

# **KLIMAWANDEL 2: DIE ZUKUNFT**

**Reinhard Böhm**

**Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
Abt. Klimaforschung**

# ZUKUNFTSERWARTUNGEN

KÖNNEN ABGESCHÄTZT WERDEN IN DEM MAN DIE GEZEIGTEN  
**KLIMAANTRIEBE** EINEM RECHENMODELL „MITTEILT“

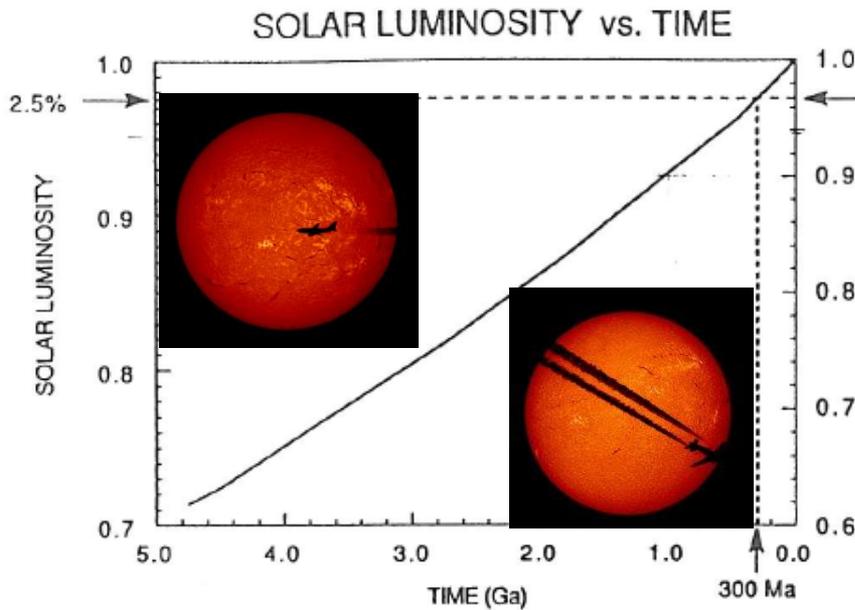
→ UND DAS MODELL DIE **REAKTION DES KLIMASYSTEMS** AUF DIESE  
ANTRIEBEN BERECHNET

# **KLIMAAANTRIEBE**

**SIND SEHR UNTERSCHIEDLICH  
JE NACH DER BETRACHTETEN  
ZEITSKALA**

# Natürliche Klimaantriebe auf der ganz langen Skala:

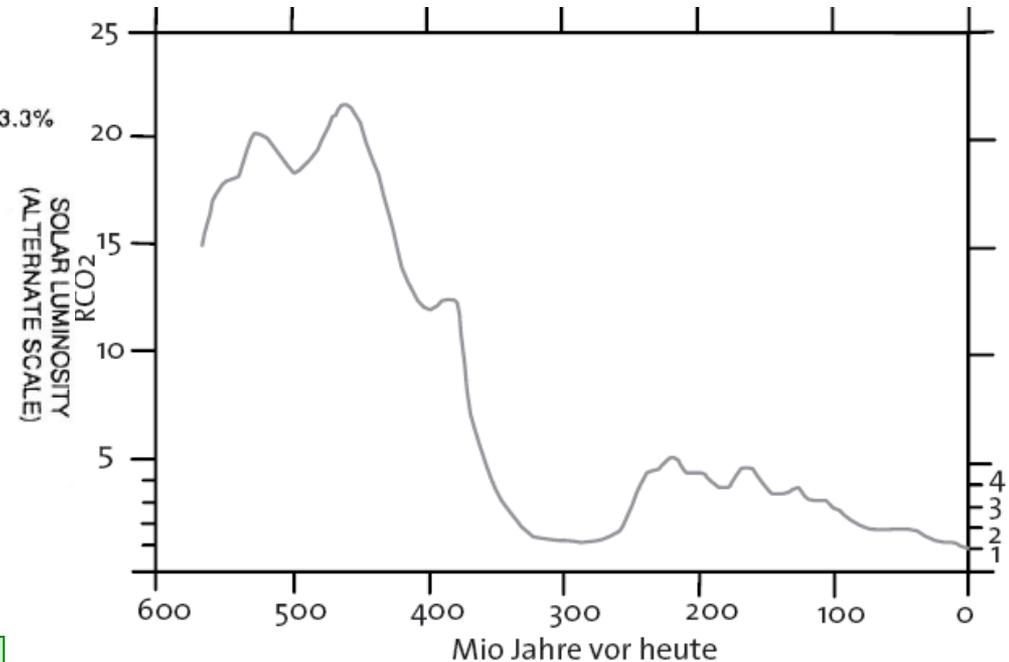
**5 Milliarden Jahre** - **600 Millionen Jahre**  
**„Faint Young Sun“** **Treibhausgase**



Rekonstruktion der **Leuchtkraft der Sonne** seit Beginn (die letzten 4.7 Milliarden Jahre). Die vertikale Skala zeigt die Intensität der Sonnenstrahlung relativ zu heute

Quelle: Huber, McLeod, Wing, 2000

<http://www.kso.ac.at> (Sonnenobservatorium Kanzelhöhe)

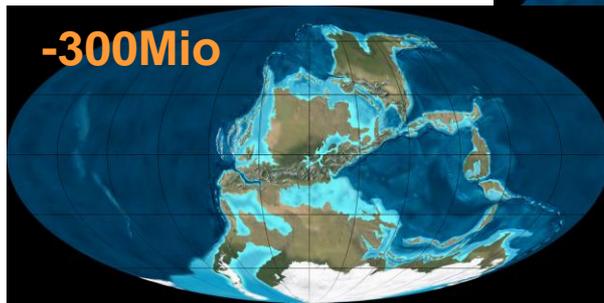
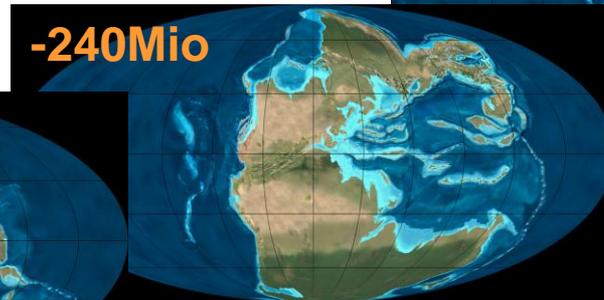
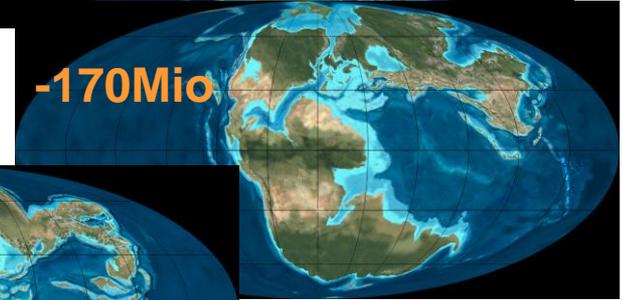
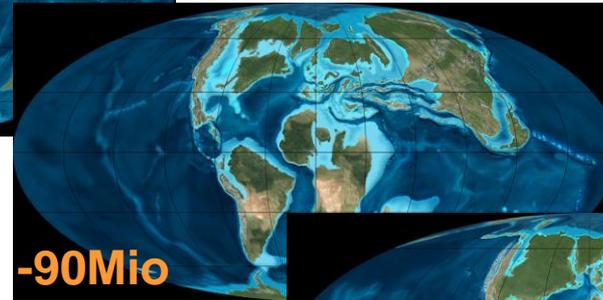
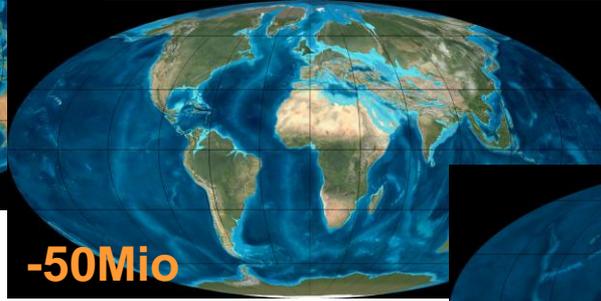
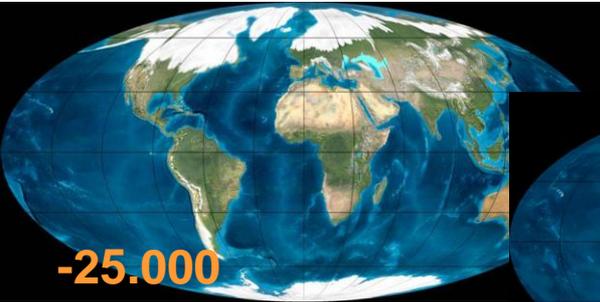


Rekonstruktion des **CO<sub>2</sub>-Gehalts** der Erdatmosphäre für die letzten 600 Millionen Jahre. Die vertikale Skala zeigt den CO<sub>2</sub>-Gehalt in Relativeinheiten zum heutigen an (300ppm = 1).

Quelle: Huber, McLeod, Wing, 2000

# Plattentektonik (Kontinentalverschiebung)

Wegener A, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.  
4.Auflage von 1929, neu herausgegeben 2005, Verl.  
Bornträger, 481 Seiten. ISBN 978-3443010560

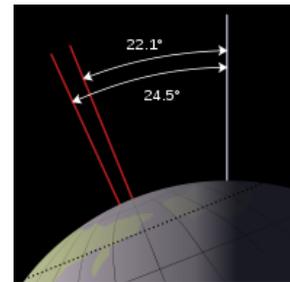
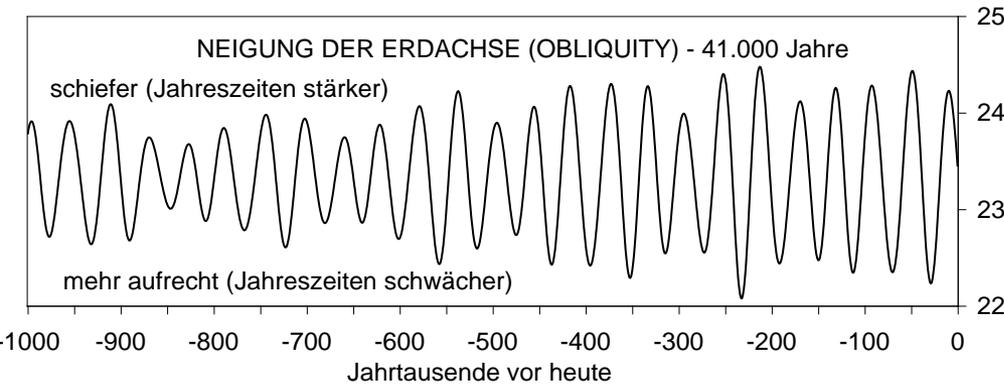


Die **Verteilung der Kontinente** beeinflusst sowohl das **regionale Klima** (z.B. Paleobreitengrad...) aber auch das **globale Klima** (z.B. veränderte Meeresströmungen, Albedo-Rückkopplung, wenn Landmassen in hohen Breiten...)

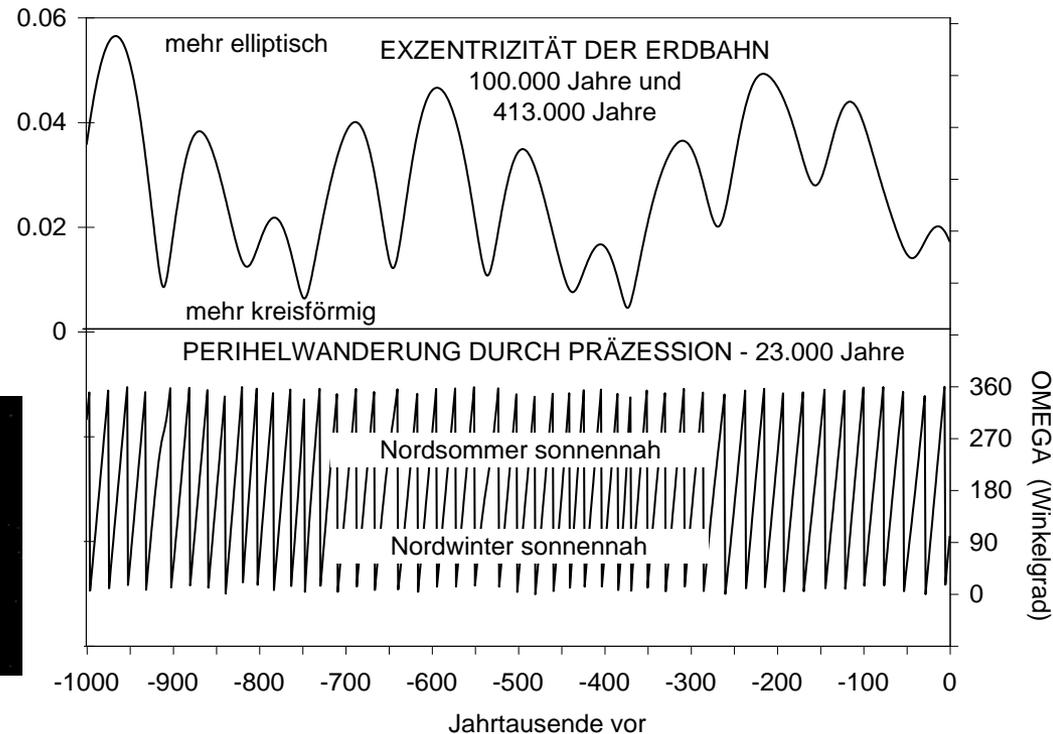
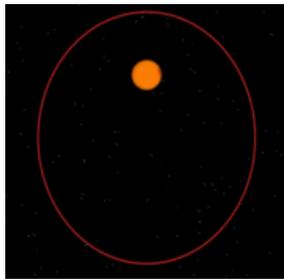
Blakey R, download 2009. Global Paleogeographic Views of Earth History - Late Precambrian to Recent. <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/>

# Natürliche Klimaantriebe auf der langen Zeitskala: Eine Million Jahre und mehr

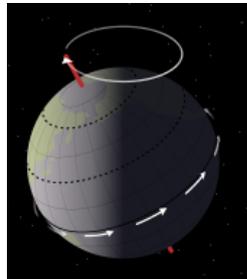
## Die Milanković-Zyklen der **astronomischen Erdbahnparameter**



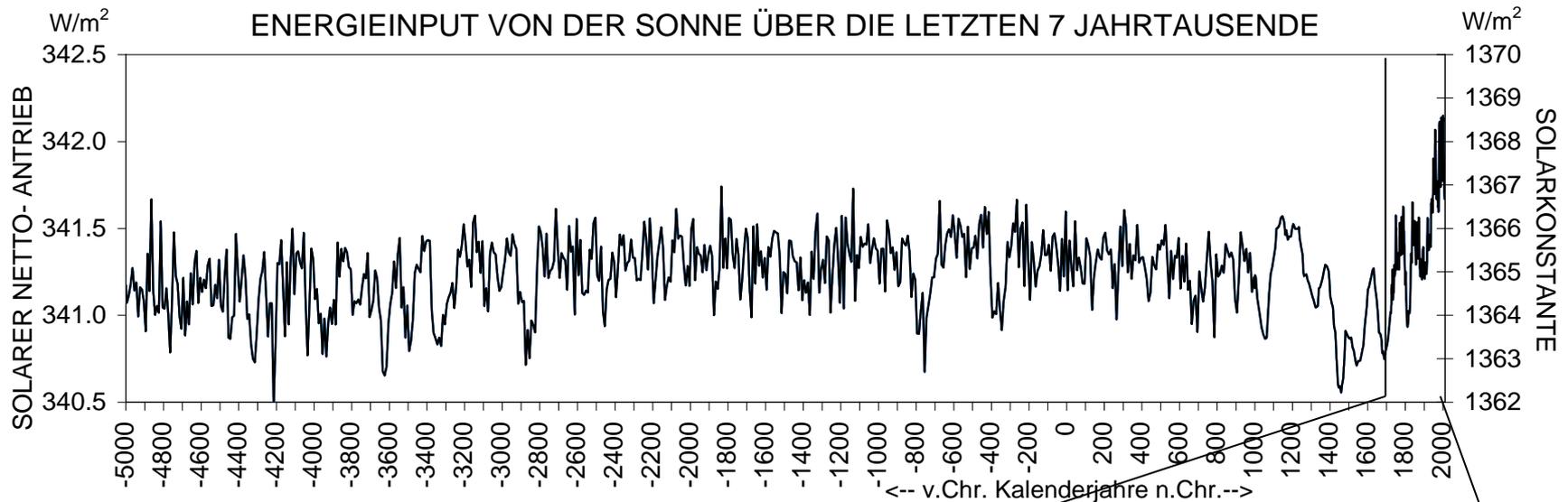
Milanković M, 1941.  
Kanon der Erdbestahlung und  
seine Anwendung auf das  
Eiszeitenproblem.  
*Académie royale serbe. Editions  
speziales 132:XX*, Belgrad, 633  
Seiten



Berger A, Loutre MF, 1991.  
Insolation values for the climate of  
the last 10 million years.  
*Quaternary Science Reviews 10:*  
297-317



# Klimaantrieb Sonne auf der mittleren Skala: 7000 Jahre



## Variabilität der „Solarkonstante“:

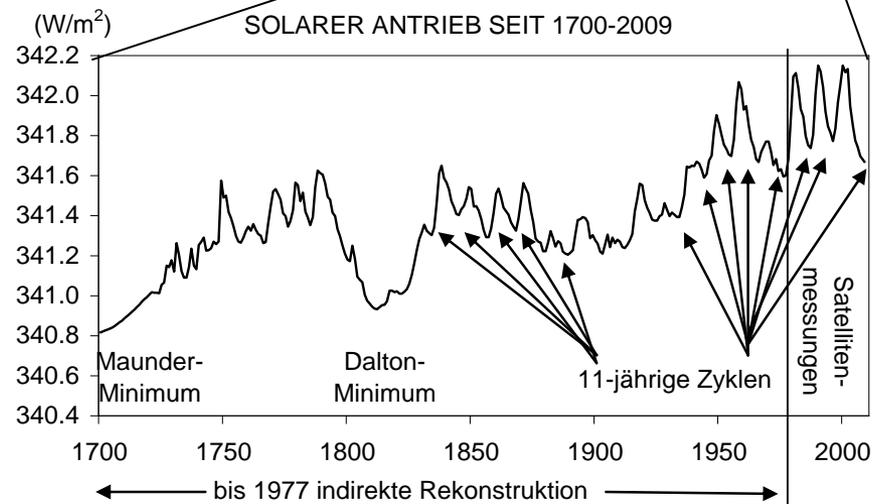
Aus direkten Satellitenmessungen, Sonnenfleckenbeobachtungen und aus kosmogenen Baum-Jahring-  $^{14}\text{C}$ - und  $^{10}\text{Be}$ -Isotopenreihen aus Eisbohrkernen

### Quellen:

Fröhlich C, 2000: Observations of Irradiance Variations. *Space Science Rev.* **94**: 15-24

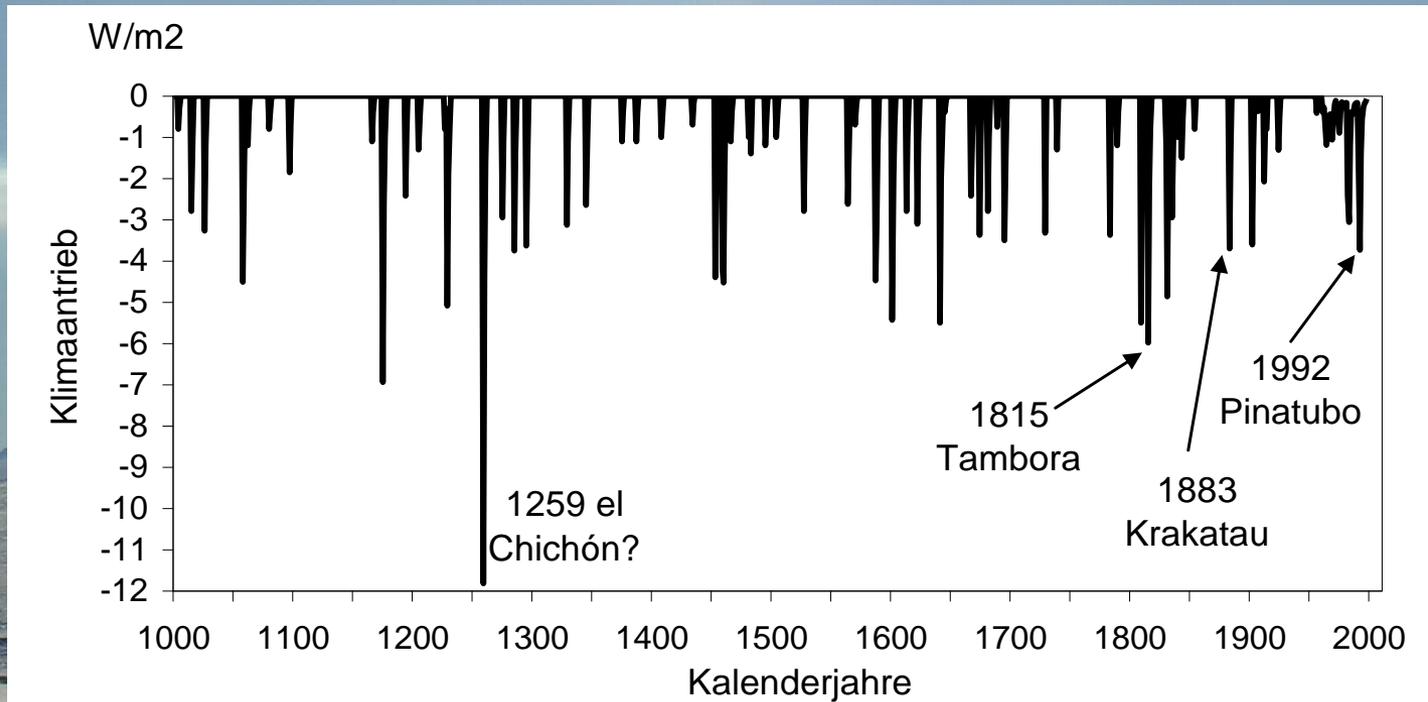
Solanki, S., I. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler, and J. Beer, 2004: Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* **431**: 1084–1087

Wagner S, Jones JM, Widmann M, Kaspar F, 2010. Personal communication on a 7.000 years transient simulation with the coupled GCM ECHO-G



# Natürlicher Klimaantrieb durch Vulkanismus auf der mittleren Skala: **1000 Jahre**

1000-jährige Rekonstruktion des  
Klimaantriebes durch  
*Vulkanausbrüche*,  
die Schwefeldioxid in die Stratosphäre  
schleuderten aus verschiedenen  
Eisbohrkernen und aus direkten Messungen.  
(Crowley, 2000)



# Treibhausgase: anthropogen mit natürlichen Anteilen

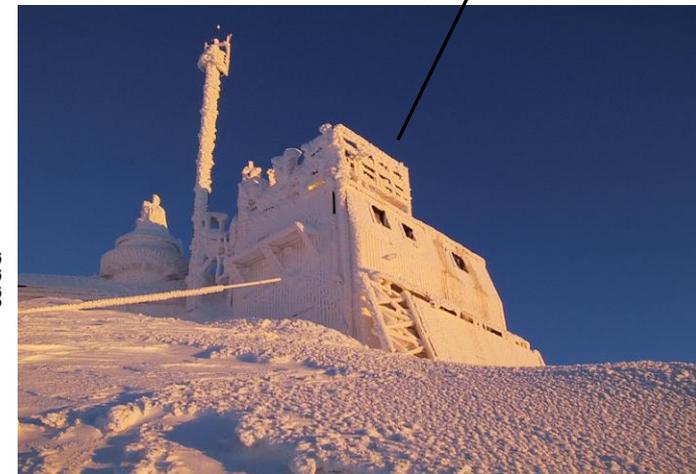
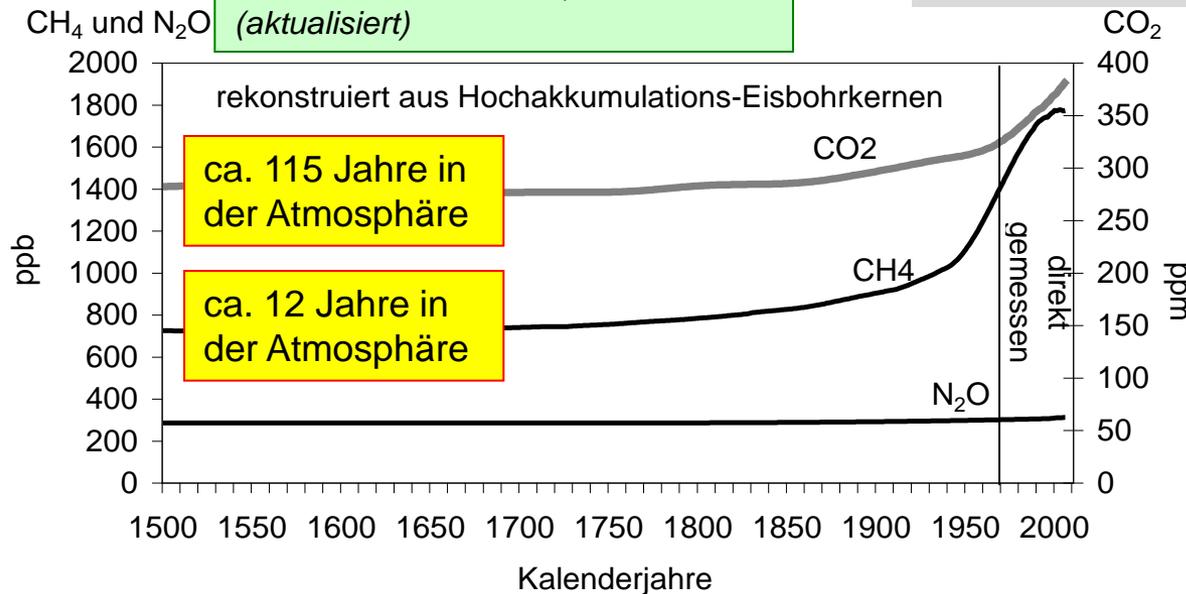
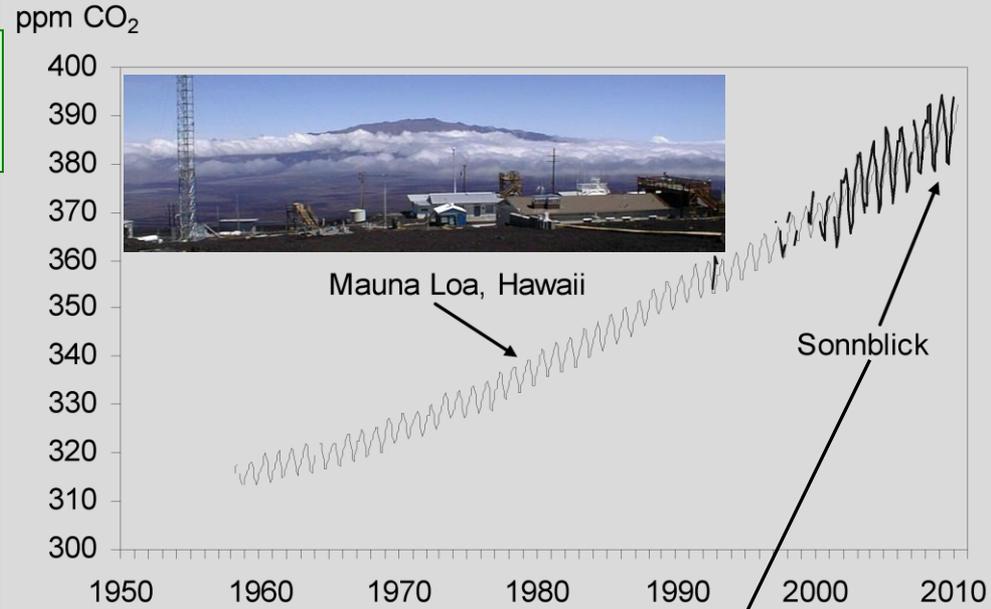
**1958-2010 aus direkten Messungen**

Quelle: kombiniert aus Keeling et al., 2001  
(aktualisiert) und Böhm, Auer, Schöner, 2011

**NETTO-EFFEKT ERWÄRMEND**

**1500-2007 aus Eisbohrkernen  
und aus direkten Messungen,**

Quelle: Robertson et al, 2001  
(aktualisiert)



# Anthropogener Klimaantrieb auf der kurzen Zeitskala:

**Sulfatgehalt** im Firn und Eis der Hochalpen. Kombiniert aus den stark geglätteten Daten eines Eisbohrkerns (Colle Gnifetti, 4450m, Monte Rosa Gipfelzone) seit 1800 mit jährlichen Messungen im Winterschnee im Sonnblickgebiet (3100m, Hohe Tauern) seit 1982  
 Quellen: Wagenbach, pers. Mitt, 2008 und Schöner, 1995 (aktualisiert bis 2007)

**NETTO-EFFEKT ABKÜHLEND**

SO<sub>2</sub> ca. 1-3 Tage in der Atmosphäre

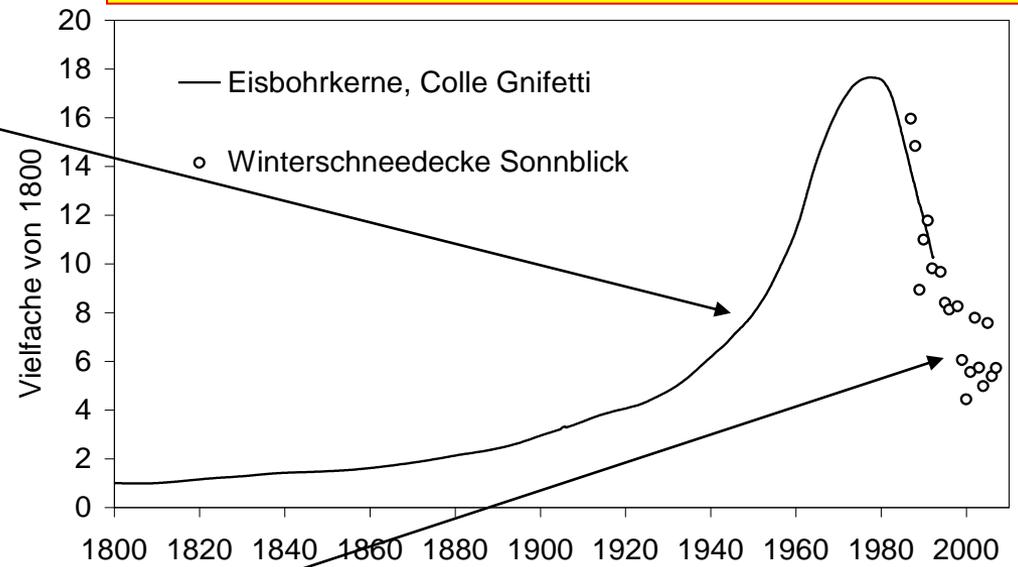
Sulfat-Aerosol ca. 4-7 Tage in der Atmosphäre



Foto: Urs Ruth



Foto: Bernhard Hynek

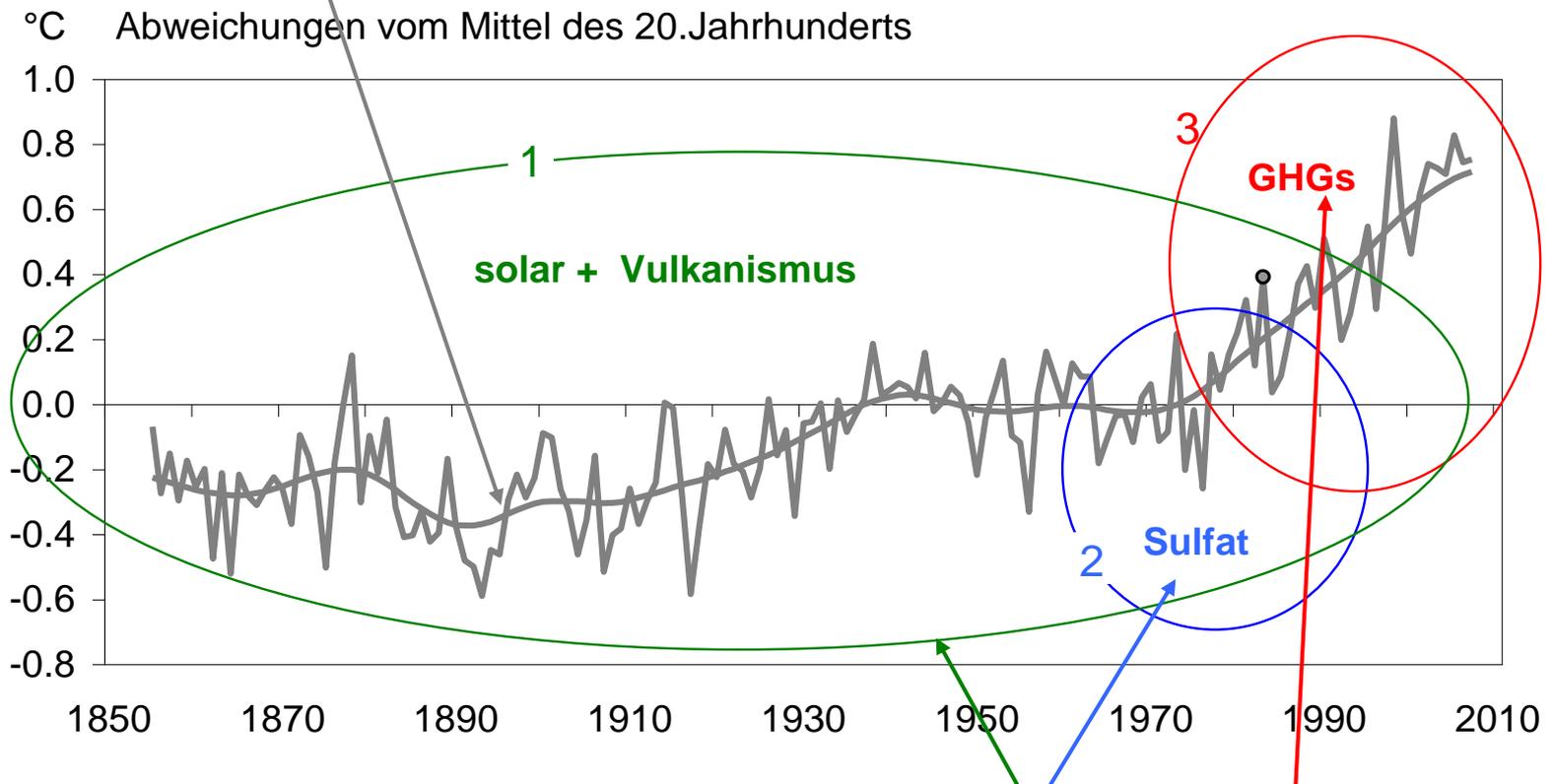


# CONCLUSIO ÜBER DIE AKTUELL WIRKSAMEN KLIMAANTRIEBE:

# Frage: Natürlich **oder** anthropogen?

# Antwort: Natürlich **und** anthropogen!

## Temperaturentwicklung global, 1855-2007



**Die vier wirksamen Haupt-Klimaantriebe der letzten 150 Jahre**

# ZUKUNFTSERWARTUNGEN

KÖNNEN ABGESCHÄTZT WERDEN IN DEM MAN DIE GEZEIGTEN  
**KLIMAANTRIEBE** EINEM RECHENMODELL „MITTEILT“

→ UND DAS MODELL DIE **REAKTION DES KLIMASYSTEMS** AUF DIESE  
ANTRIEBEN BERECHNET



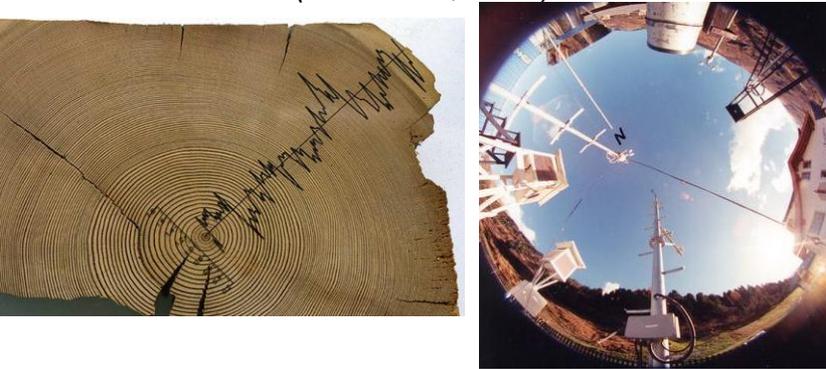
ZAMG  
Zentralanstalt für  
Meteorologie und  
Geodynamik

# Ein Vergleich MODELLIERTES – GEMESSENES KLIMA:

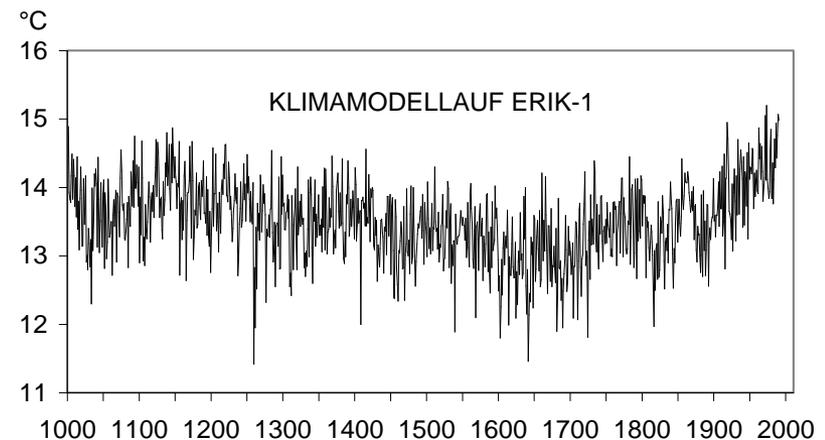
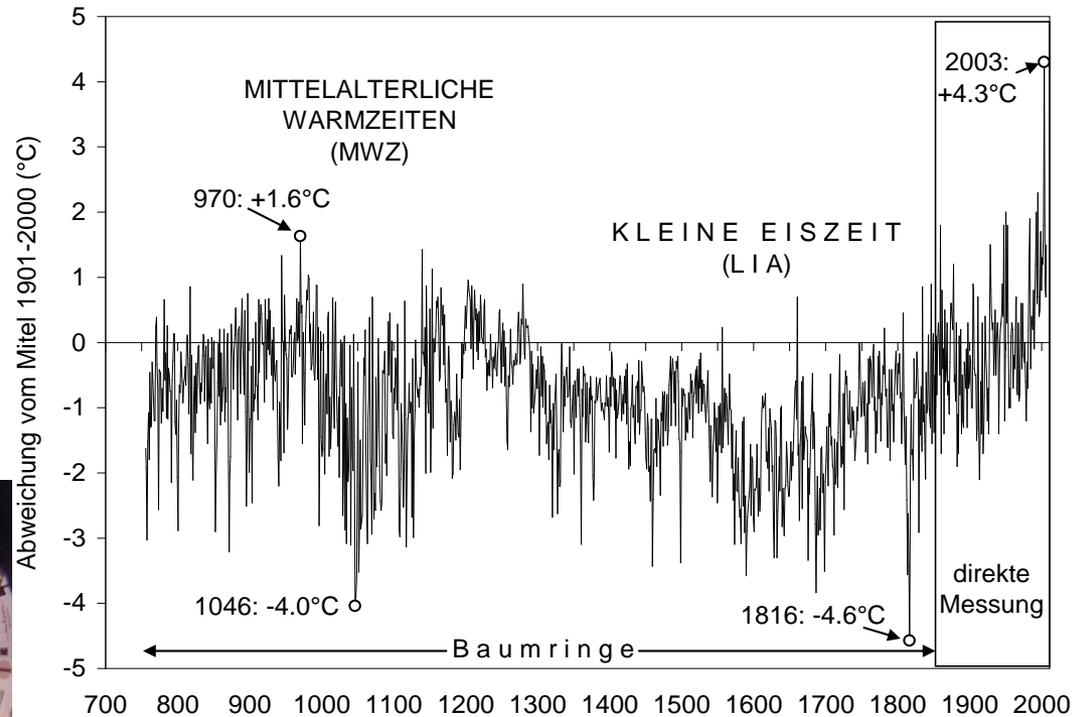
**Rekonstruktion** der Sommer-  
Frühherbst Temperaturen (Juni-  
September) in den Alpen seit dem Jahr  
755 n Chr.

755-1850: rekonstruiert aus Hunderten  
Jahrringdichtereihen (Büntgen et al., 2005),

1851-2006: direkt gemessene  
hochalpine HISTALP-Daten  
(Auer et al., 2007).

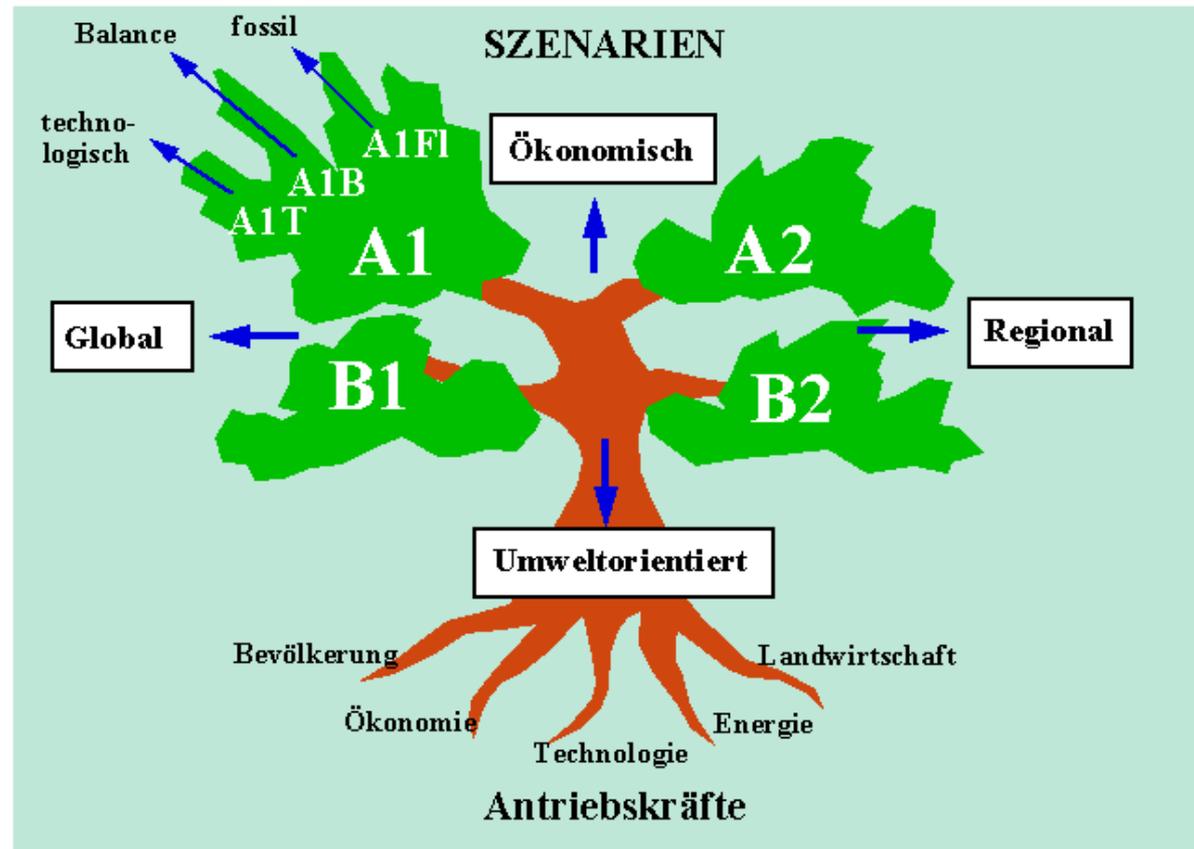


**Klimamodellauf** ERIK-1 (GKSS) für die  
Sommermitteltemperaturen (Juni-September) der  
Jahre 1000-1990 für Festlandeuropa (10°W-40°E,  
35°N-70°N)  
(Zorita et al., 2004)



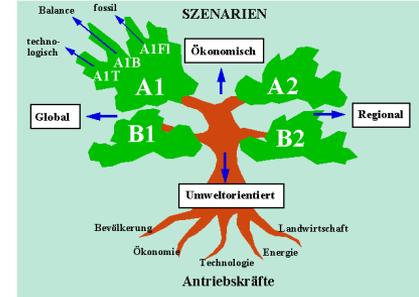
# WIE KOMMT MAN ZU DEN KLIMAANTREBEN DER ZUKUNFT?

Durch die IPCC-Entwicklungsszenarien:



IPCC Szenarienbaum

# Extremszenario 1:



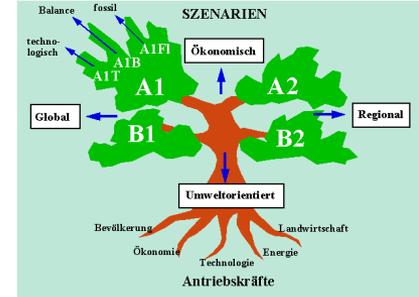
## A2-Familie

Wenig globale Vernetzung in einer regional differenzierten, kulturell pluralistischen Welt. Verglichen mit A1 insgesamt weniger Wirtschaftswachstum, anhaltend große Einkommensunterschiede zwischen Individuen und zwischen Ländern bzw. Regionen. Fertilitäts- und Sterblichkeitsraten entwickeln sich weniger stark als in den A1-Weiten. Die Erdbevölkerung wächst weiter und erreicht im Jahr 2100 15 Milliarden.

Der Energiemix ist ebenfalls differenzierter als in der A1-Welt und orientiert sich hauptsächlich an der regionalen Verfügbarkeit. Große Teile der Wirtschaftsentwicklung müssen in die Nahrungsproduktion investiert werden, dadurch gibt es in den anderen Sektoren weniger Weiterentwicklung als in A1, auch im Energiesektor.

**„Business as usual“ im schlechten Sinn – das Horrorszenario**

# Extremszenario 2:

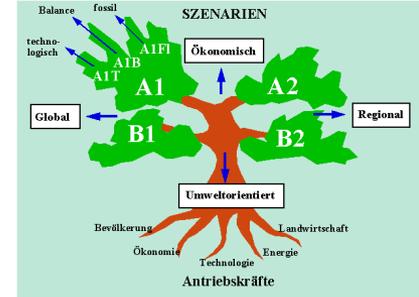


## B1-Familie

Das Hauptmerkmal der B1-Entwicklungslinien ist ein hohes Umwelt- und Sozialbewußtsein, das in einem global kohärenten Trend zu nachhaltiger Entwicklung führt. Nach unruhigen bis chaotischen Jahrzehnten setzen sich Gemeinschaftswerte gegenüber Individualismus durch, dabei spielen gesteuerte Erziehung und starke politische Steuermechanismen eine führende Rolle. Reduzierter Konsum und starke Konzentration auf erneuerbare Energieformen führen zu den bedeutendsten Erfolgen auf dem Sektor der Eindämmung der Treibhausgasemissionen. Die Erdbevölkerung entwickelt sich ähnlich wie in den A1-Szenarios, aber aus anderen Gründen, hauptsächlich wegen der erhöhten Sicherheit durch das soziale Engagement der Gesellschaft.

**„Schöne neue geplante Welt“ mit demokratiepolitischen Bedenklichkeiten**

# Das IPCC-Leitszenario:



## A1-Familie

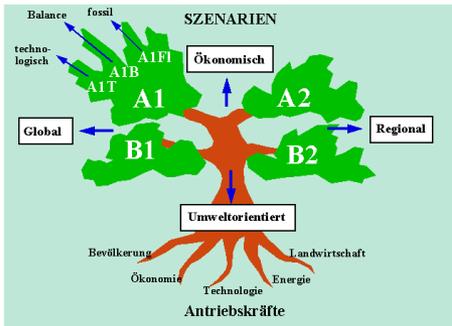
Schnelles Wirtschaftswachstum in einer mobilen, global stark vernetzten, immer mehr zusammenwachsenden Welt. Einkommensunterschiede zwischen Individuen und zwischen Ländern bzw. Regionen vermindern sich.

Hohe Investitionen in Bildung und Forschung. Höhere Lebenserwartung und bessere Gesundheit führen weltweit zu kleineren Familien. Bis 2050 steigt die Erdbevölkerung auf 9 Mrd., dann fällt sie bis zum Jahr 2100 auf 7 Mrd.

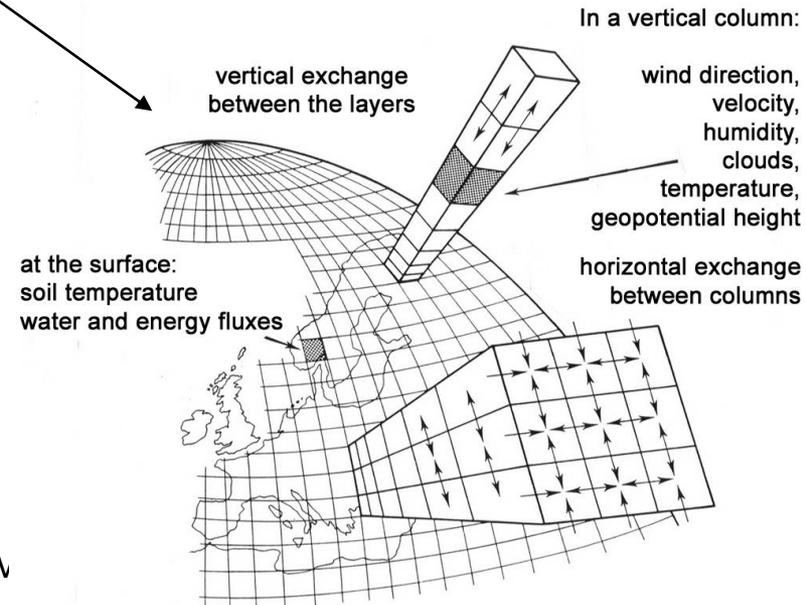
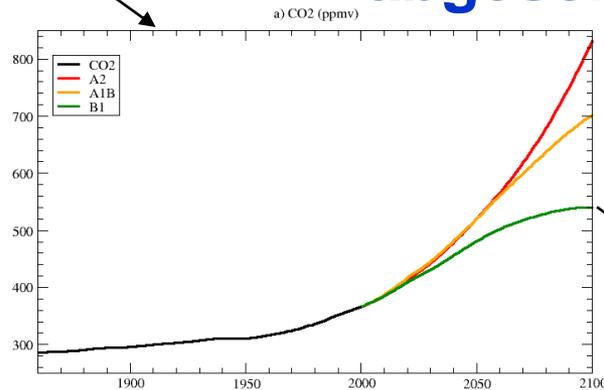
Neue Technologien werden schnell eingesetzt. Energieeffizienz steigt an. Sehr unterschiedliche Energieprioritäten, im „Marker Szenario“ A1B wird ein ausbalancierter Mix aus verschiedenen Energiequellen benutzt.

**Vielleicht etwas optimistisch aber von IPCC als wahrscheinlich betrachtet  
und mir sympathisch**

# Aus diesen **politisch-sozio-ökonomischen** Weltmodellen



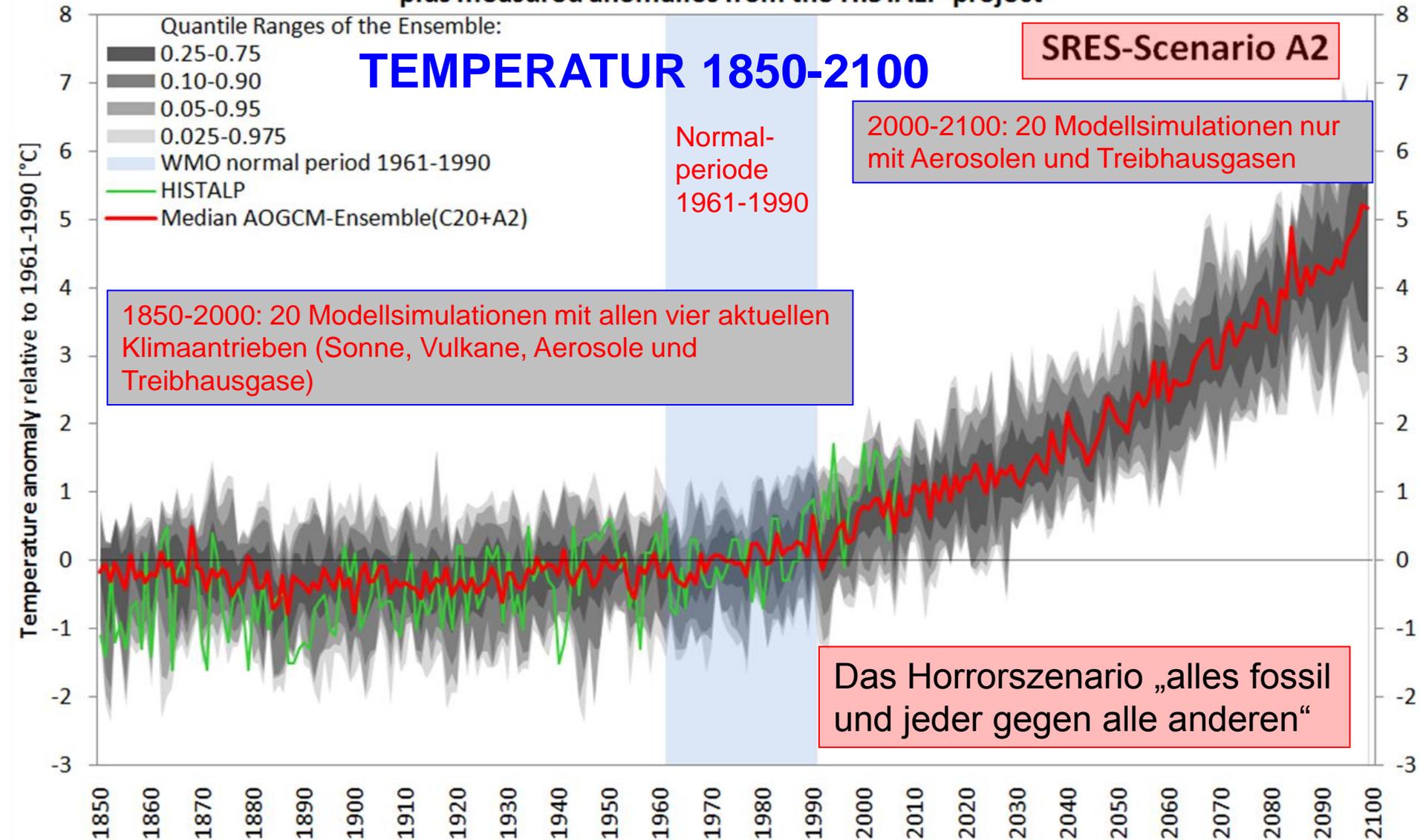
Werden die anthropogenen  
Klimaantriebe der Zukunft  
abgeschätzt



Und mit diesen die  
mathematisch-physikalischen  
Klimamodelle angetrieben

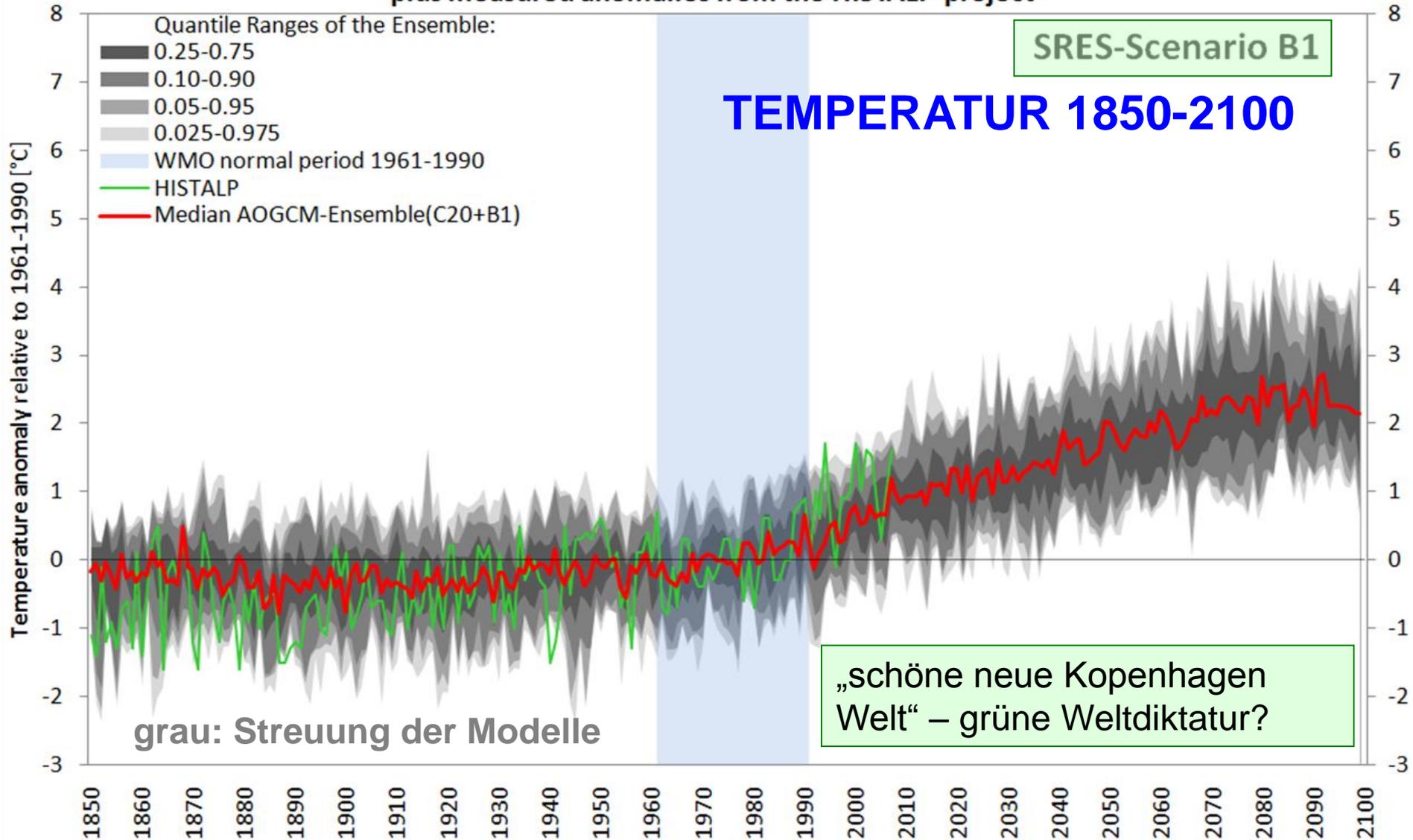
# AUS UNSERER WERKSTATT:

Temperature anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



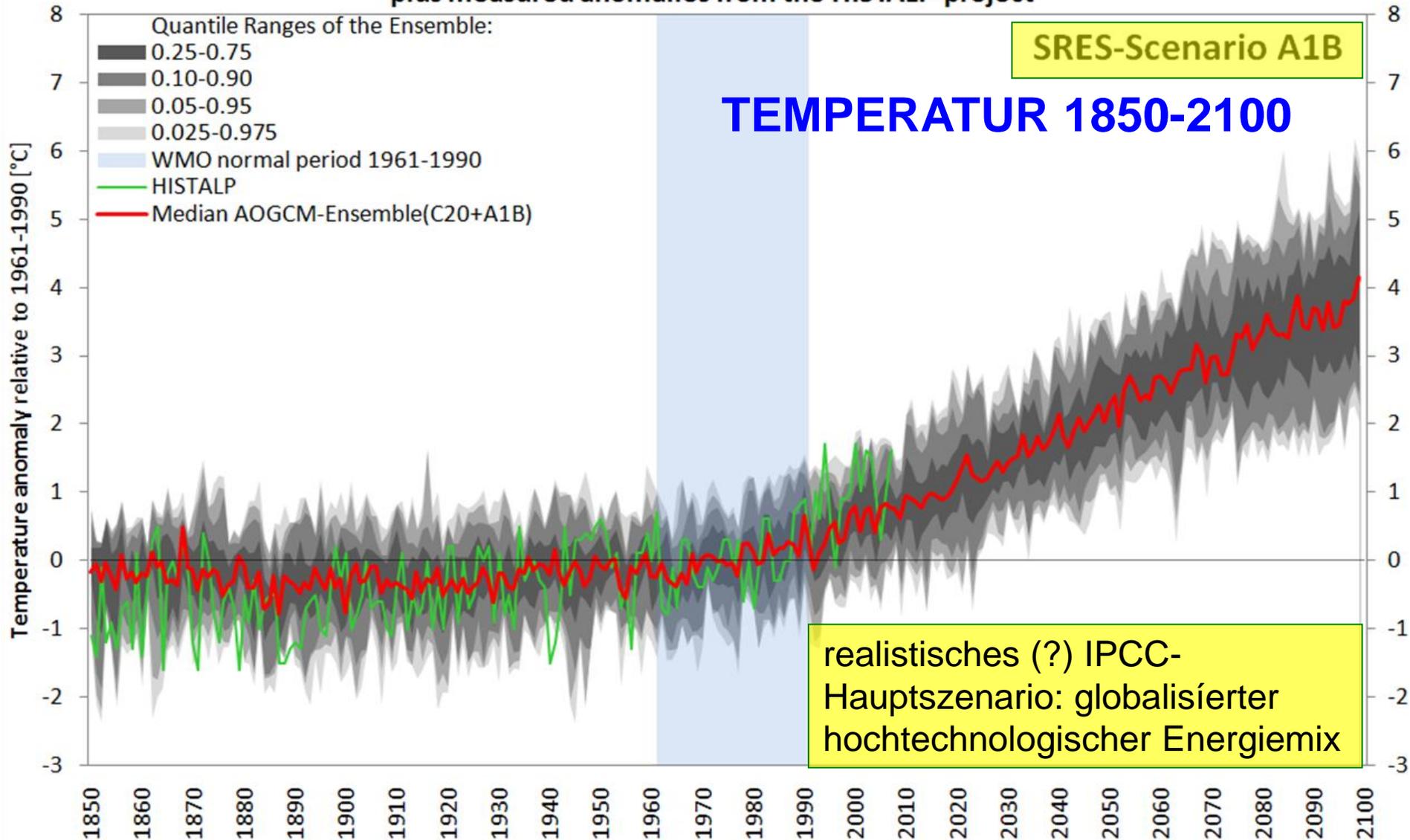
# AUS UNSERER WERKSTATT:

Temperature anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



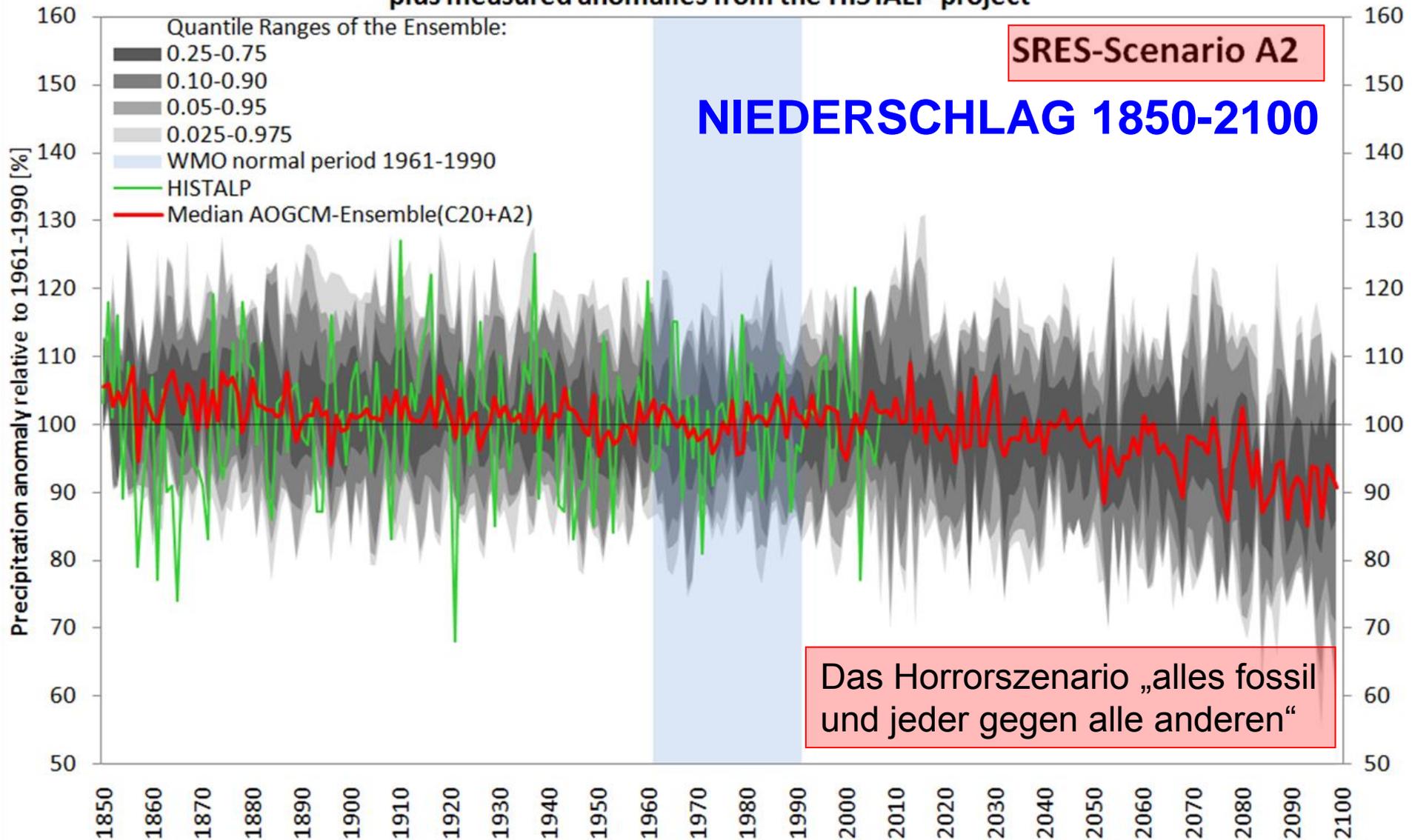
# AUS UNSERER WERKSTATT:

Temperature anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



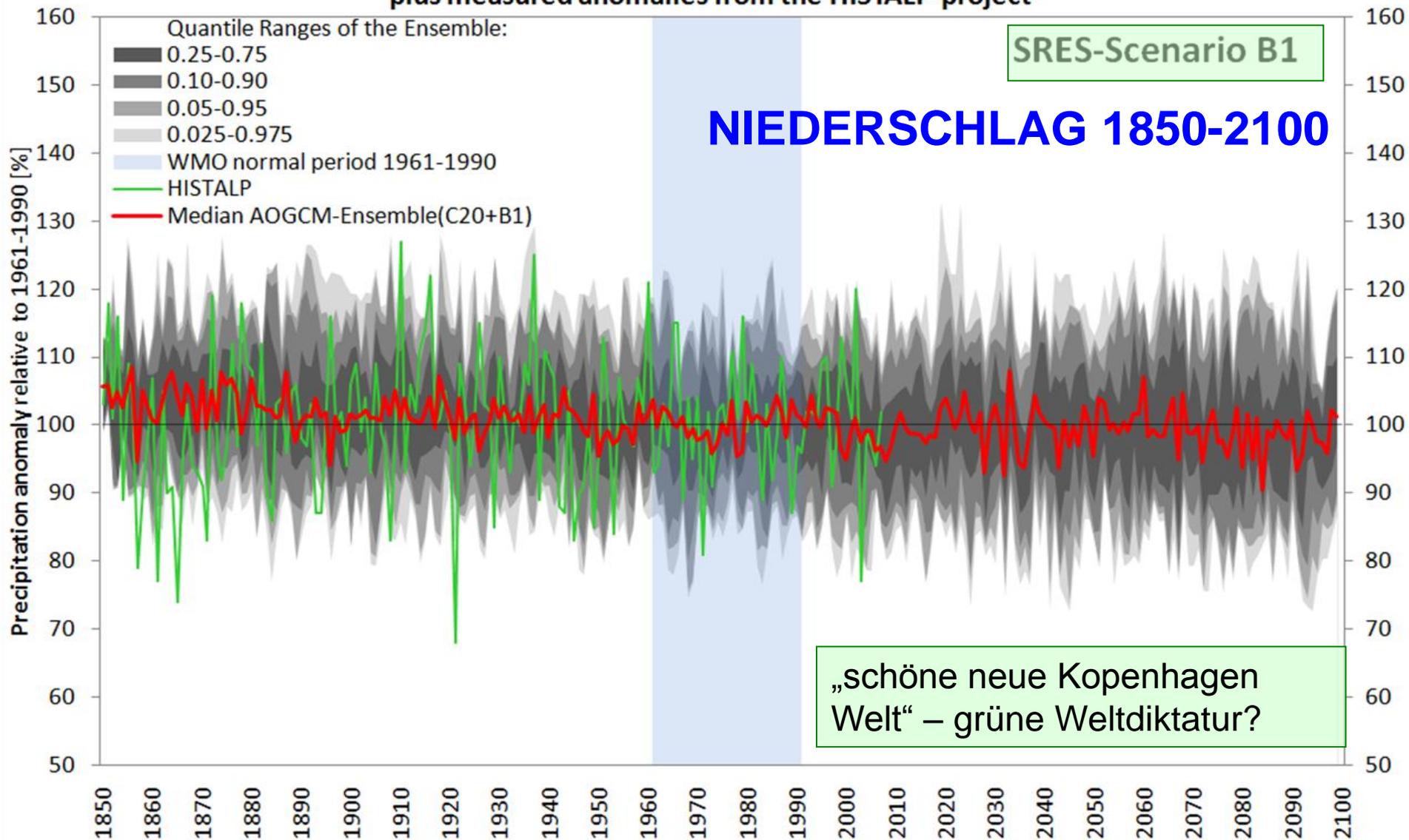
# AUS UNSERER WERKSTATT:

Precipitation anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



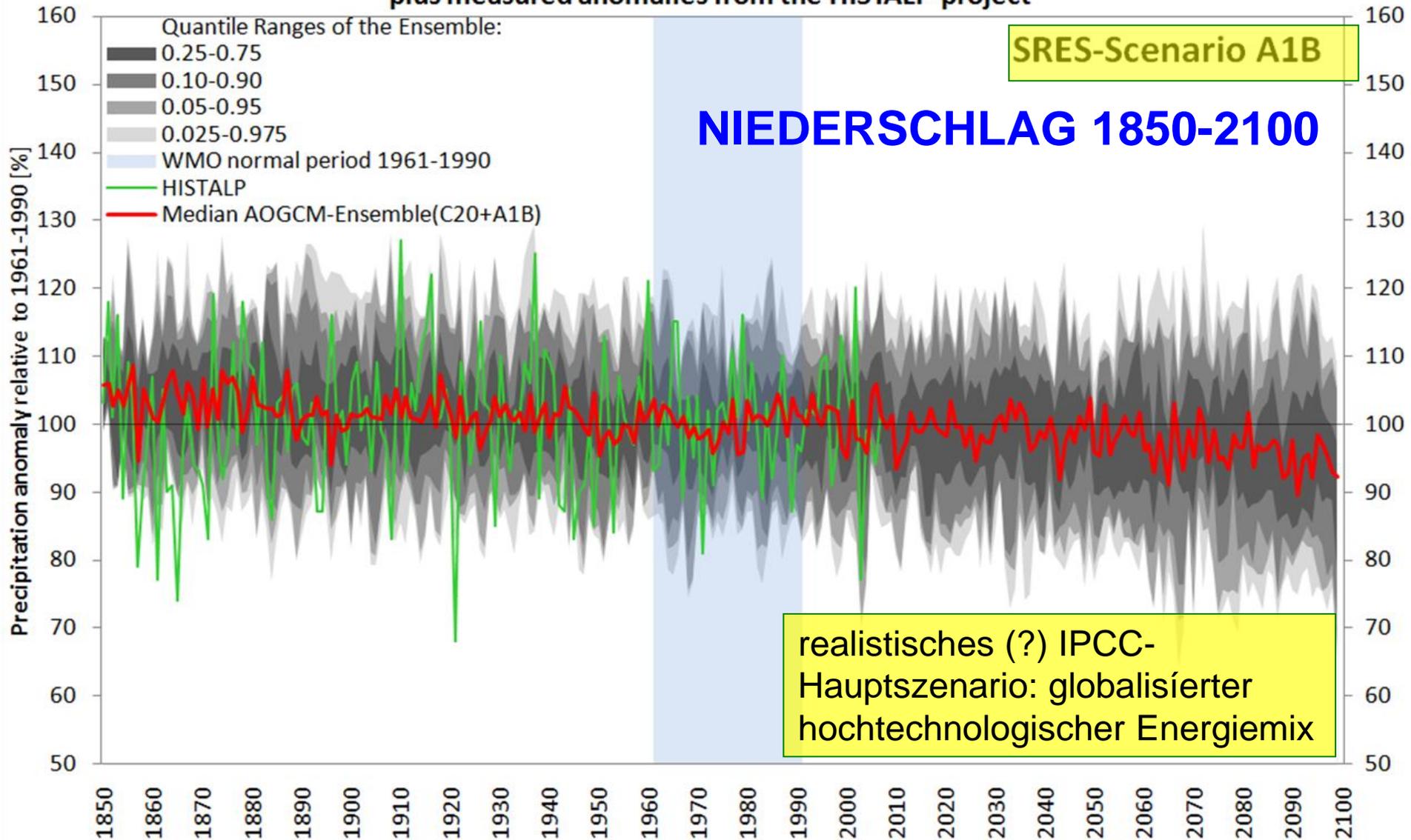
# AUS UNSERER WERKSTATT:

Precipitation anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



# AUS UNSERER WERKSTATT:

Precipitation anomaly in the Greater Alpine Region (GAR) relative to the WMO normal period 1961-1990 derived from the IPCC-AR4 AOGCM Multimodel Ensemble plus measured anomalies from the HISTALP-project



# MODELLKRITIK :

## hohe Auflösung - Österreich:

**Vergleich zweier HR-dynamischer Downscalings mit den Messungen ÖKLIM (Österreichischer Digitaler Klimaatlas)**

**ÖKLIM: 250m**

ÖKLIM: Auer et al., 2001

**Modell REMO: 10km**

REMO: Jacob 2006

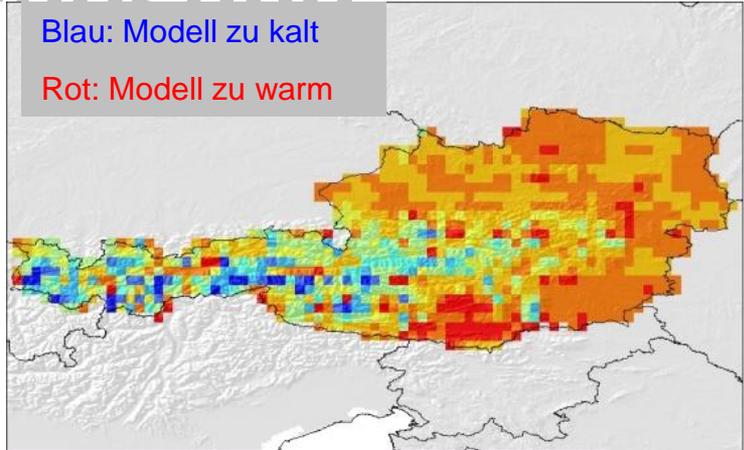
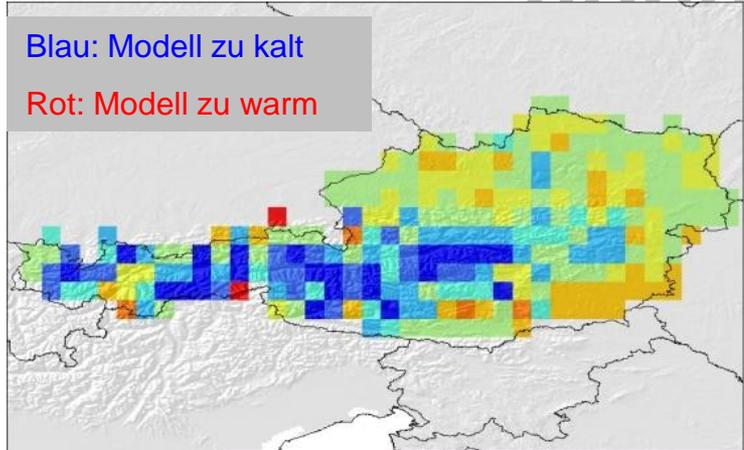
**Modell COSMO-CLM: 30km**

CLM: MET.Z. Sh.4/ 2008

**Mittel 1961-1990**

Abweichungen von CLM und REMO zu OEKLIM in der Referenzperiode 1961-1990, **negative Werte stellen eine Unterschätzung** im Modell dar, **positive eine Überschätzung**

**CLM                      TEMPERATUR                      REMO**



**CLM                      NIEDERSCHLAG                      REMO**

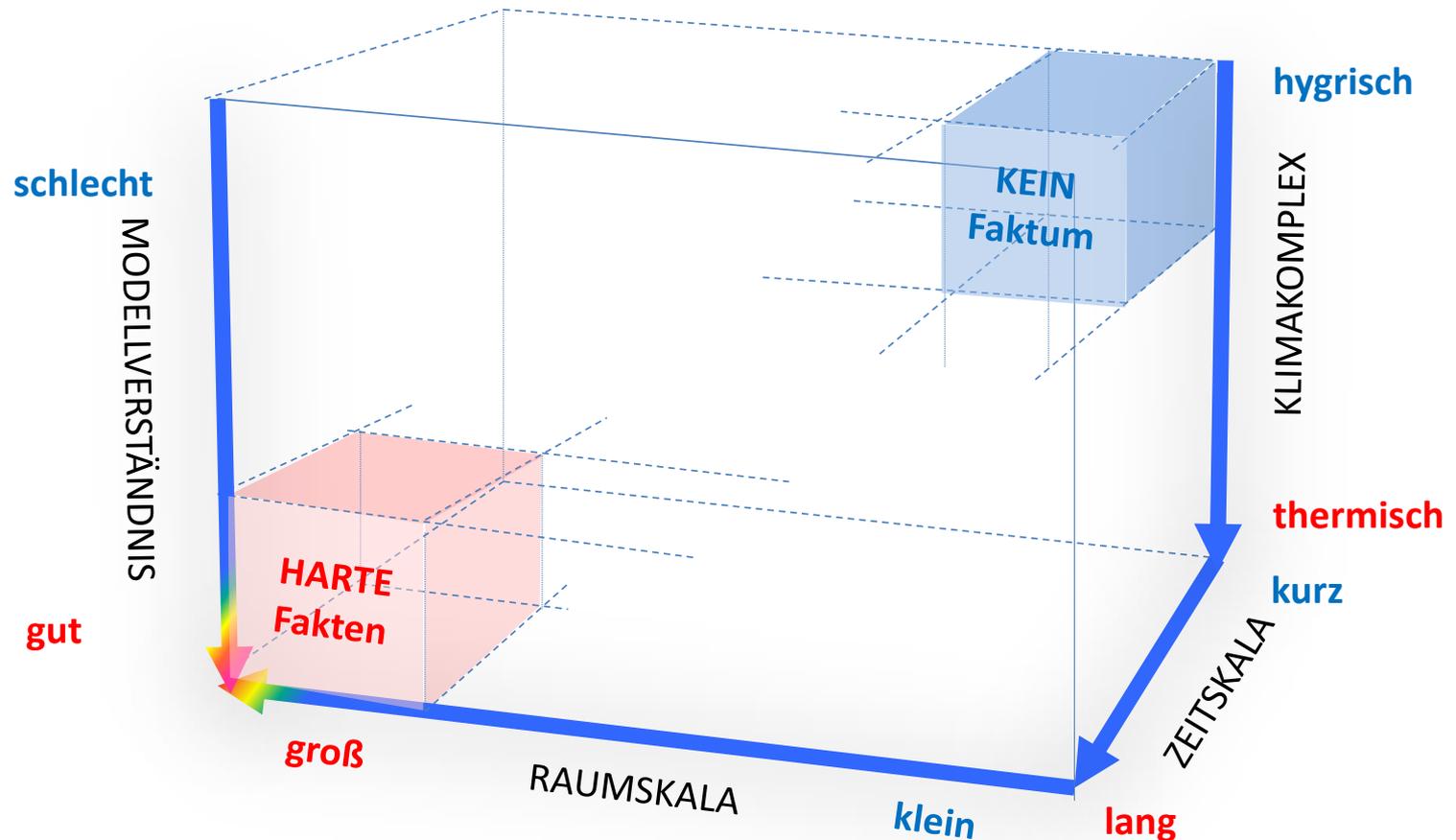


**Der langen Rede kurzer Sinn:**

- 1) Klimamodelle in hoher räumlichen Auflösung, sind speziell für unseren Alpenraum wichtig**
- 2) Leider funktionieren sie (noch) nicht befriedigend**
- 3) Am wenigsten für Extremwerte**

# Schema der harten und weichen Fakten des Klimawandels:

Schöner W, Böhm R, Haslinger K, 2011. Klimaänderung in Österreich – hydrologisch relevante Klimatelemente. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 63/Heft 1-2: 11-20



# CONCLUSIO

**Bei der Klimamodellierung gibt es noch viel zu tun**  
– manches funktioniert bereits gut (großräumig,  
langfristig, Temperatur)  
manches noch nicht gut (kleinräumig, kurzfristig,  
Niederschlag)

**Es gibt harte und weiche Fakten über das Klima  
der Zukunft**

**Aber wir haben ein ernstes Problem im  
Verhältnis Wissenschaft - Öffentlichkeit**

# **Dagegen hilft**

**von Seiten der Wissenschaft :  
immer rational bleiben**

**von Seiten der Öffentlichkeit:  
kritisch mitdenken, hinterfragen**

**für beide Seiten:  
unaufgeregt bleiben!**

**In unserem Infoportal surfen**

**UND VIELLEICHT EIN PAAR GUTE BÜCHER  
AUS DEM HAUSE ZAMG, die hier aufliegen**

Klimawandel

- Standpunkt
- Klimaforschung
- Klimasystem
- Klimavergangenheit
- Klimazukunft
- Klimafolgen
- Aktuelles

Klimaspiegel

Monats-/Jahresübersicht

Saison-Vorhersage

Jahrbuch

Klimadaten

Phänologie 

Wetterrekorde

Sonne / Mond

Hochwasserrisiko

Produkte & Services

Forschung & Entwicklung

Lexikon 

Alle Seiten 

[Impressum](#) / [Benutzungshinweise](#)

[Ihre Meinung](#)



Herzlich willkommen im **Informationsportal Klimawandel** der *Abteilung für Klimaforschung* an der ZAMG! Wählen Sie einen der nachfolgenden Punkte oder nutzen Sie die Struktur auf der linken Seite, um in fundierter und verständlicher Form Ihrem Interesse entsprechend mehr zum Thema Klimawandel zu erfahren!



**Standpunkt**

Der hilfreiche Einstieg in das Informationsportal Klimawandel. Neben einem Überblick über alle Beiträge finden Sie allgemeine Worte zur öffentlichen Klimawandeldiskussion. [Mehr...](#)



**Klimaforschung**

Methoden, auf denen die Vorstellungen über die Klimavergangenheit und die Annahmen über die Klimazukunft basieren, werden ebenso vorgestellt wie praktische Arbeitsweisen. [Mehr...](#)



**Klimasystem**

Klimaschwankungen werden durch äußere Antriebe angestoßen, die im vernetzten Klimasystem ganz unterschiedlich und meist nicht auf direktem Weg umgesetzt werden. [Mehr...](#)



**Klimavergangenheit**

Lernen Sie verschiedene Phasen der Klimageschichte, vom Tropenklima des Mesozoikums zum pleistozänen Eiszeitalter mit seiner derzeitigen Warmzeit, richtig einzuordnen! [Mehr...](#)



**Klimazukunft**

Hier finden Sie einen Überblick über aktuelle Ergebnisse globaler und regionaler Klimasimulationen mit Fokus auf den Alpenraum. [Mehr...](#)



**Klimafolgen**

Veränderungen des Erdklimas beeinflussen andere Naturbereiche, die wiederum auf das Klima rückwirken. Die komplexen Wechselwirkungen prägen den Lebensraum des Menschen. [Mehr...](#)

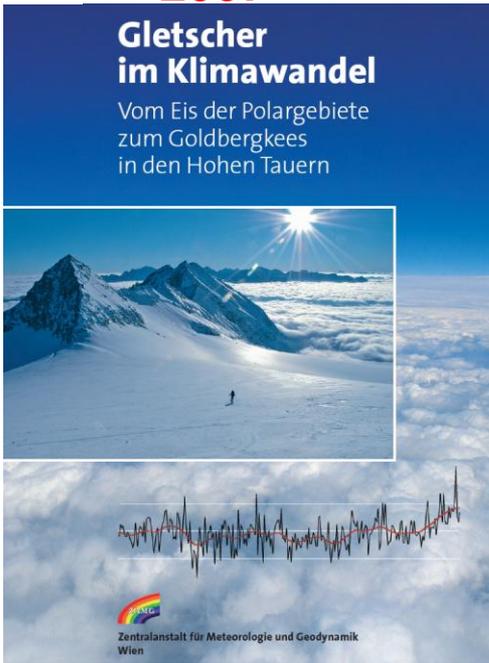


**Aktuelles**

Neben regelmäßigen Klimaneuigkeiten aus Österreich wird anlassbezogen zu wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen zum Thema Klimawandel Stellung genommen. [Mehr...](#)

# Aktuelle ZAMG-Beiträge zum Thema

**2007**



**2011**

**2008**

**Neuaufgabe 2010**



THE END

snacht ZAMG

