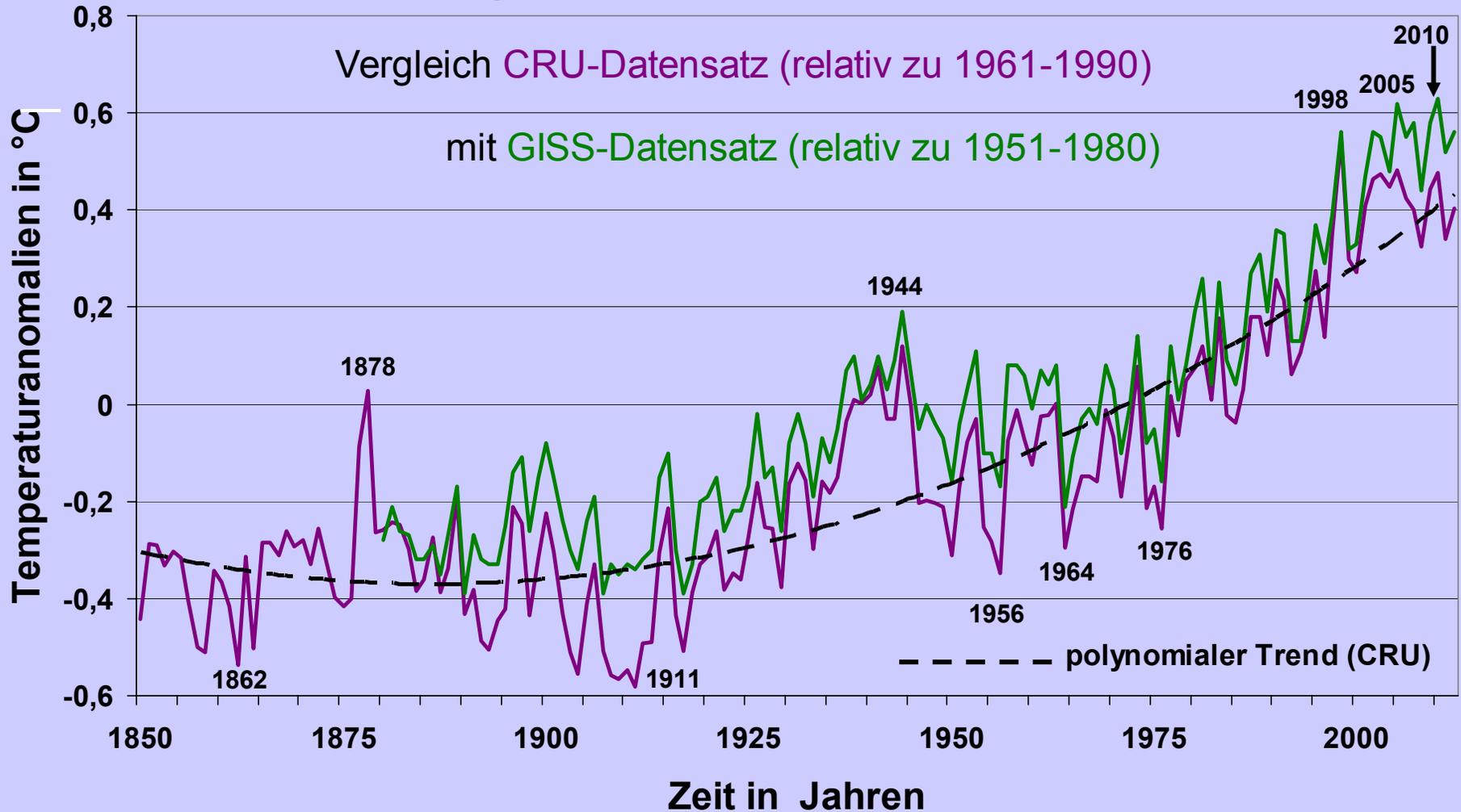
Globaltemperatur, Jahresanomalien 1850 - 2012



CRU: Climatic Research Unit, Universität Norwich, UK;

Klimawandel im Industriezeitalter

Globaltemperatur, Jahresanomalien 1850 - 2012

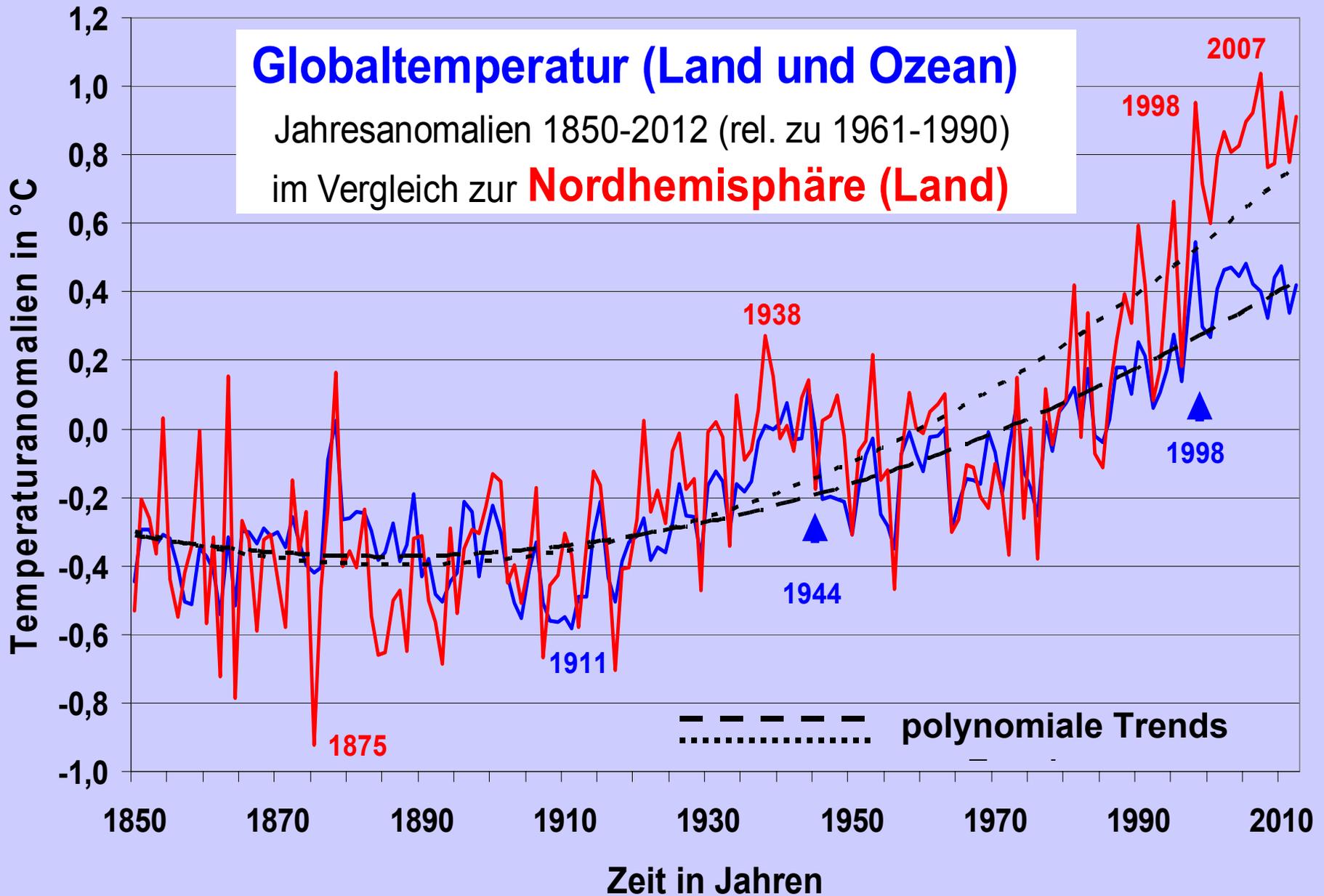


CRU: Climatic Research Unit, Universität Norwich, UK; GISS: Goddard Institute for Space Studies, NASA, USA

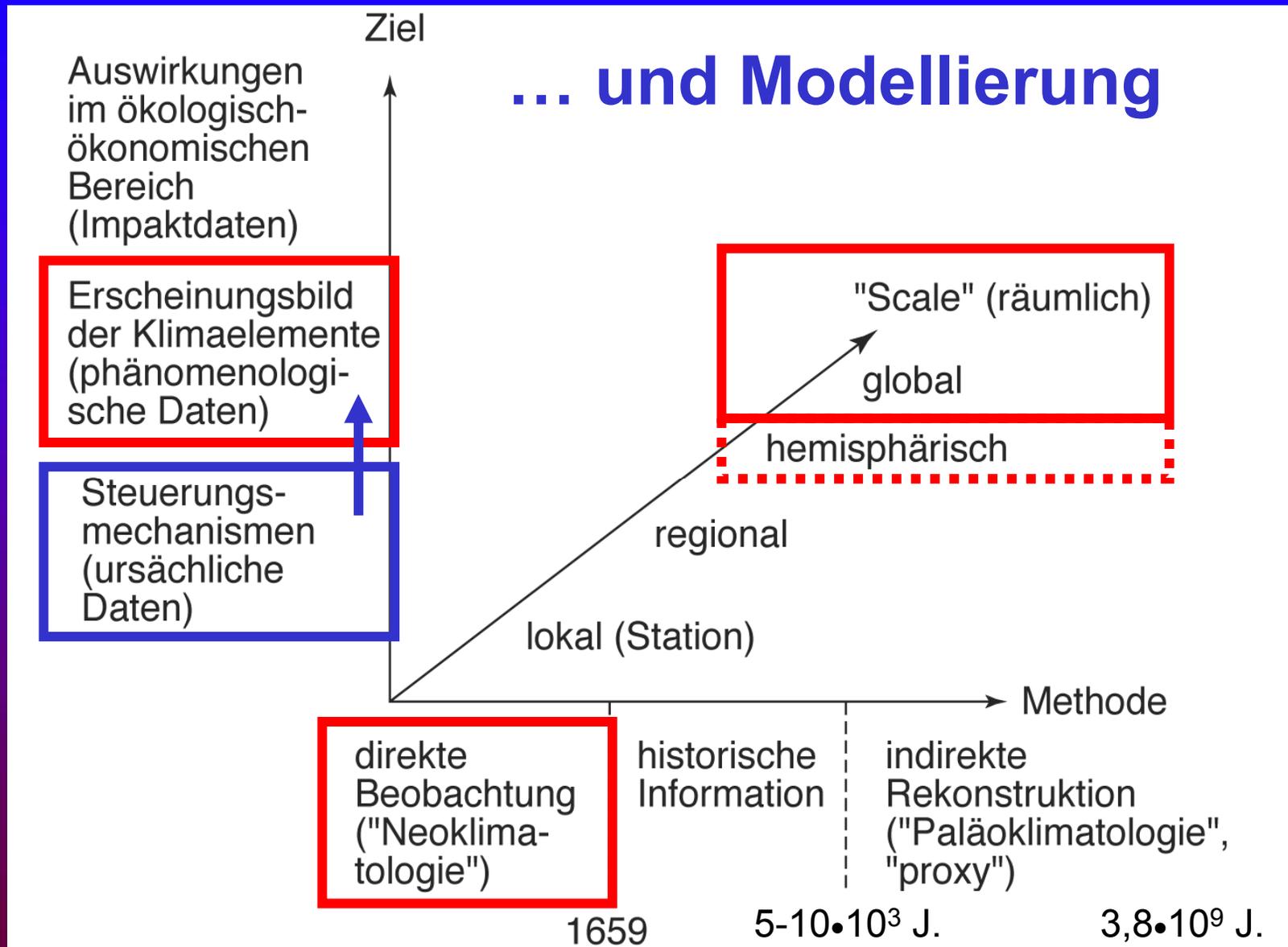
Linearer Trend 1901-2000: + 0,7 °C, 1880-2012: 0,85 °C (IPCC, 2013)

Globaltemperatur (Land und Ozean)

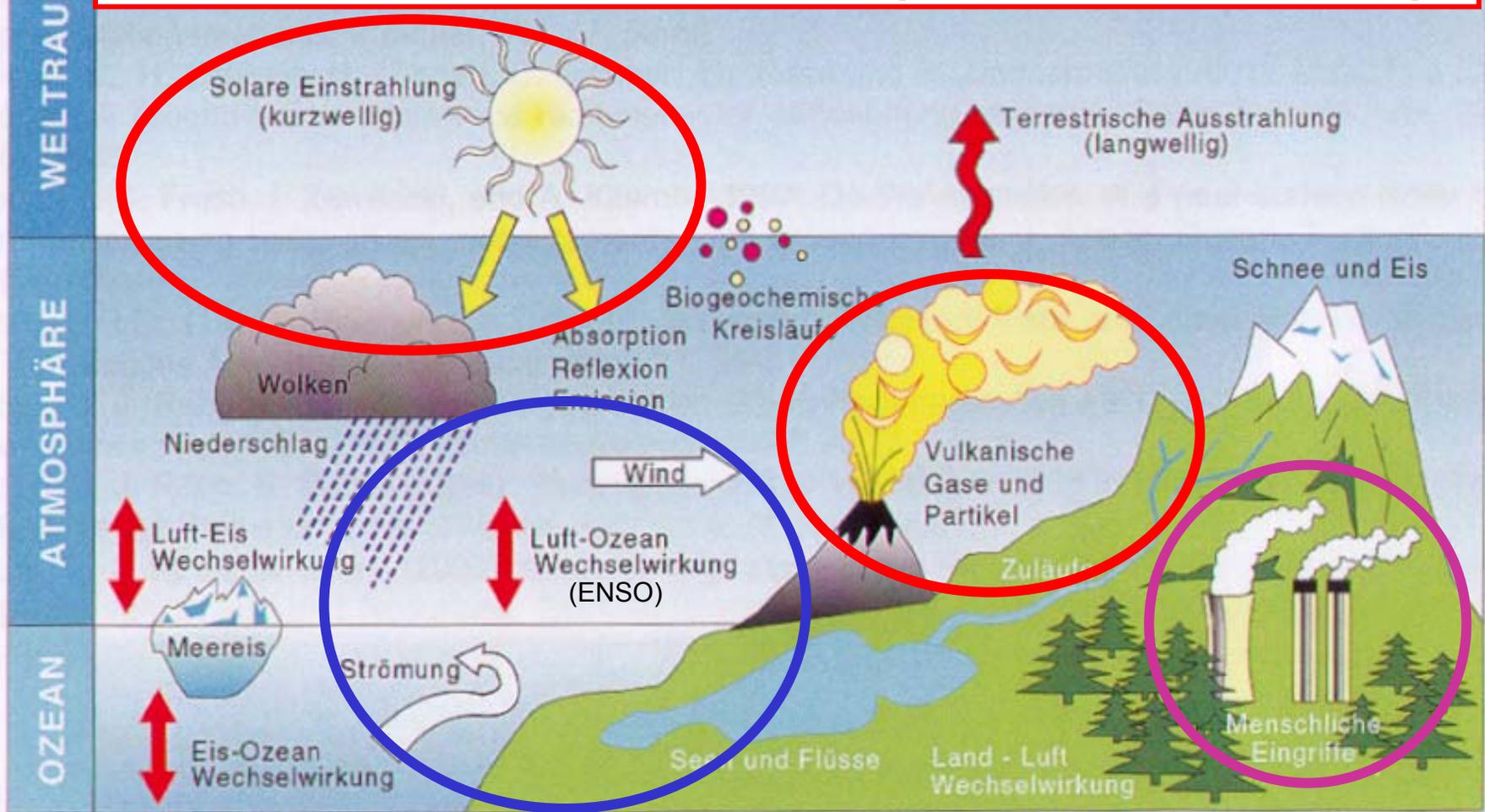
Jahresanomalien 1850-2012 (rel. zu 1961-1990)
im Vergleich zur **Nordhemisphäre (Land)**



Aspekte der Klimabeobachtung (Daten)



Zur Ursachendiskussion (Industriezeitalter)



Klimasystem: Komponenten und Prozesse

Cubasch und Kasang, 2000

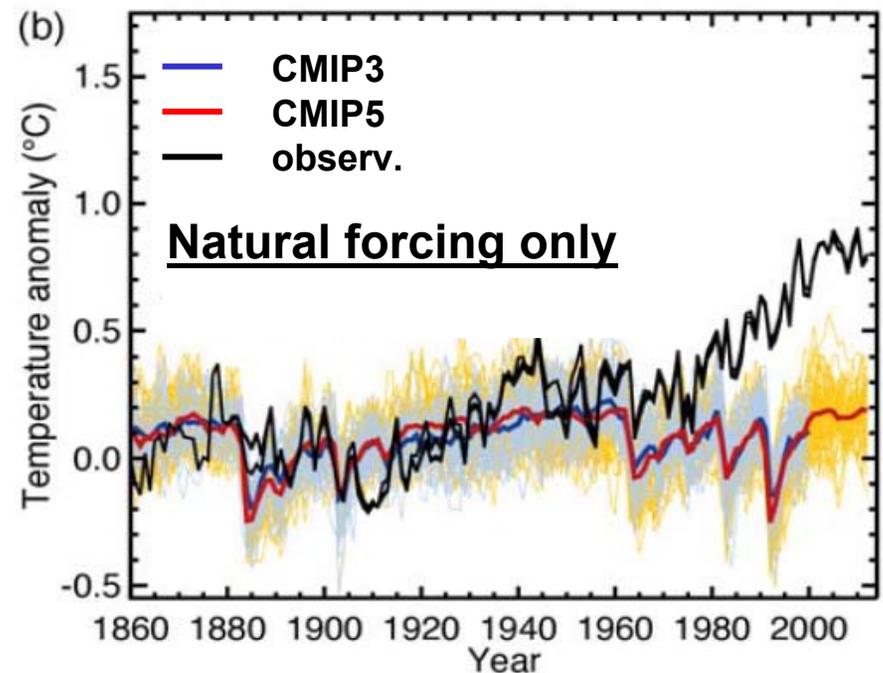
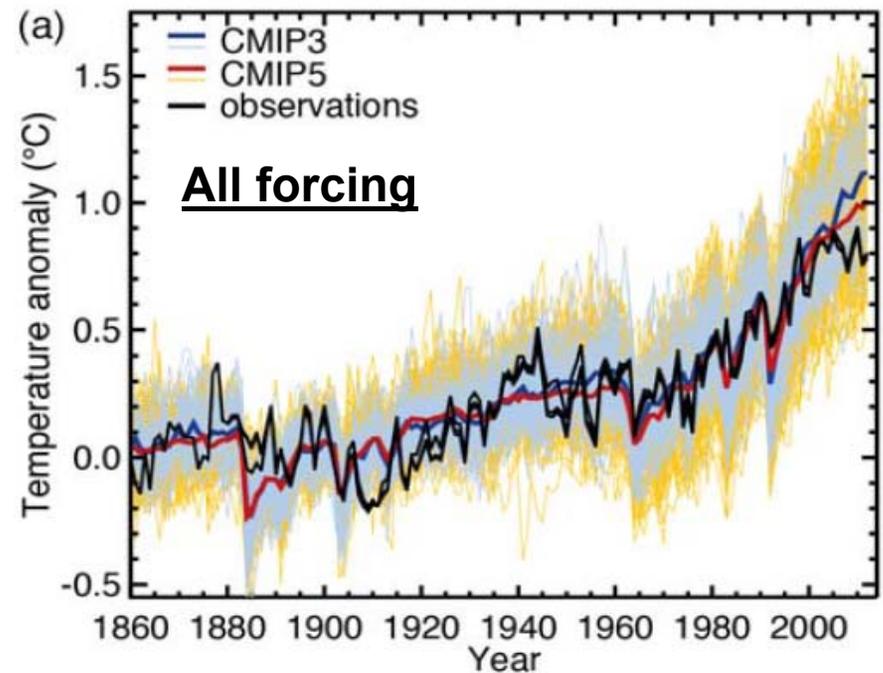
- ▶ Interne Wechselwirkungen im Klimasystem (Zirkulation, insbes. ENSO)
- ▶ Externe Einflüsse auf das Klimasystem (insbes. Sonnenaktivität, Vulkanismus; Mensch (Emission von Gasen und Partikeln))

Klimamodell- rechnungen ...

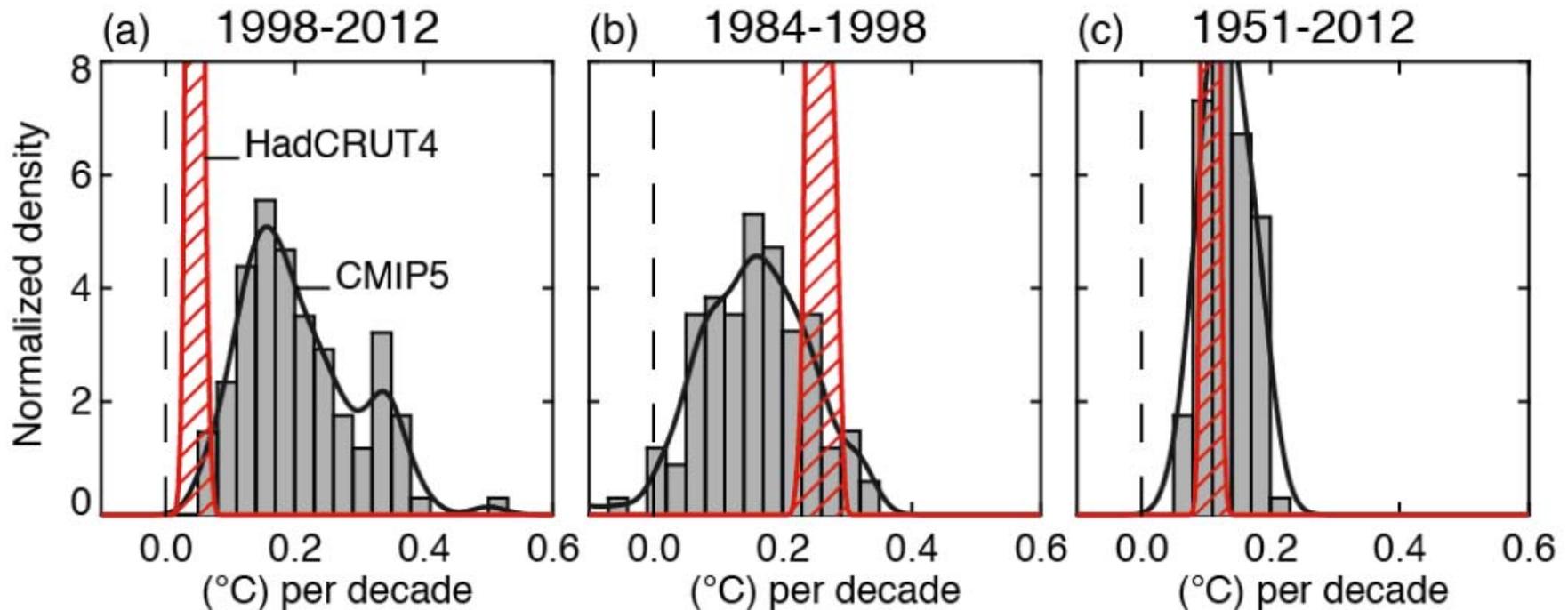
... zeigen, dass „der menschliche Einfluss mit extrem hoher Wahrscheinlichkeit * die dominante Ursache für die beobachtete Erwärmung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts ist“.

(IPCC, 2013)

*) $p > 95 \%$



Modellsimulationen (CMIP5) von Temperaturends im Vergleich mit **Beobachtungen (CRU)**



Die Übereinstimmung ist umso besser, je länger die betrachteten Zeitspannen sind. Für die jüngste Zeit (1998-2012) überschätzen die weitaus meisten CMIP5-Modellsimulationen den beobachteten Trend erheblich.

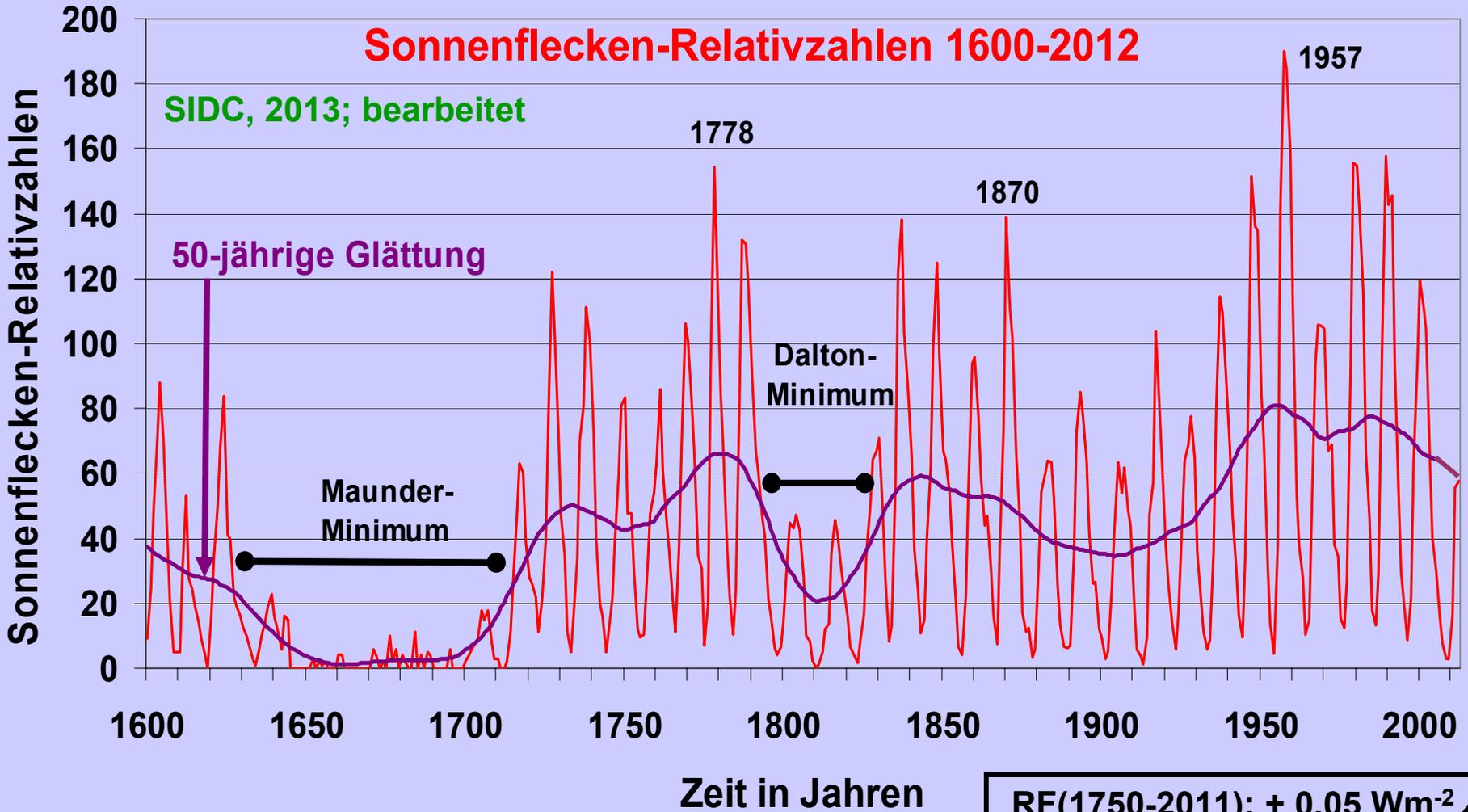
Zur Sonnenaktivität als Klimafaktor: SRZ

Zur Sonnenaktivität als Klimafaktor: SRZ

RF(1750-2011): + 0,05 Wm⁻²

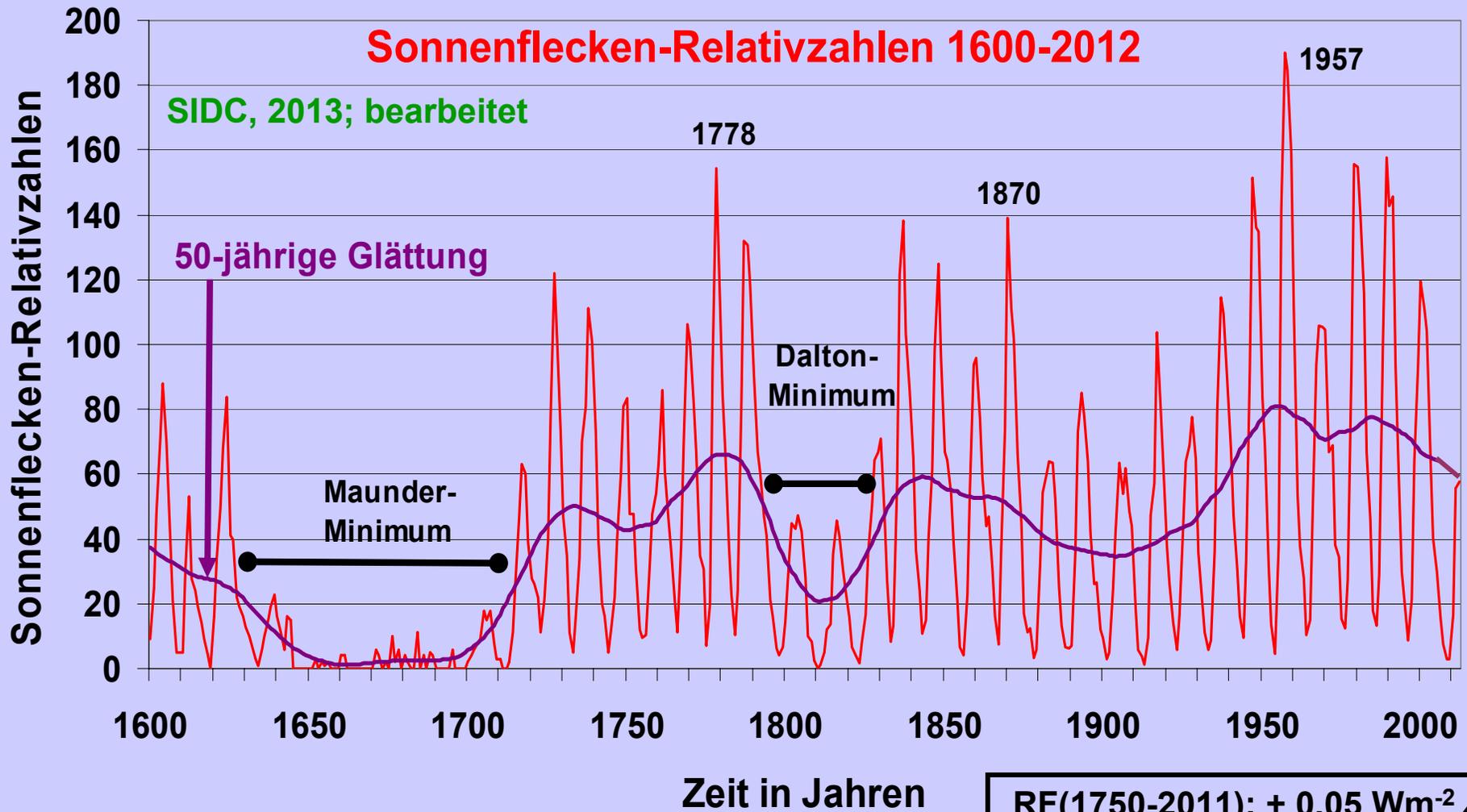
Die Sonnenaktivität hat neoklimatologisch nur einen sehr geringen Einfluss (IPCC, 2013).

Zur Sonnenaktivität als Klimafaktor: SRZ



Die Sonnenaktivität hat neoklimatologisch nur einen sehr geringen Einfluss (IPCC, 2013).

Zur Sonnenaktivität als Klimafaktor: SRZ

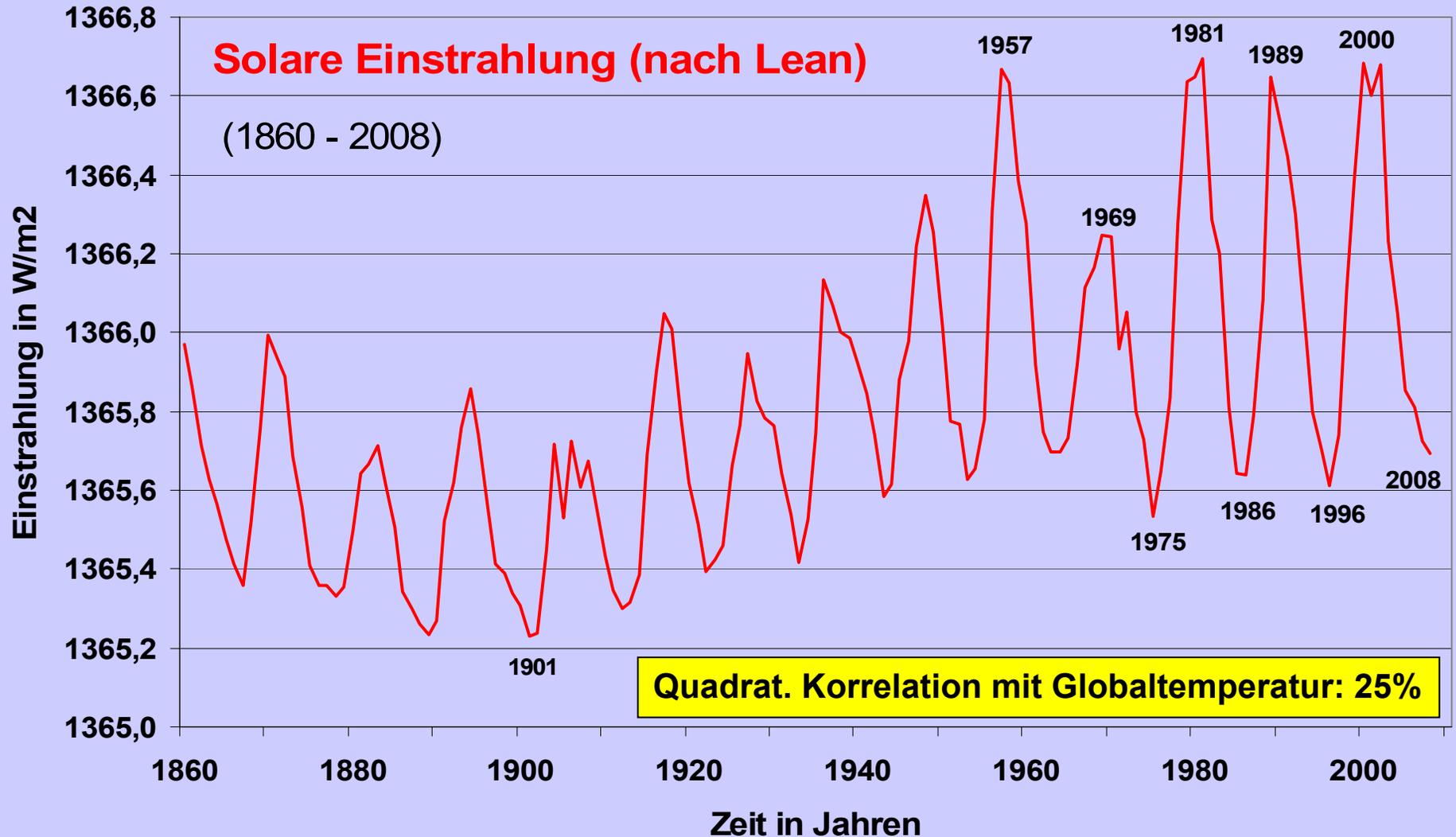


Die Sonnenaktivität hat neoklimatologisch nur einen sehr geringen Einfluss (IPCC, 2013).

Die SRZ gelten als Indikatoren für die Sonnenaktivität. Klimawirksam sind jedoch Begleiterscheinungen (Sonnenfackeln usw.); daher sehr geringe (quadrat.) Korrelation mit der Globaltemperatur (ab 1860: 2%). Sinnvoller sind Rekonstruktionen der „Solarkonstanten“.

Rekonstruktion der „Solarkonstanten“ als Effekt der Sonnenaktivität

Rekonstruktion der „Solarkonstanten“ als Effekt der Sonnenaktivität



Diese Zeitreihe geht von Satellitenmessungen der „Solarkonstanten“ aus und korreliert sie mit historischen Indizien der Sonnenaktivität, insbesondere SRZ (J. Lean, Center for Space Research, Washington, USA, 2010).

Auswahl großer historischer explosiver Vulkanausbrüche ab 1800

Vulkan	Region	Koordinaten	Mon./Jahr	VEI*; RF**
<u>Tambora</u>	Indonesien	8,3°S 118,0°O	4/1815	7; 25,5
Krakatau	Indonesien	6,1°S 105,4°O	8/1883	6; 6,7
Santa Maria	Guatemala	14,8°N 91,6°W	10/1902	6; 5,3
Katmai	USA (Alaska)	58,3°N 155,2°W	6/1912	6; 0,6
Agung	Indonesien	8,3°S 115,6°O	3/1963	4; 2,1
St. Helens	USA	46,2°N 122,2°W	5/1980	5; 0,1
El Chichón	Mexiko	17,3°N 93,2°W	3-4/1982	5; 1,5
Pinatubo	Philippinen	15,1°N 120,4°O	6(-8)/1991	5; 3,9***
Kasatochi****	USA (Aleuten)	52,2°N 175,5°W	8/2008	5; 0,7(?)

* Volcanic explosivity index (US Smithsonian Institution)

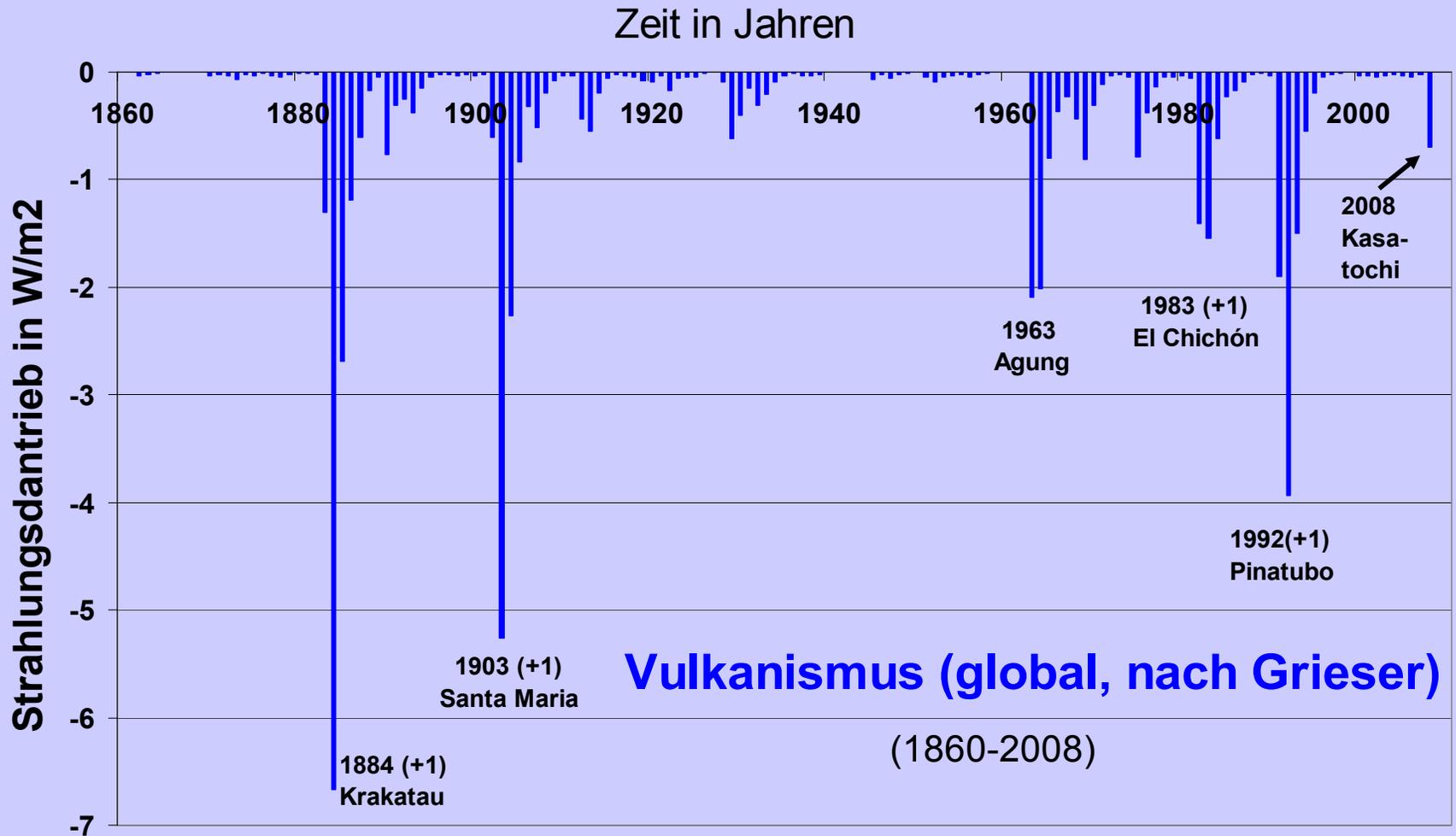
** Radiative forcing (Strahlungsantrieb) in Wm^{-2} nach Grieser/Schönwiese (1999), erg.

*** Jährliche Abfolge nach McCormick et al. (1995): 2,4 (1991), 3,2 (1992), 0,9 (1993)

**** Kurz zuvor (7/2008) Ausbruch des Okmok (auch Aleuten) mit ähnlicher Stärke

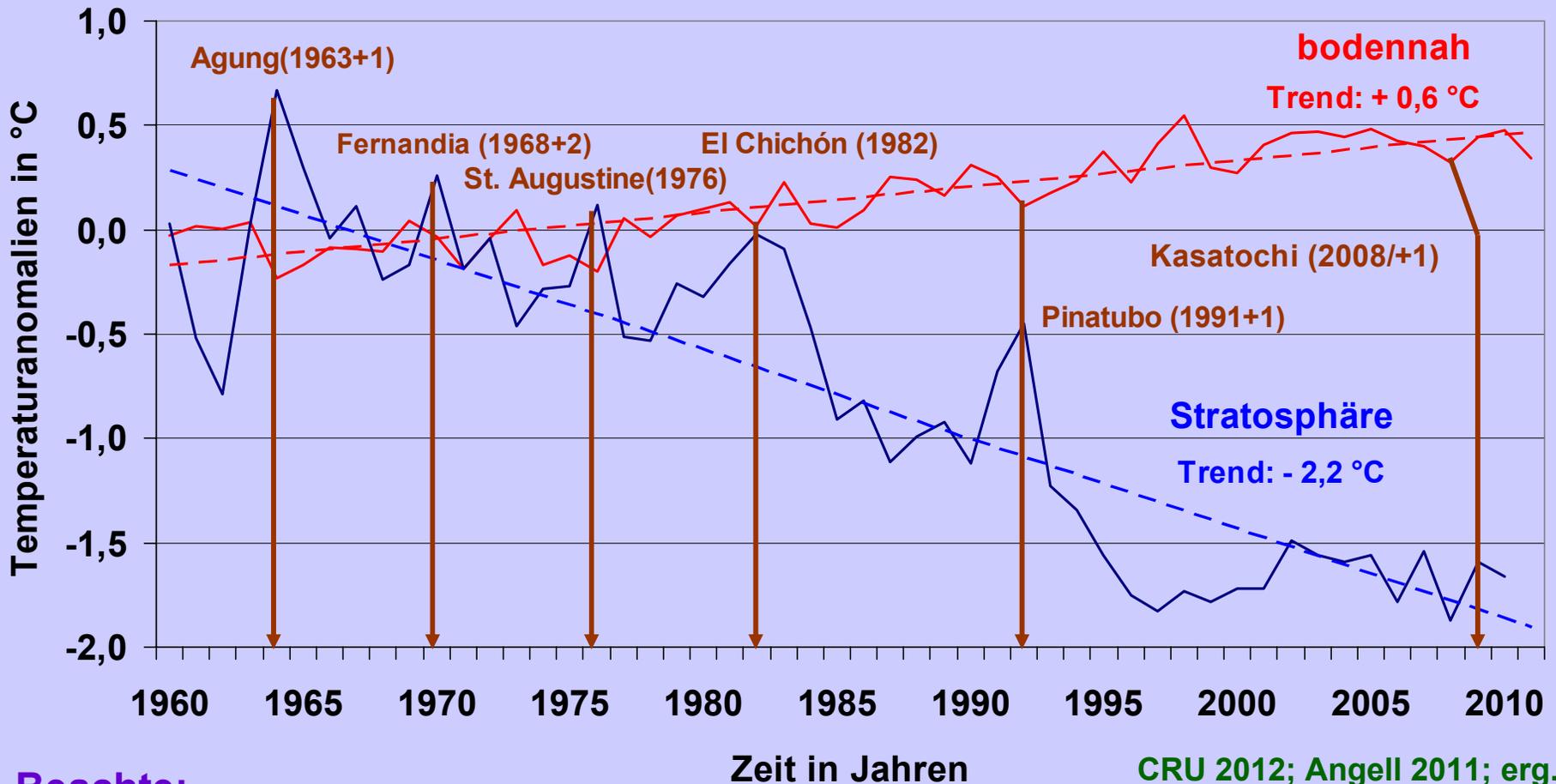
Verschiedene Quellen, hier nach Schönwiese, 2013

Zeitlicher Verlauf der Strahlungsantriebe durch den explosiven klimawirksamen Vulkanismus



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

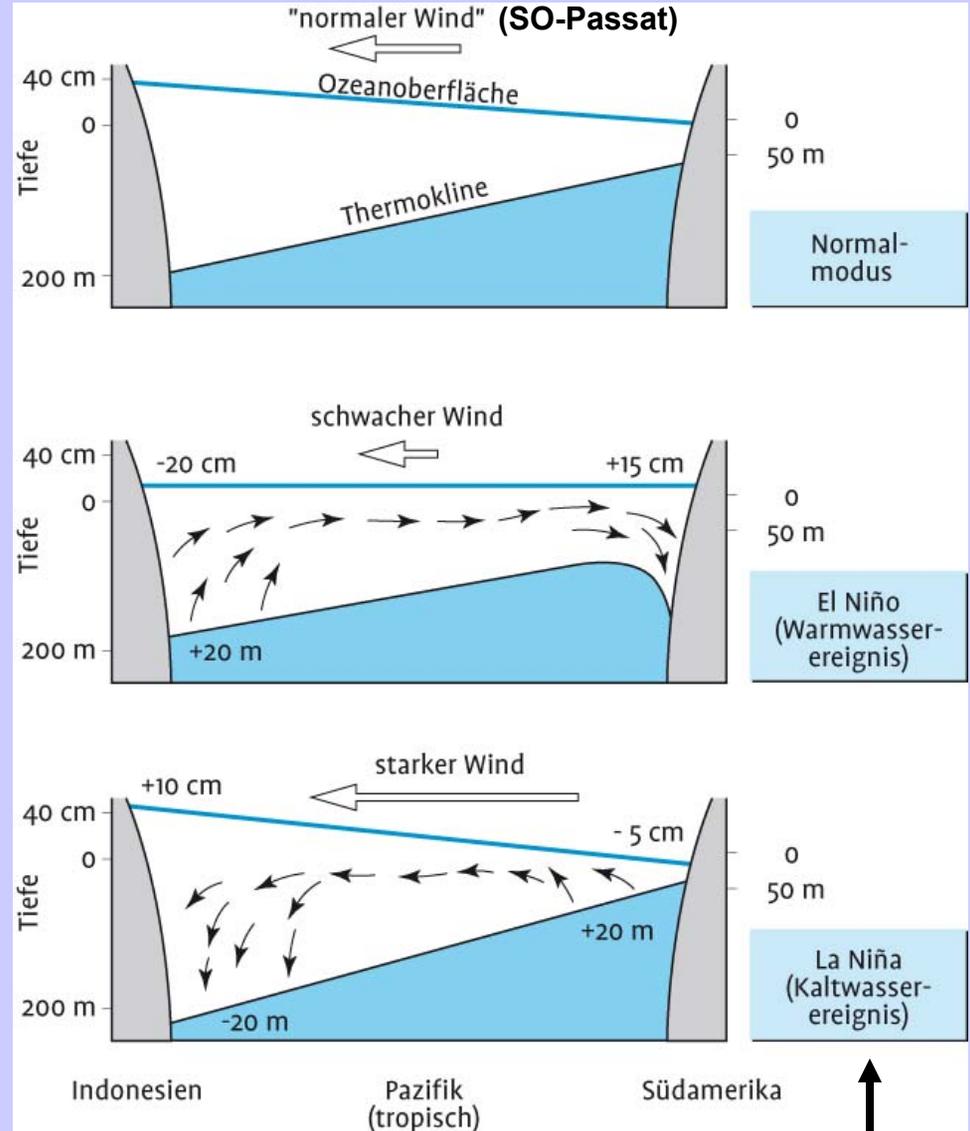
Globaltemperatur, Anomalien 1960 - 2011(2010)
Vergleich bodennah und Stratosphäre
(sowie einige explosive Vulkanausbrüche)



Beachte:

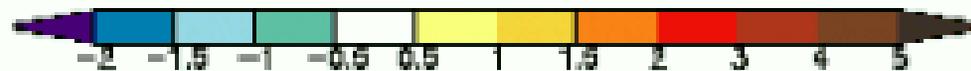
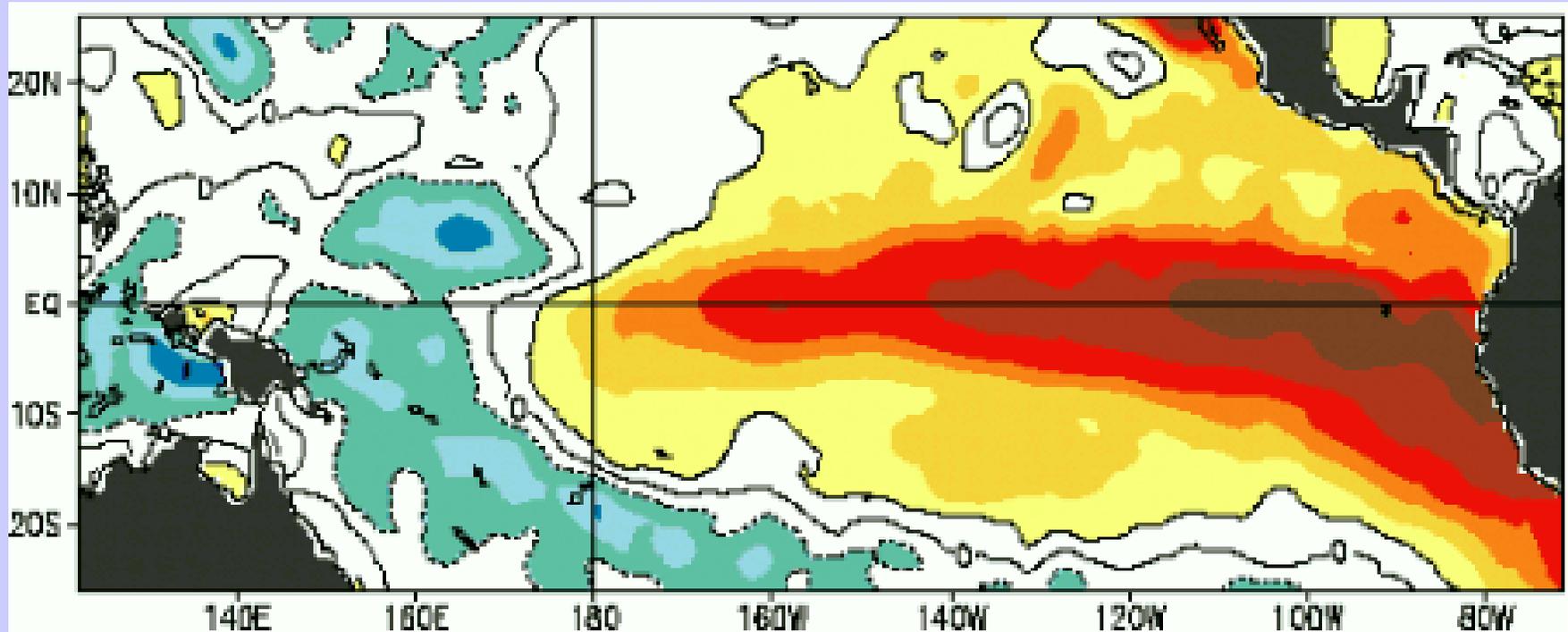
**Vulkanismus kühlt die Troposphäre und wärmt die Stratosphäre (vgl. oben);
 Sonnenaktivität wärmt die Troposphäre und Stratosphäre; „Treibhausgase“
 wärmen die Troposphäre und kühlen die Stratosphäre; interne Wechselwirkun-
 gen (z.B. ENSO) beeinflussen nur die Troposphäre (bodennahe Atmosphäre).**

El Niño – eine ozeanisch-atmosphärische Wechselwirkung im tropischen Ostpazifik



El Niño – Gebiet und Schema zum Eintritt von El Niño – und La Niña - Ereignissen

Das „Super“- El Niño - Ereignis 1997/1998: Meeresoberflächentemperatur*-Anomalien in °C



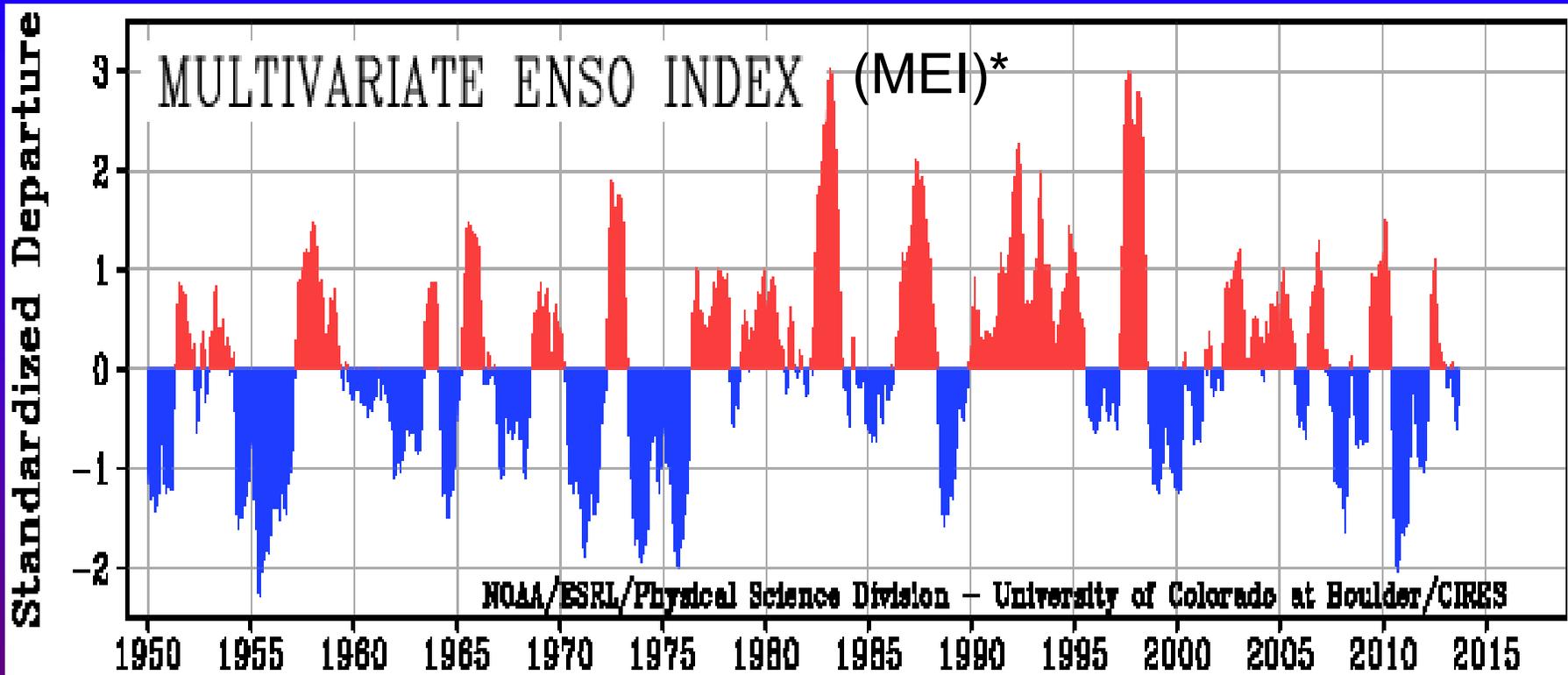
7-day average centered on 17 September 1997

Climate Prediction Center/NCEP/NWS

* engl. Sea Surface Temperature (SST)

El Niño - Index 1950 - 2013

(multivariate Version nach NOAA u.a., USA)

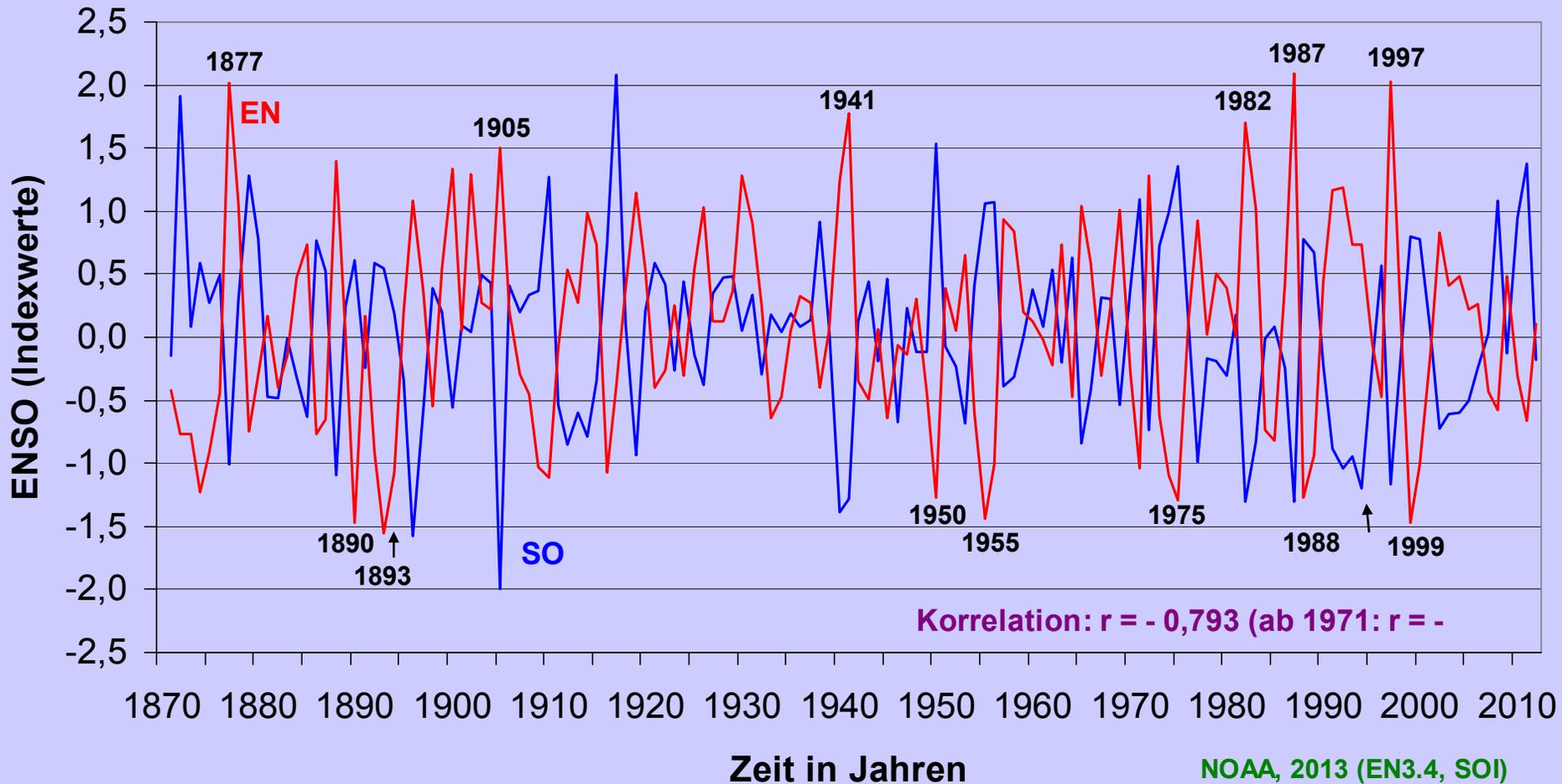


Aktuelle Monatsdaten (Stand 22. Okt. 2013).

Seit 2007/2008 überwiegen die La Niña - Phasen.

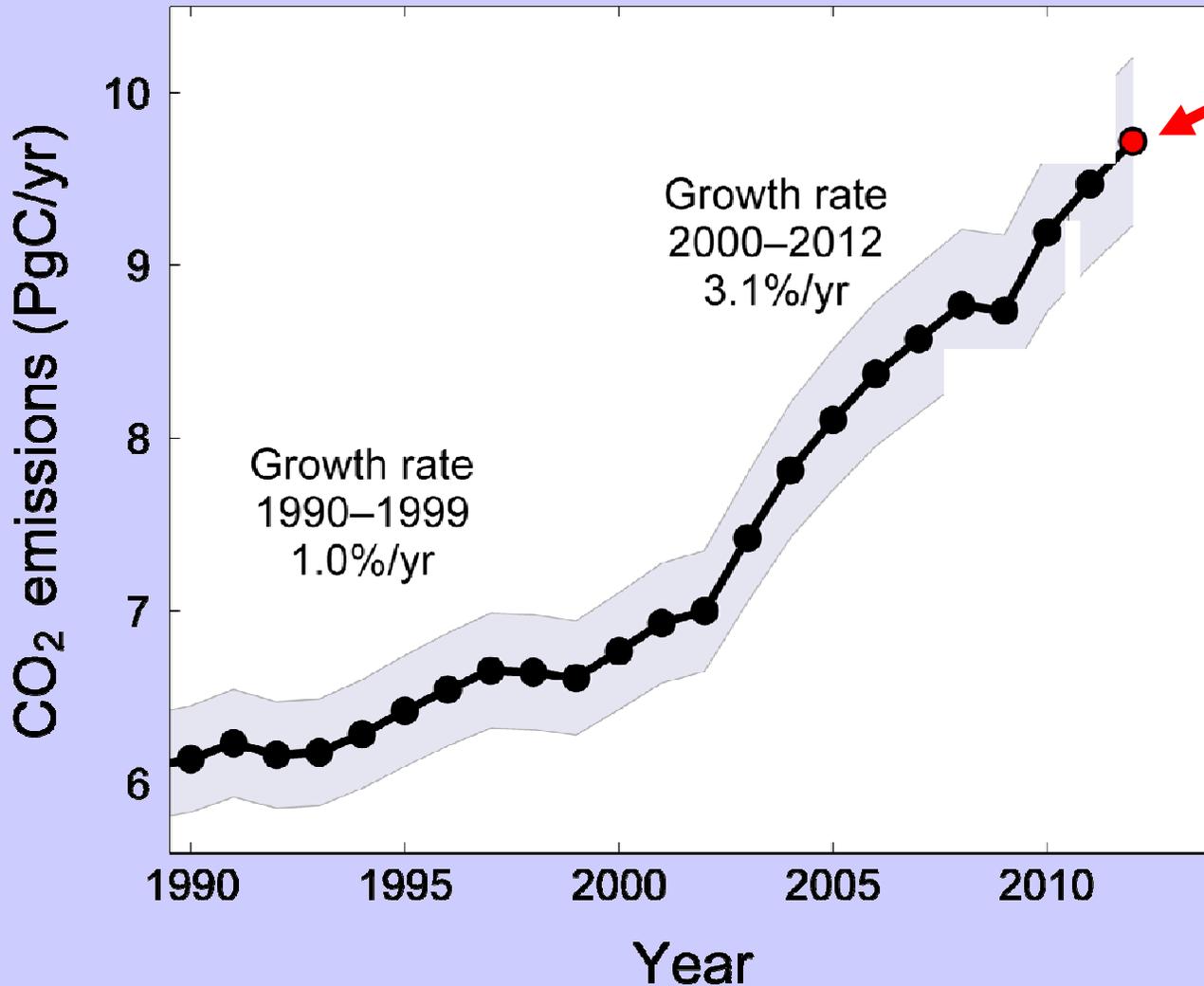
*Der MEI berücksichtigt außer SST auch Lufttemperatur, Luftdruck, Wind und Bewölkung (nach Wolter und Timlin (NOAA), 1993, 2011).

El Niño / Southern Oscillation (Jahreswerte 1871-2012)



El Niño (EN) kennzeichnet ursprünglich die SST*-Anomalien im tropischen Ostpazifik (alternative Regionen, hier EN 3-4). Sie sind eng mit der Southern Oscillation (SO, Luftdruckdifferenz zwischen Tahiti und Darwin, Australien) korreliert ► ENSO. * sea surface temperature

Globale CO₂-Emission durch fossile Energieträger (und Zementproduktion) 1990 - 2012



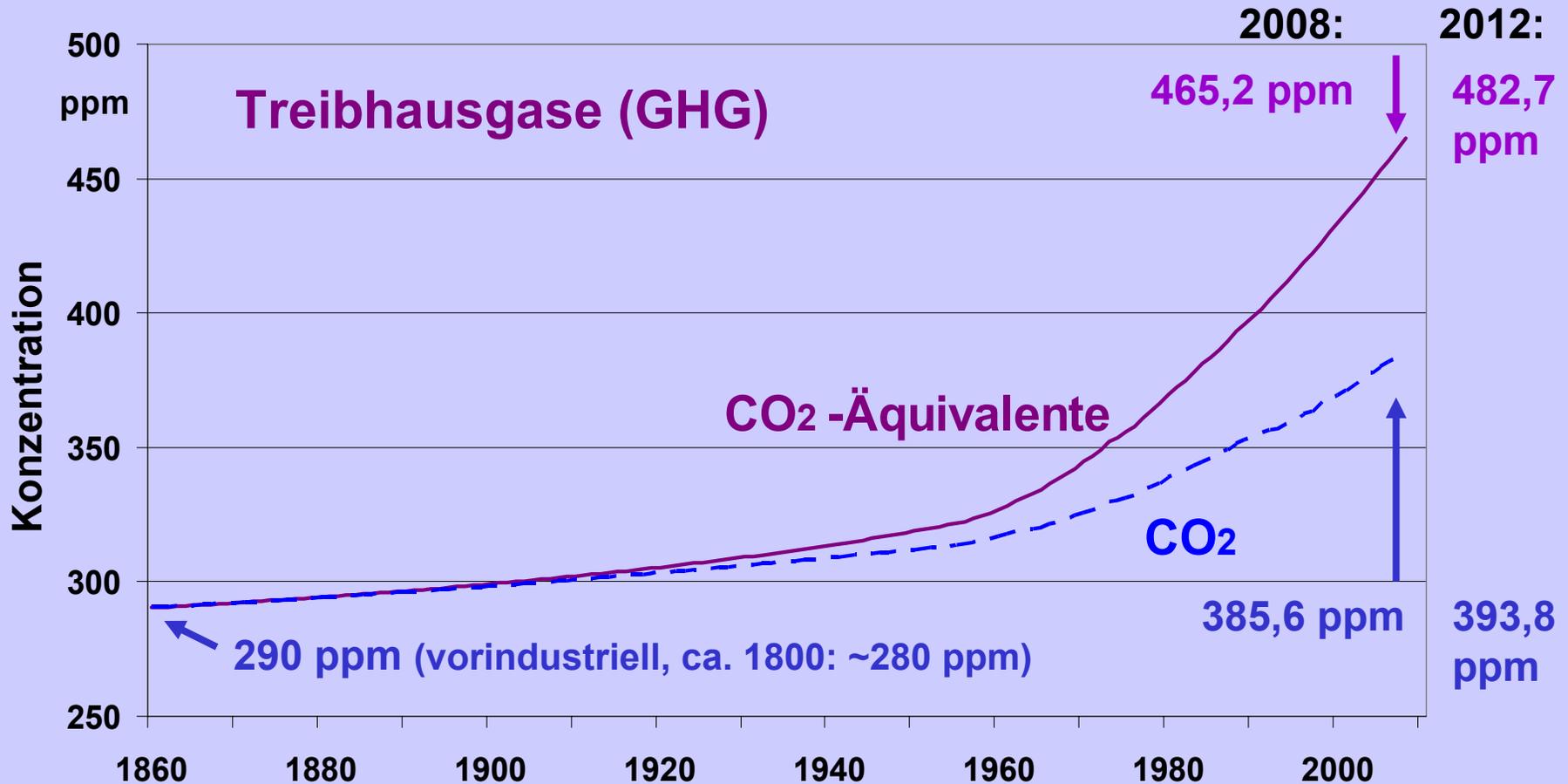
**2012: 9,7 GtC,
entsprechend
35,6 GtCO₂
(Unschärfe ±0,5 GtC);
insgesamt (mit
Waldrodungen etc.)
10,6 GtC
entsprechend
38,9 GtCO₂**

**1 Pg (Petagramm)
= 1 Gt (Gigatonne)
= 1 Mrd. Tonnen;
1 GtC ≈ 3.67 Gt CO₂**

**Global Carbon
Project 2012**

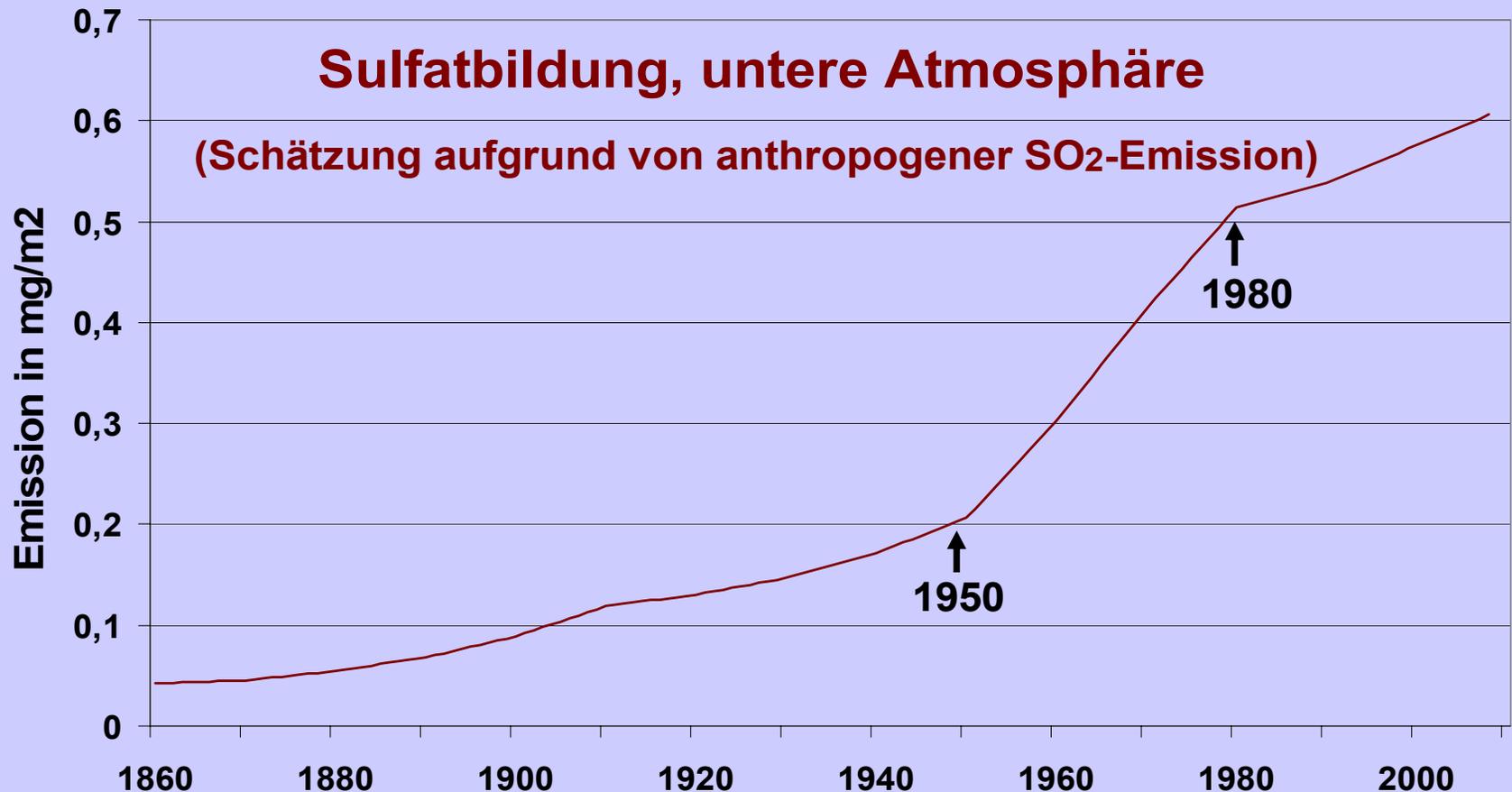
Die (atmosphärische) äquivalente CO₂-Konzentration ...

... setzt sich aus der CO₂-Konzentration und einem Zuschlagswert zusammen, der auf der Klimawirksamkeit der weiteren Gase beruht.



Die Emissionen und die Klimawirksamkeit der Partikel (Aerosole) sind sehr unterschiedlich.

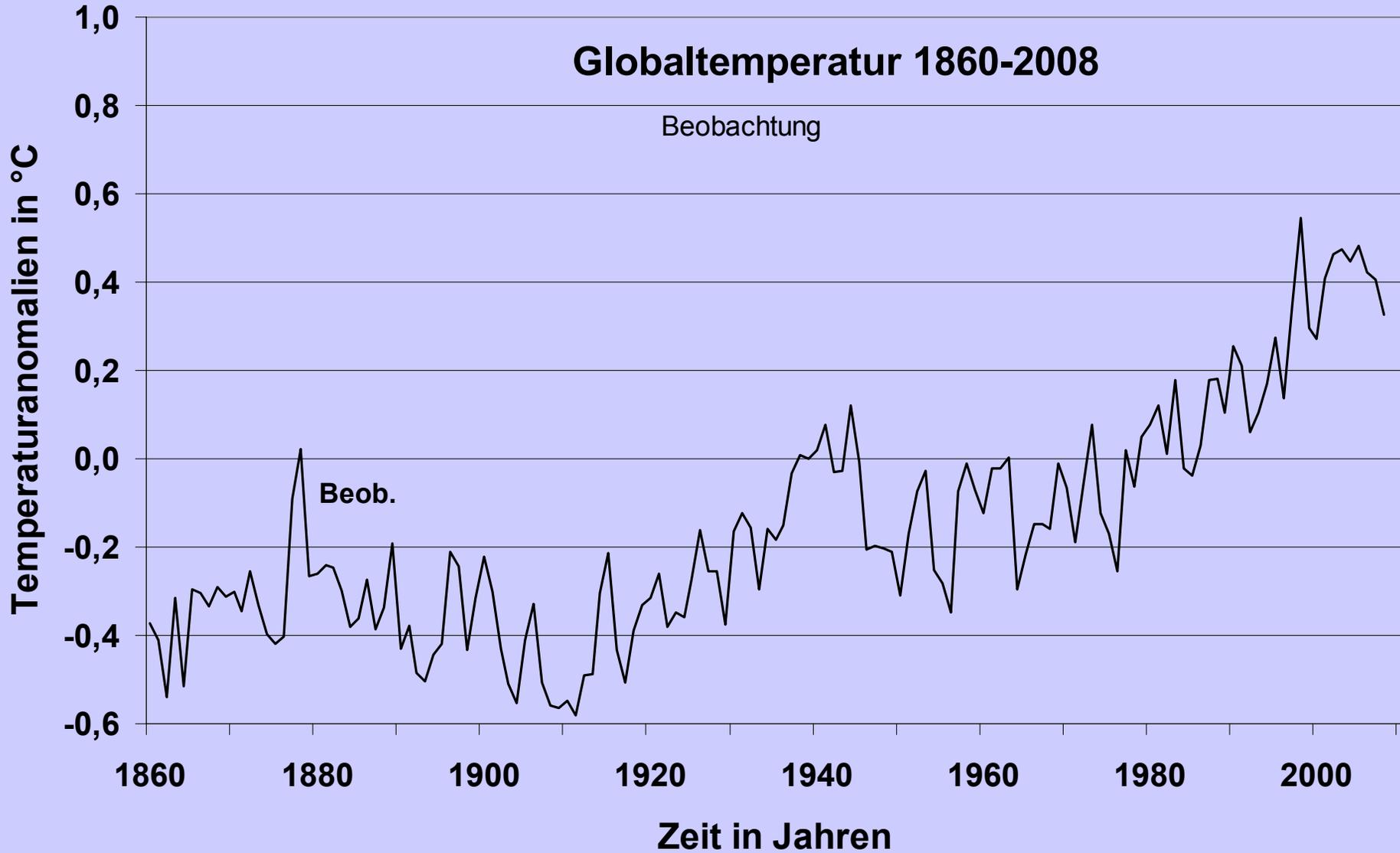
Sie sind im Folgenden nur partiell, grob und vorläufig berücksichtigt.



Quelle: R.J. Charlson et al., 1992; MPIM (Cubasch), extrapoliert; RF ca. $-1,2 \text{ Wm}^{-2}$.

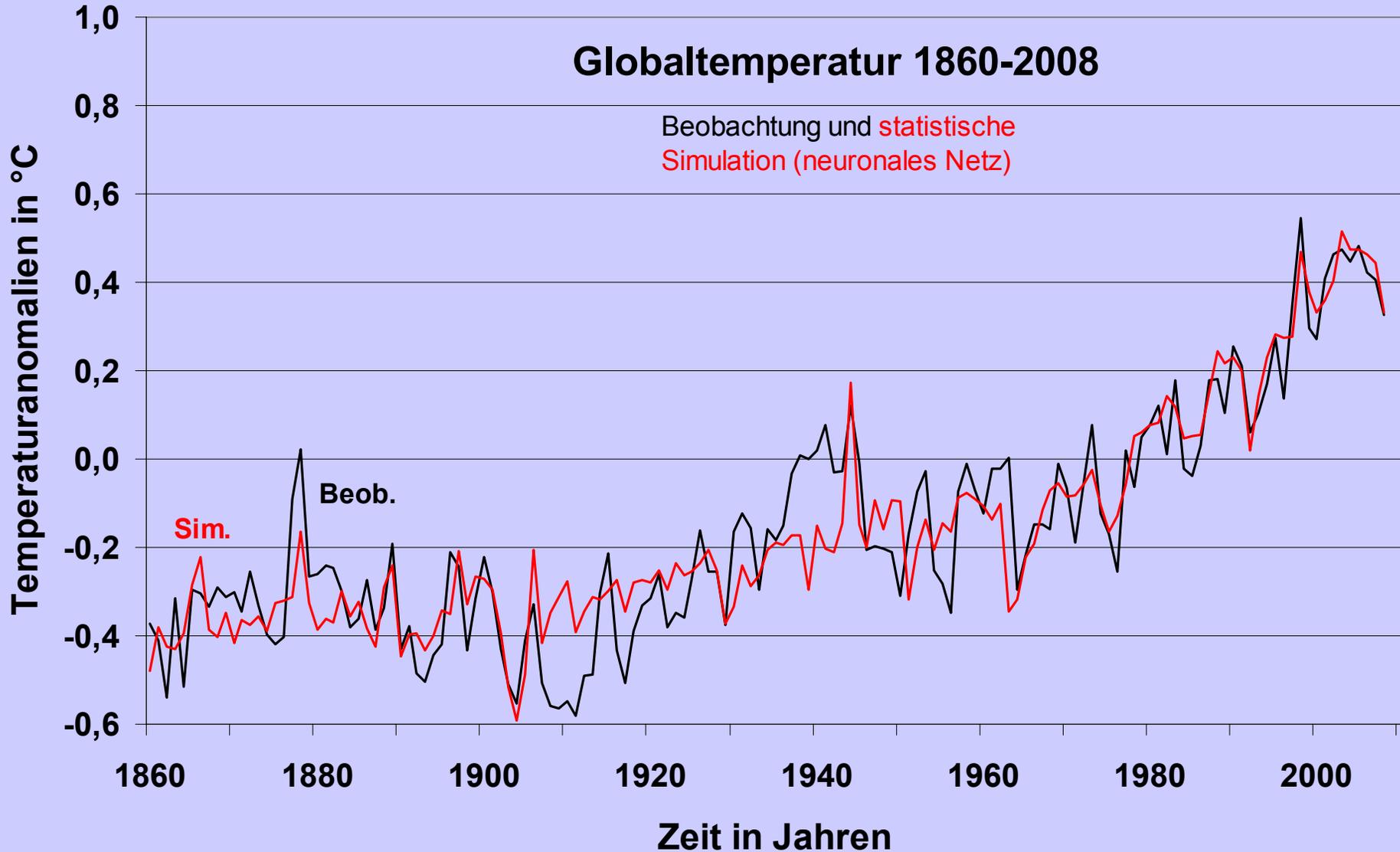
Der direkte und indirekte Gesamtstrahlungsantrieb (RF) der Aerosole beträgt 1750-2011 nach IPCC (2013) ca. -1 Wm^{-2} (dabei Ruß ca. $+0,6 \text{ Wm}^{-2}$).

Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)

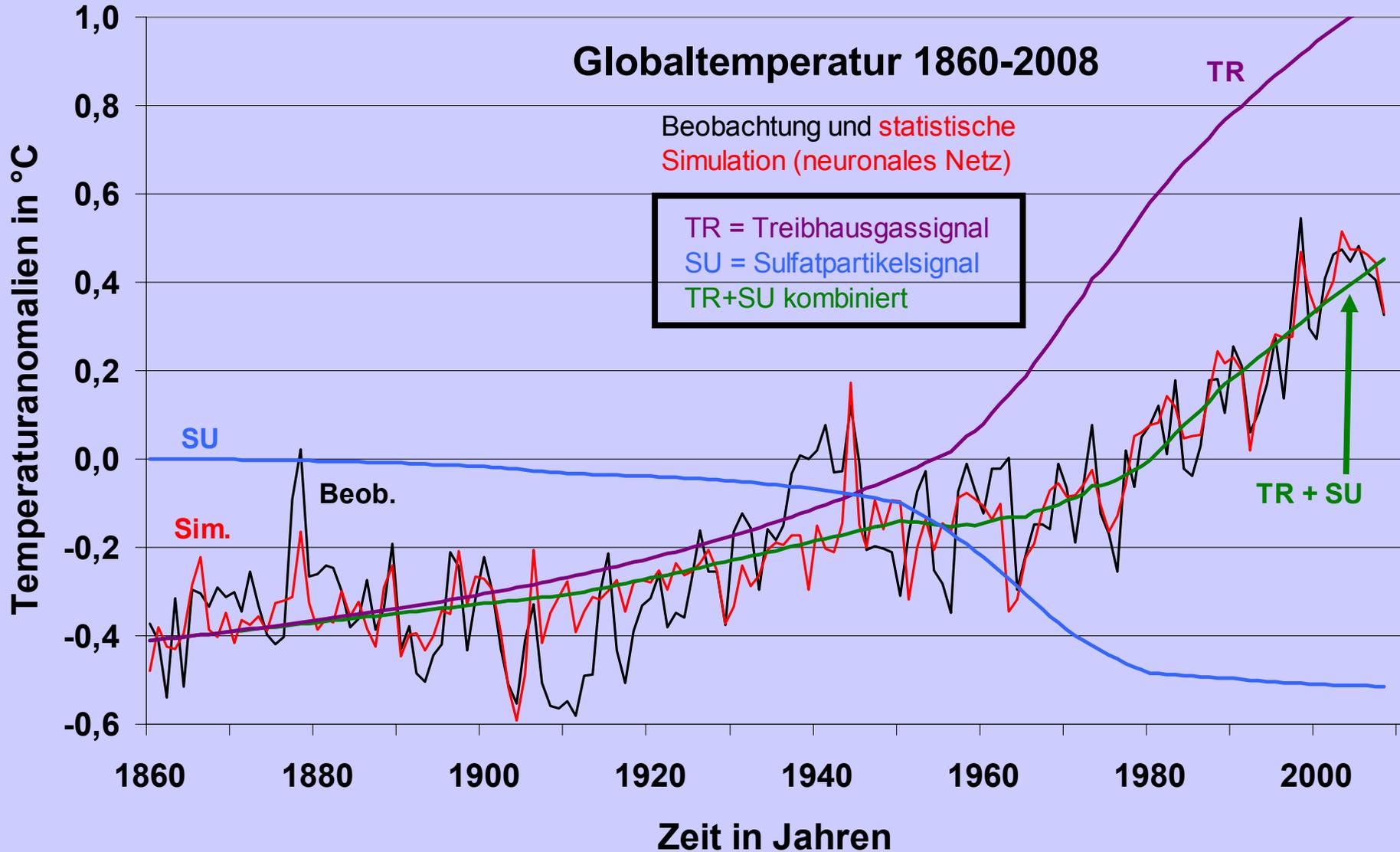


Schönwiese et al. 2010

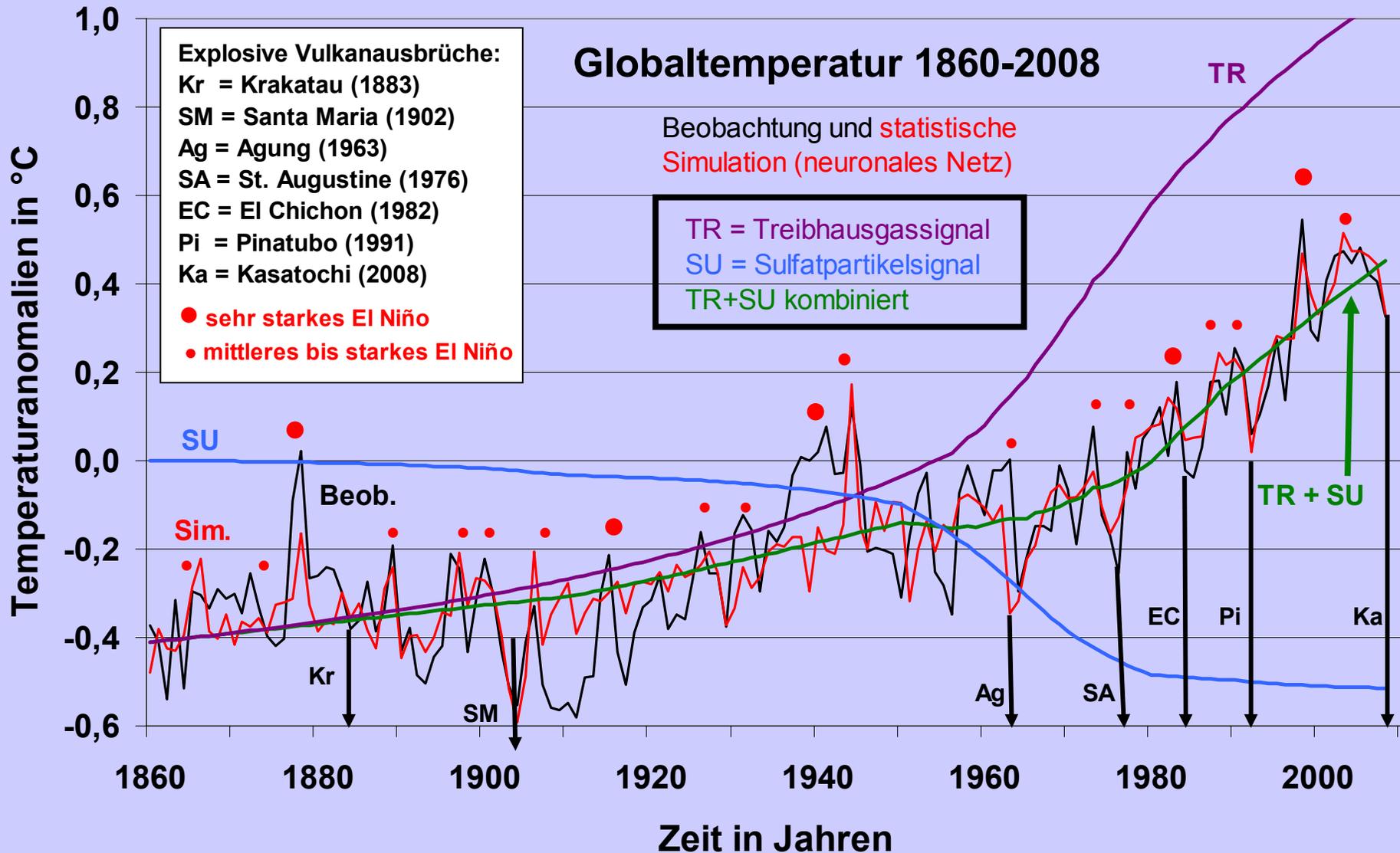
Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



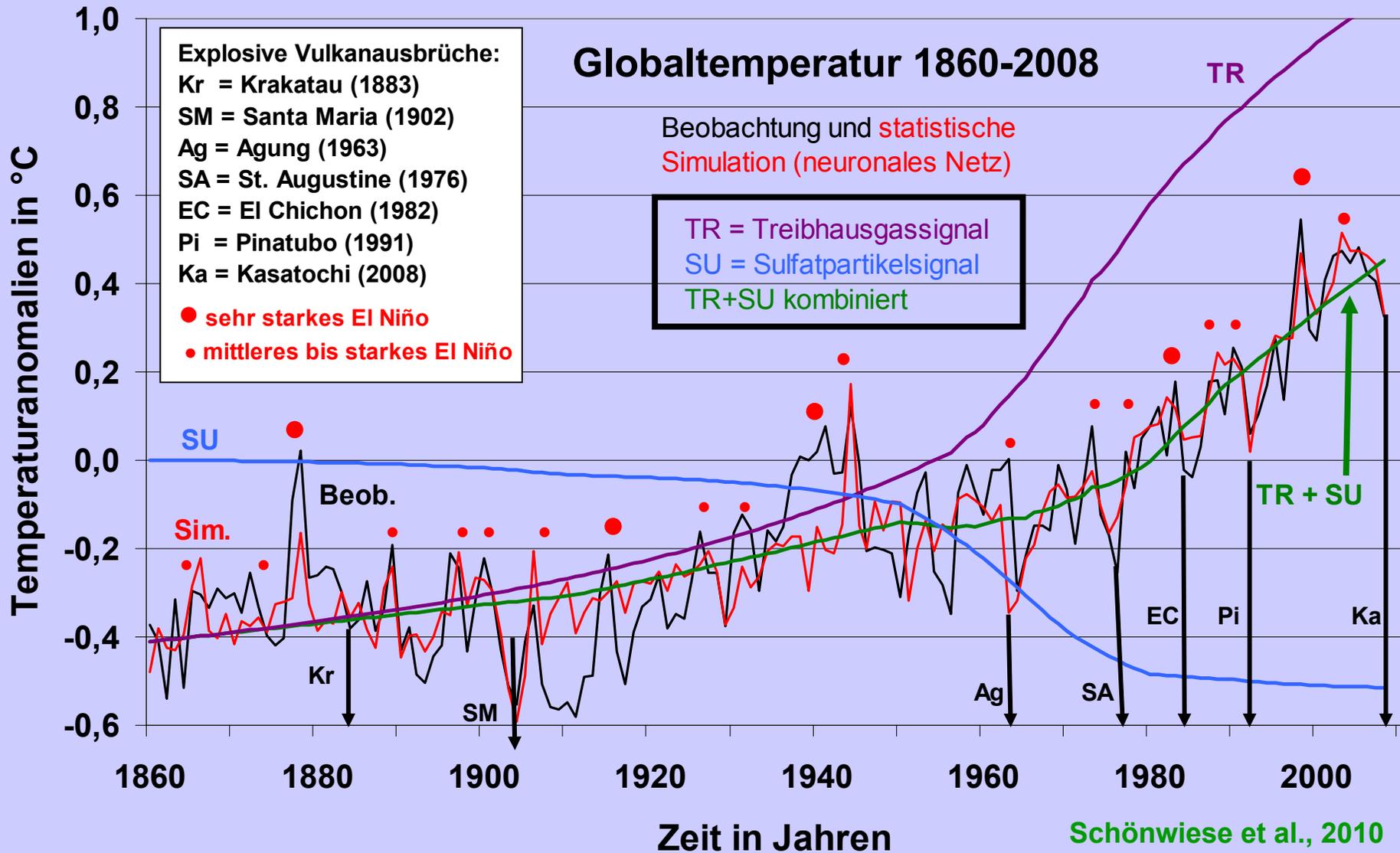
Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



Zur statistischen Ursachenanalyse (neuronales Netz)



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

Übersicht:

Strahlungsantriebe 1750-2011 (IPCC, 2013) und Klimasignale 1860-2008 (Schönwiese et al., 2010)

Klimafaktor	Strahlungsantrieb	TGL*- Signal	Signalstruktur
Treibhausgase, TR	+ 3,3 (2,4 - 4,3) Wm ⁻²	0,9 - 1,3 K	Progressiver Trend
Partikel (Aerosol) A	- 1,0 (0 - 2,4) Wm ⁻²	0,2 - 0,4 K	Uneinheitl. Trend
Kombiniert, TR+A	(+ 2,3 Wm ⁻²)	(0,5 - 1,1 K)	Uneinheitl. Trend
Vulkaneruptionen	- 1- 3 Wm ⁻² (max.)**	0,1 - 0,2 K	Episodisch (1-3 a)
Sonnenaktivität	+ 0,1 Wm ⁻²	0,1 - 0,2 K	Fluktuativ
ENSO (SOI) ***	Entfällt (+)	0,2 - 0,3 K	Episodisch (n• mon)

* global gemittelte bodennahe Lufttemperatur, Signalabschätzungen mittels neuronaler Netze

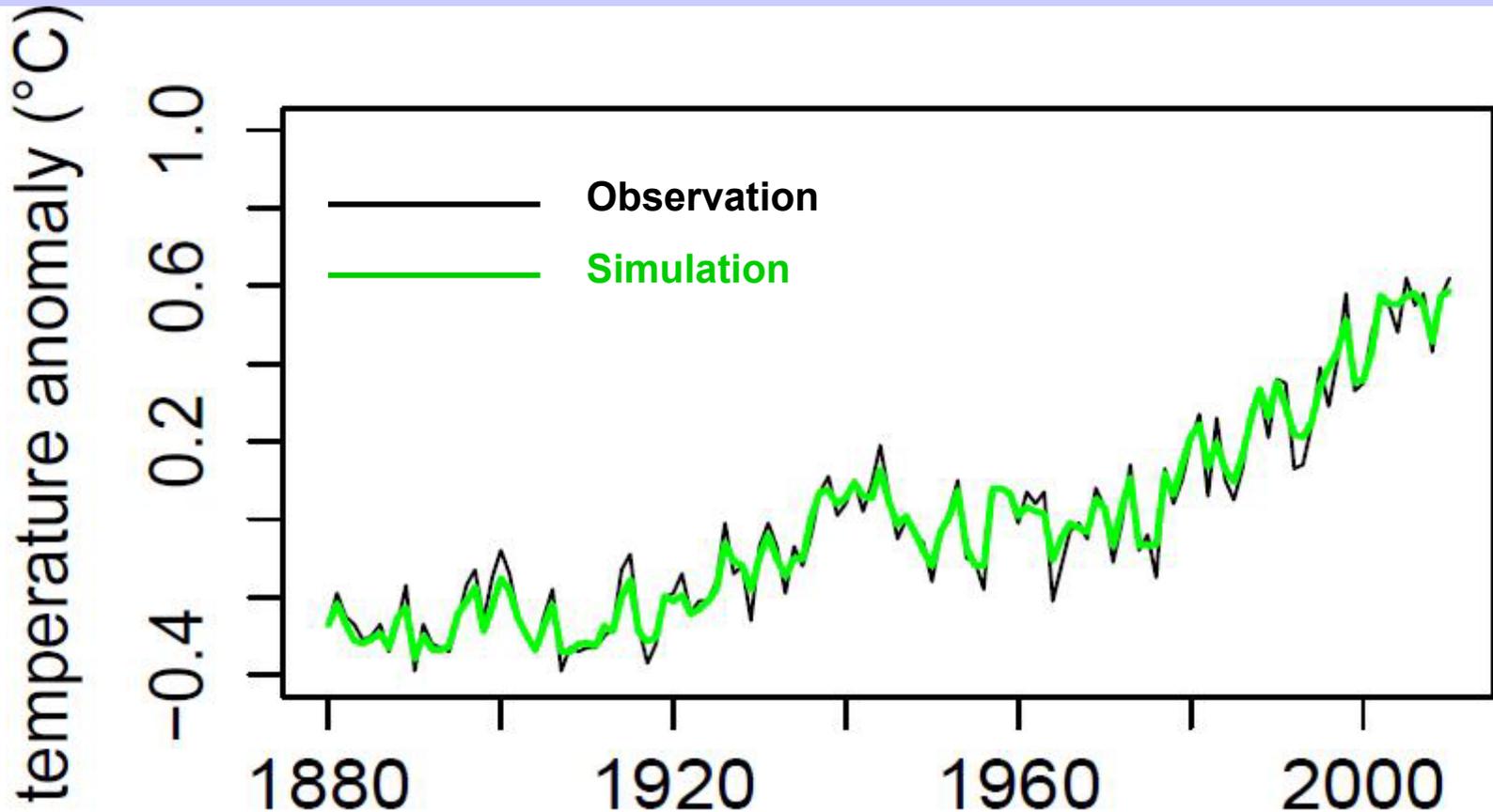
** Pinatubo-Ausbruch 1991: 2,4 Wm⁻², 1992: 3,2 Wm⁻², 1993: 0,9 Wm⁻² (McCormick et al. 1995)

*** El Niño / Southern Oscillation (hier Southern Oscillation Index)

Die erklärte Varianz (TGL) liegt je nach Modell zwischen 76 % und 88 %

Signifikanztests (Auswahl): F-Tests EV → p > 99 % (α < 0.01);
Simulationen mit Zufallsantrieben, MLR (500 Sim.) → 0 % < EV < 22 %
(EV = 2,6 %); NN max. 37 %, Verifikationsphase 0 %;
Residuumanalyse (MLR und NN) → normalverteilt und stationär.

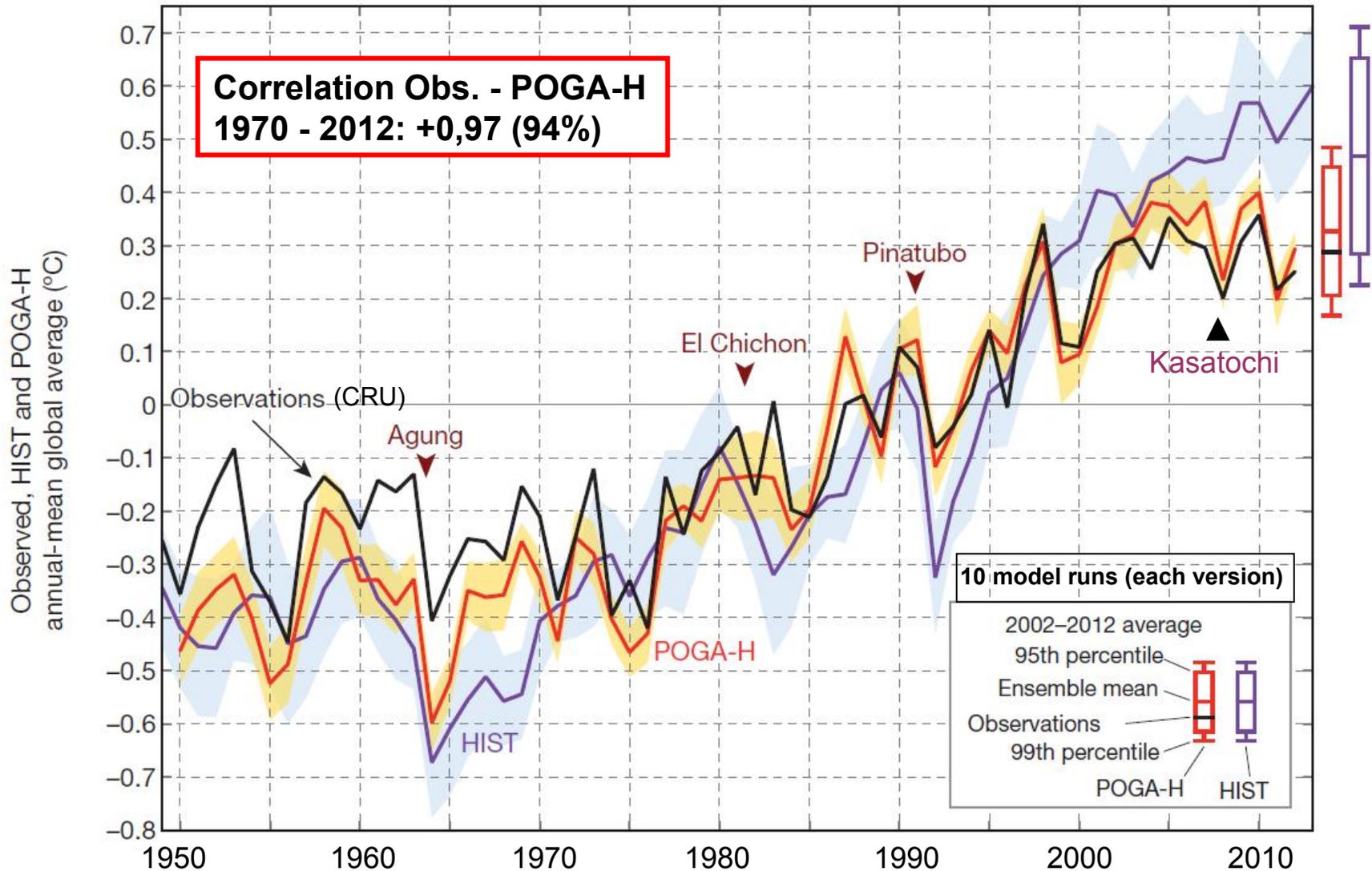
Neue statistische Analysen mittels neuronaler Netze sind auf dem Weg



Beobachtung: Globaltemperatur 1880-2010, Datensatz NASA-GISS
Simulation: neue Technik (Random Forest), verb. Aerosol-Antrieb
Varianzerklärung: 95 %

Quelle: Walter, A., et al. 2013, in Vorbereitung

Klimamodellsimulation ohne und mit ENSO-Berücksichtigung (d.h. mit SST* im zentral-östlichen Pazifik als zusätzl. Antrieb)



* sea surface temperature

Kosaka und Xie, 2013 (Nature), erg.

Folgerungen

- Die **Globaltemperatur*** ist eine Schlüsselgröße der Klimabeobachtung (Monitoring).
- Sie setzt sich aus einem langfristigen (nicht-linearen) Trend, der im Wesentlichen anthropogen ist, und überlagerten annuären bis dekadischen natürlichen Anomalien/Fluktuationen zusammen.
- Diese überlagerten Variationen (hervorgerufen durch (Vulkanismus, Sonnenaktivität, ENSO usw.) können vorübergehend dominant werden.
- Die Simulation durch physikalische Modelle gelingt umso besser, je länger die betrachtete Zeitspanne ist.
- Dagegen lassen sich durch statistische Methoden auch kürzerfristige Variationen gut reproduzieren.
- Es ist wahrscheinlich, dass sich die nach 1998 feststellbare Verlangsamung der globalen Erwärmung in den nächsten Jahren wieder beschleunigt, wobei jedoch die Rolle des Ozeans noch nicht ganz klar ist.



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)