

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“

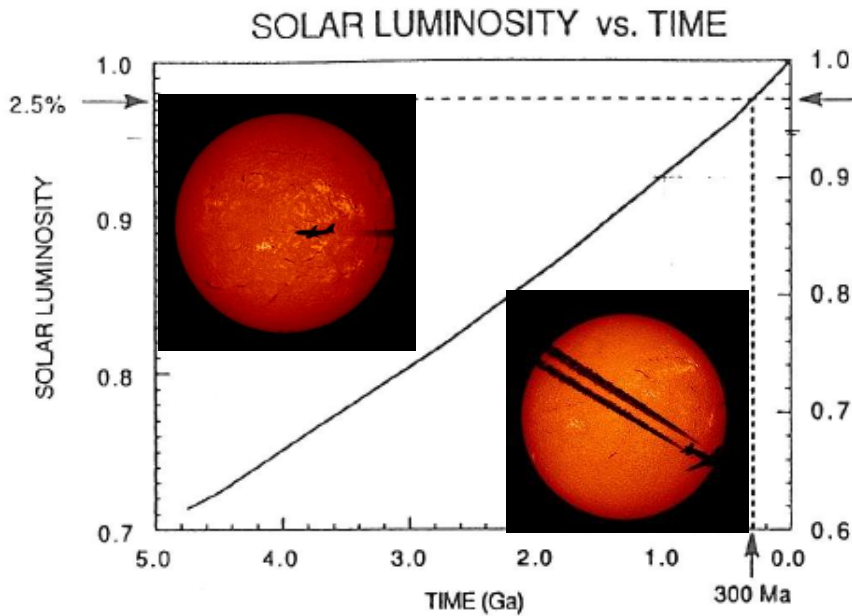
→ UND DAS MODELL DIE **REAKTION DES KLIMASYSTEMS** AUF DIESE
ANTRIEBEN BERECHNET

KLIMAAANTRIEBE

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

Natürliche Klimaantriebe auf der ganz langen Skala:

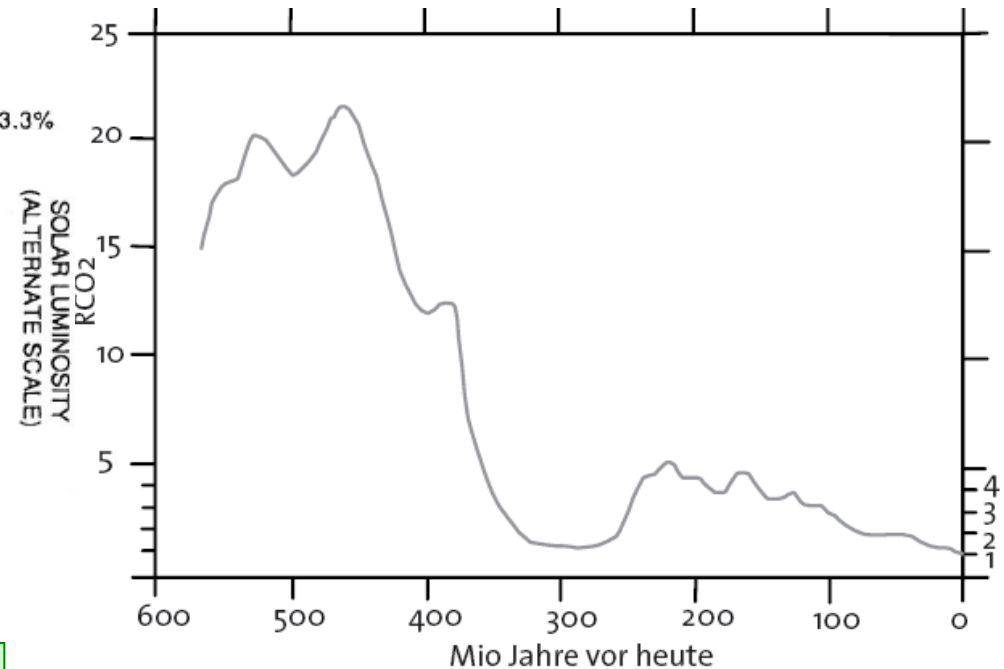
5 Milliarden Jahre - **600 Millionen Jahre**
„Faint Young Sun“ **Treibhausgase**



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)

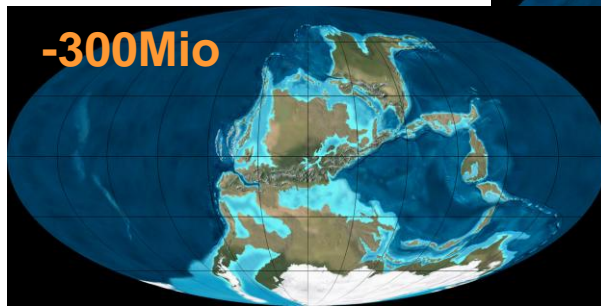
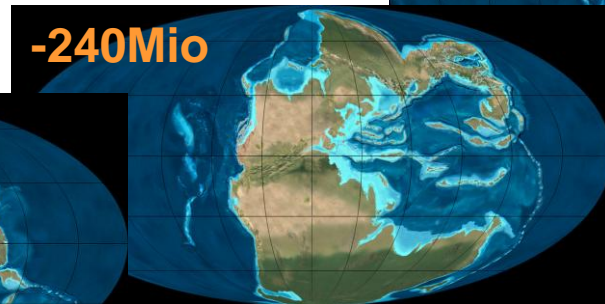
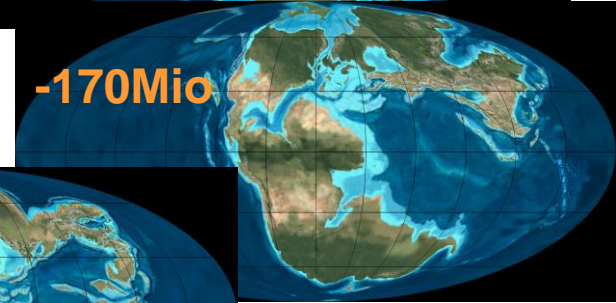
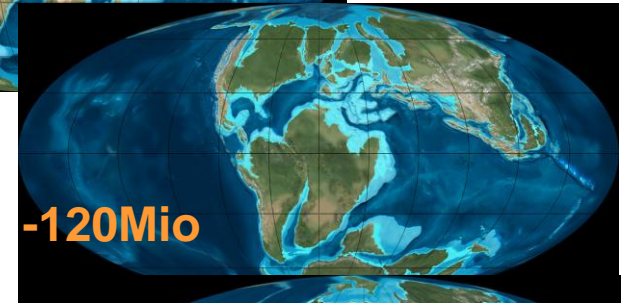
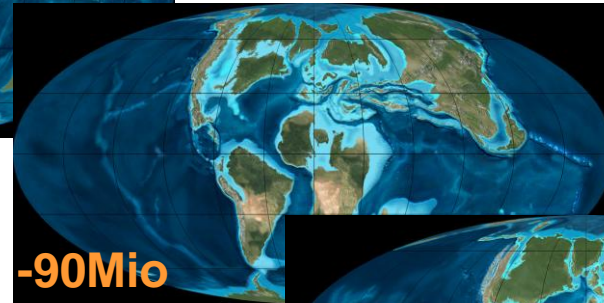
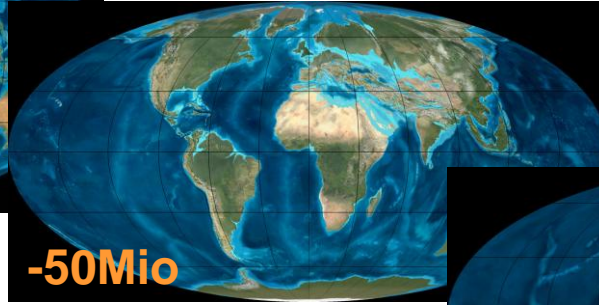
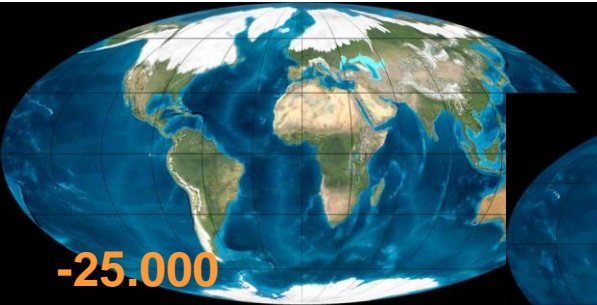


Rekonstruktion des **CO₂-Gehalts** der Erdatmosphäre für die letzten 600 Millionen Jahre. Die vertikale Skala zeigt den CO₂-Gehalt in Relativeinheiten zum heutigen an (300ppm = 1).

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

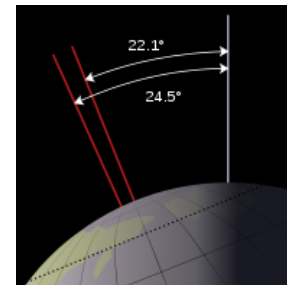
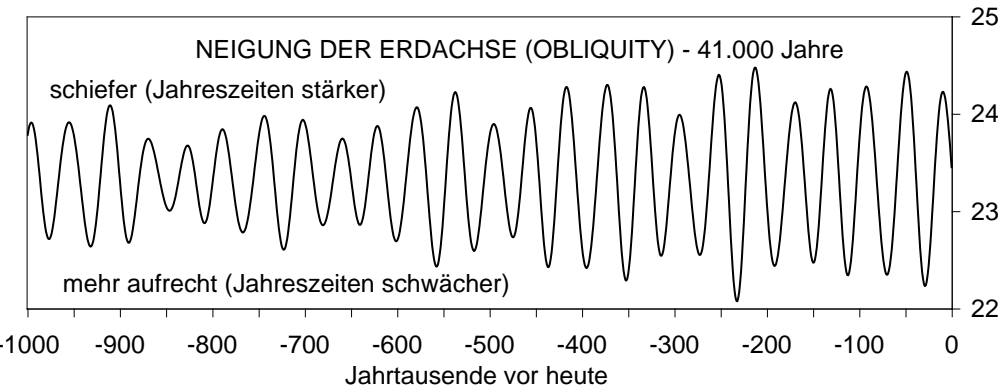


Die **Verteilung der Kontinente** beeinflusst sowohl das **regionale Klima** (z.B. Paleobreitengrad...) aber auch das **globale Klima** (z.B. veränderte Meeresströmungen, Albedo-Rückkopplung, wenn Landmassen in hohen Breiten...)

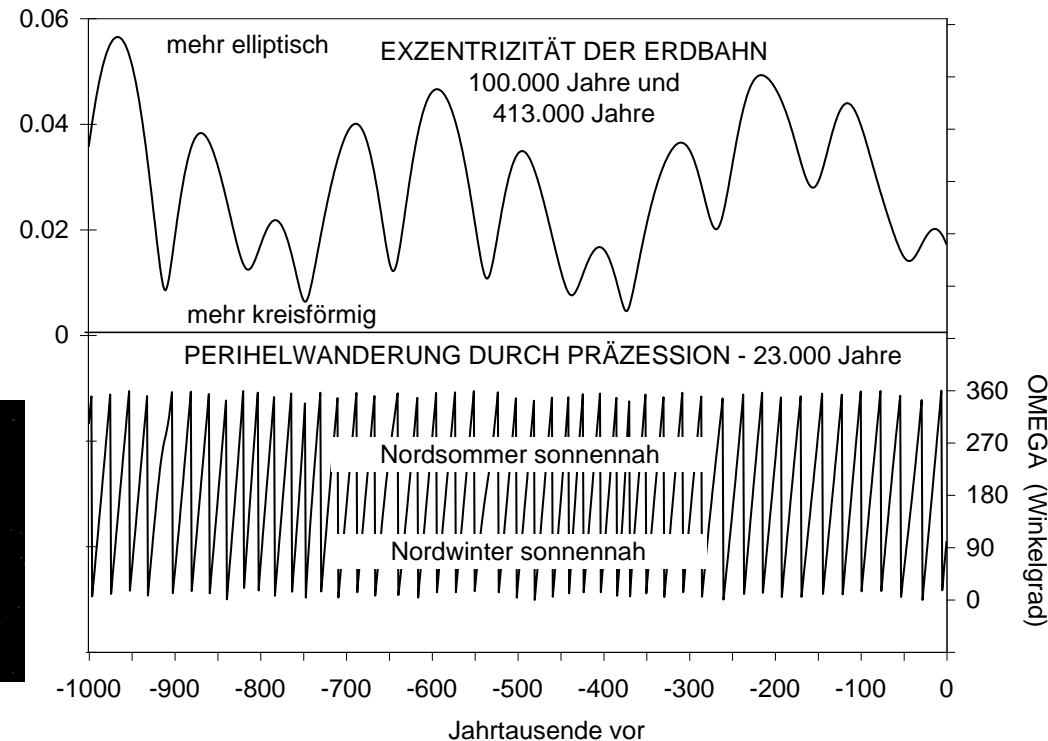
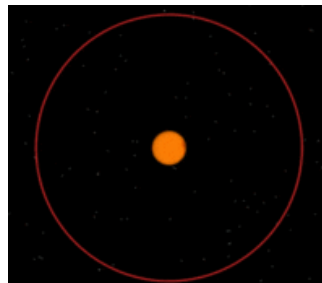
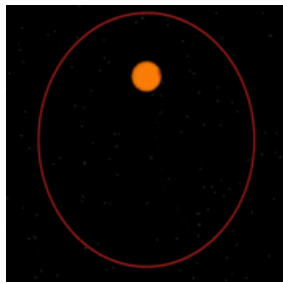
Blakey R, download 2009. Global Paleogeographic Views of Earth History - Late Precambrian to Recent. <http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/>

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

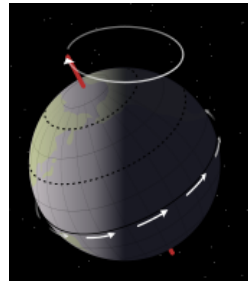
Die Milanković-Zyklen der **astronomischen Erdbahnparameter**



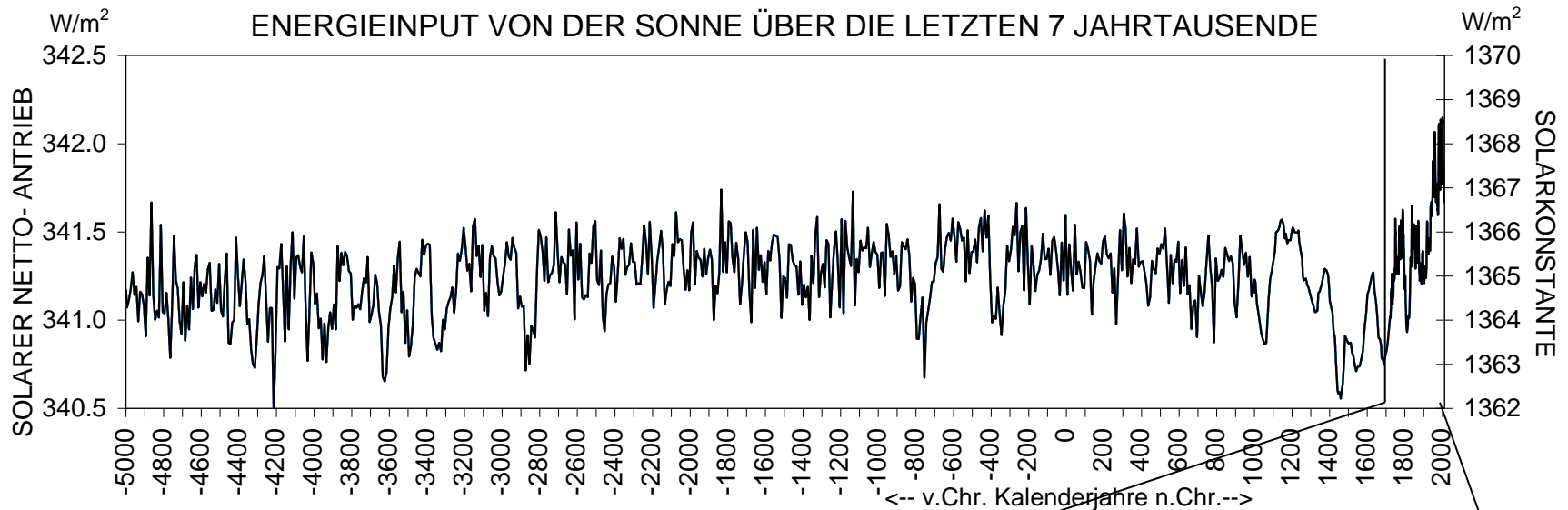
Milanković M, 1941.
Kanon der Erdbestahlung und
seine Anwendung auf das
Eiszeitenproblem.
*Académie royale serbe. Editions
speziales 132:XX*, Belgrad, 633
Seiten



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“:

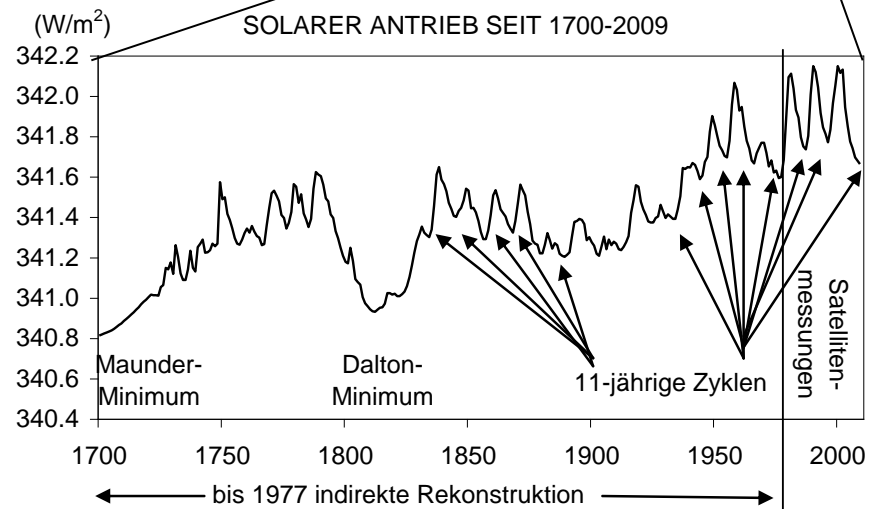
Aus direkten Satellitenmessungen, Sonnenfleckenbeobachtungen und aus kosmogenen Baum-Jahring- ¹⁴C- und ¹⁰Be-Isotopenreihen aus Eisbohrkernen

Quellen:

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

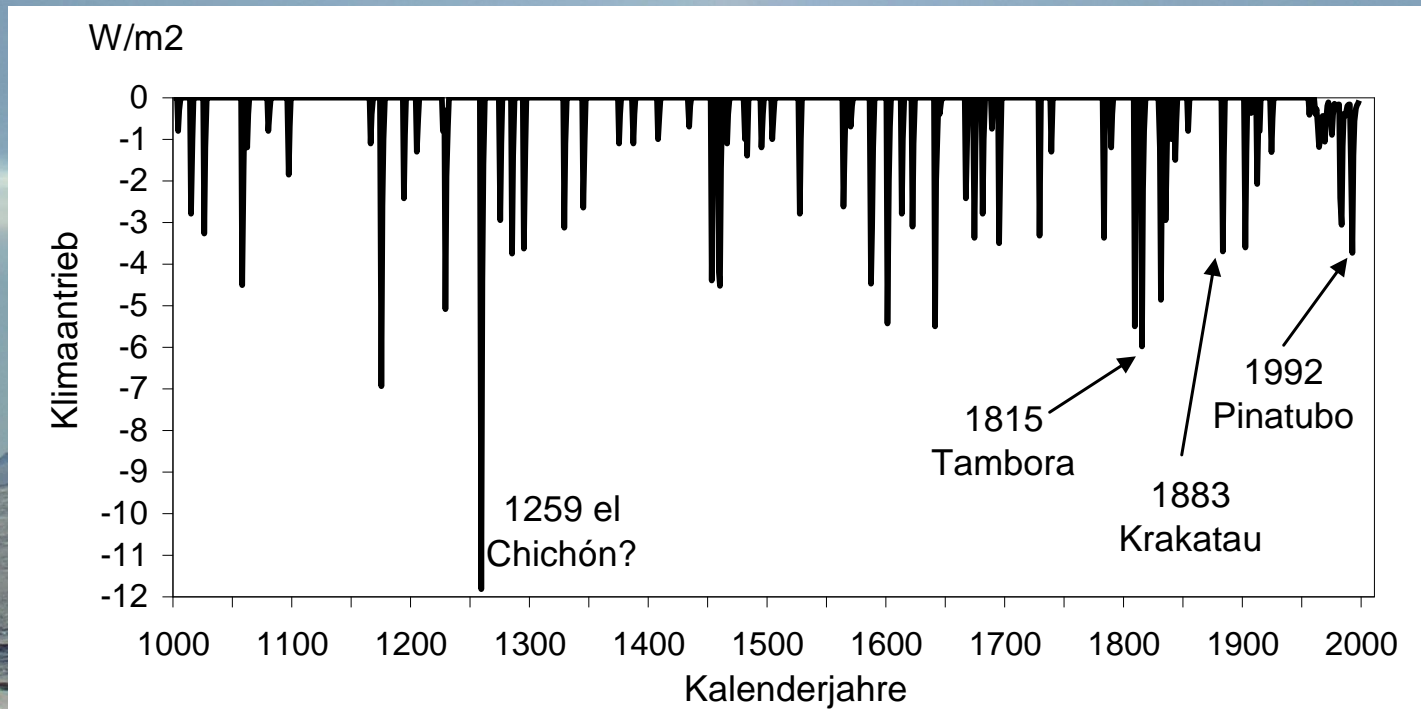
Solanki, S., I. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler, and J. Beer, 2004: Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature* **431**: 1084–1087

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

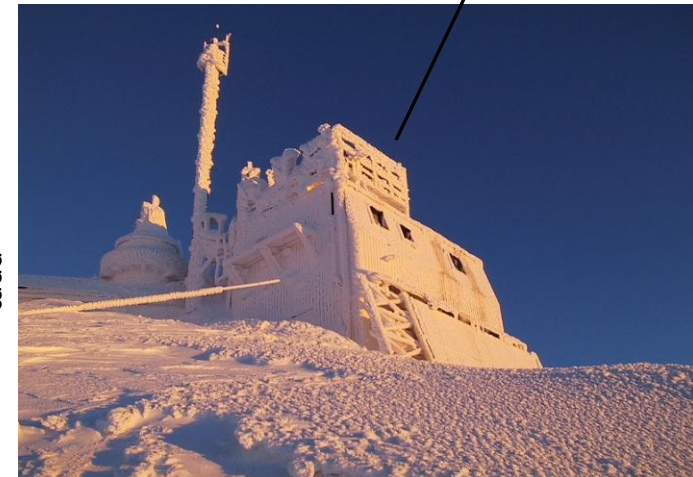
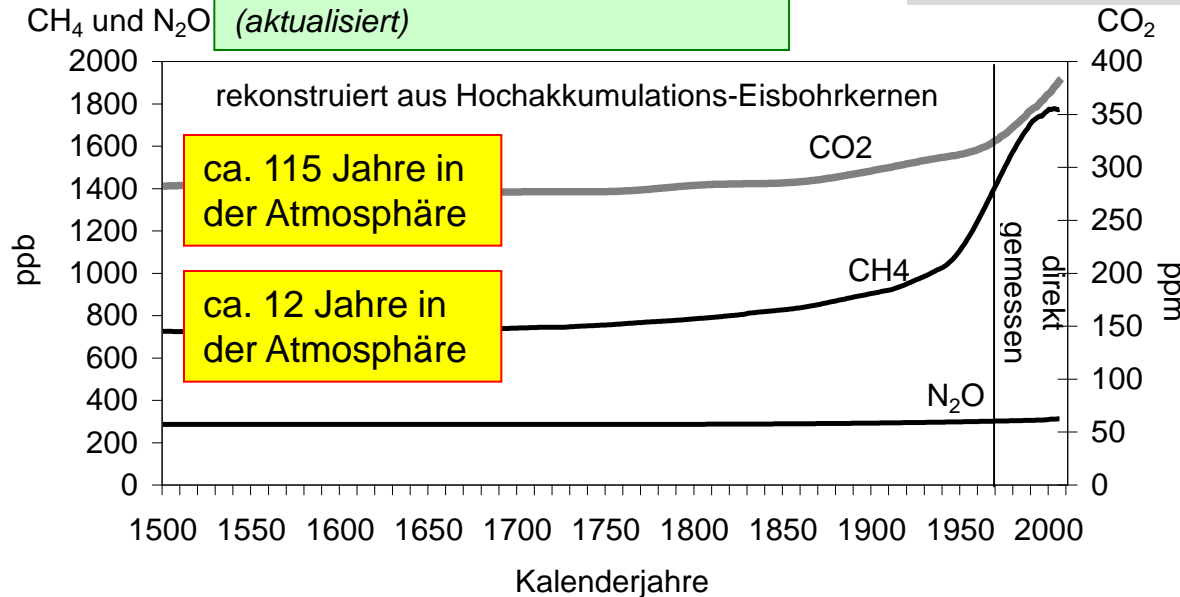
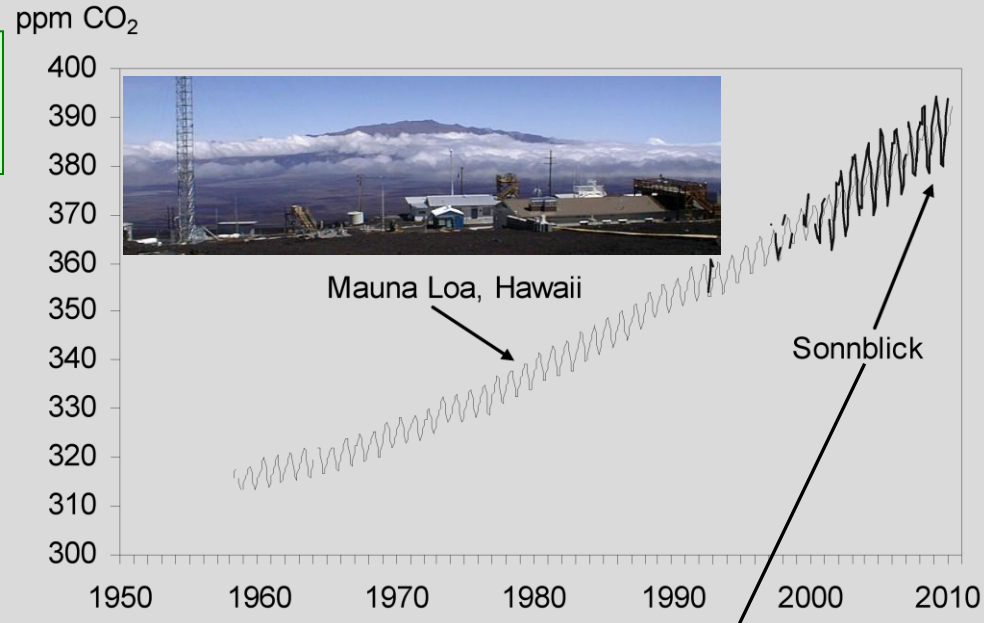
1958-2010 aus direkten Messungen

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

SO₂ ca. 1-3 Tage in der Atmosphäre

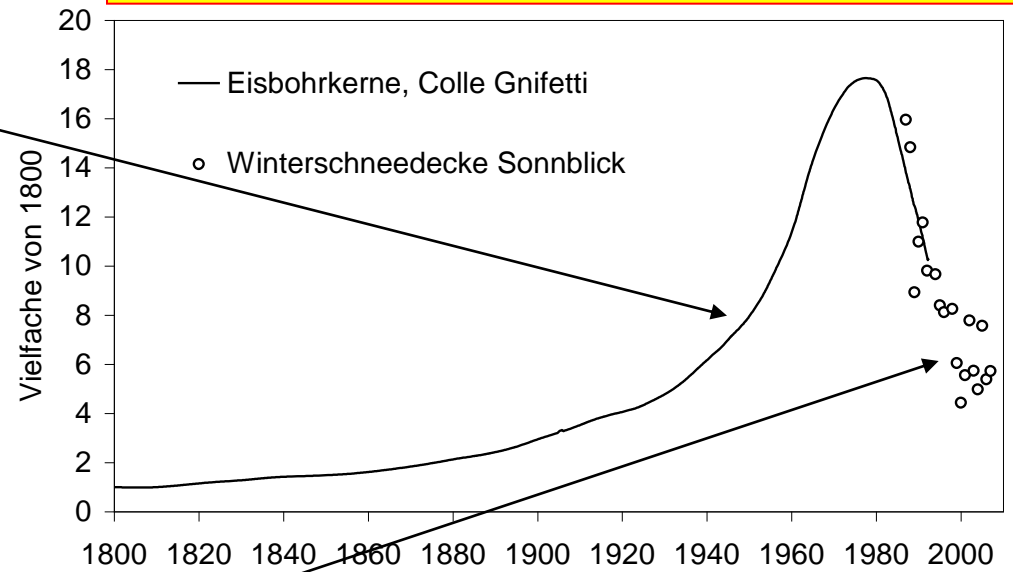
Sulfat-Aerosol ca. 4-7 Tage in der Atmosphäre



Foto: Urs Ruth



Foto: Bernhard Hynek

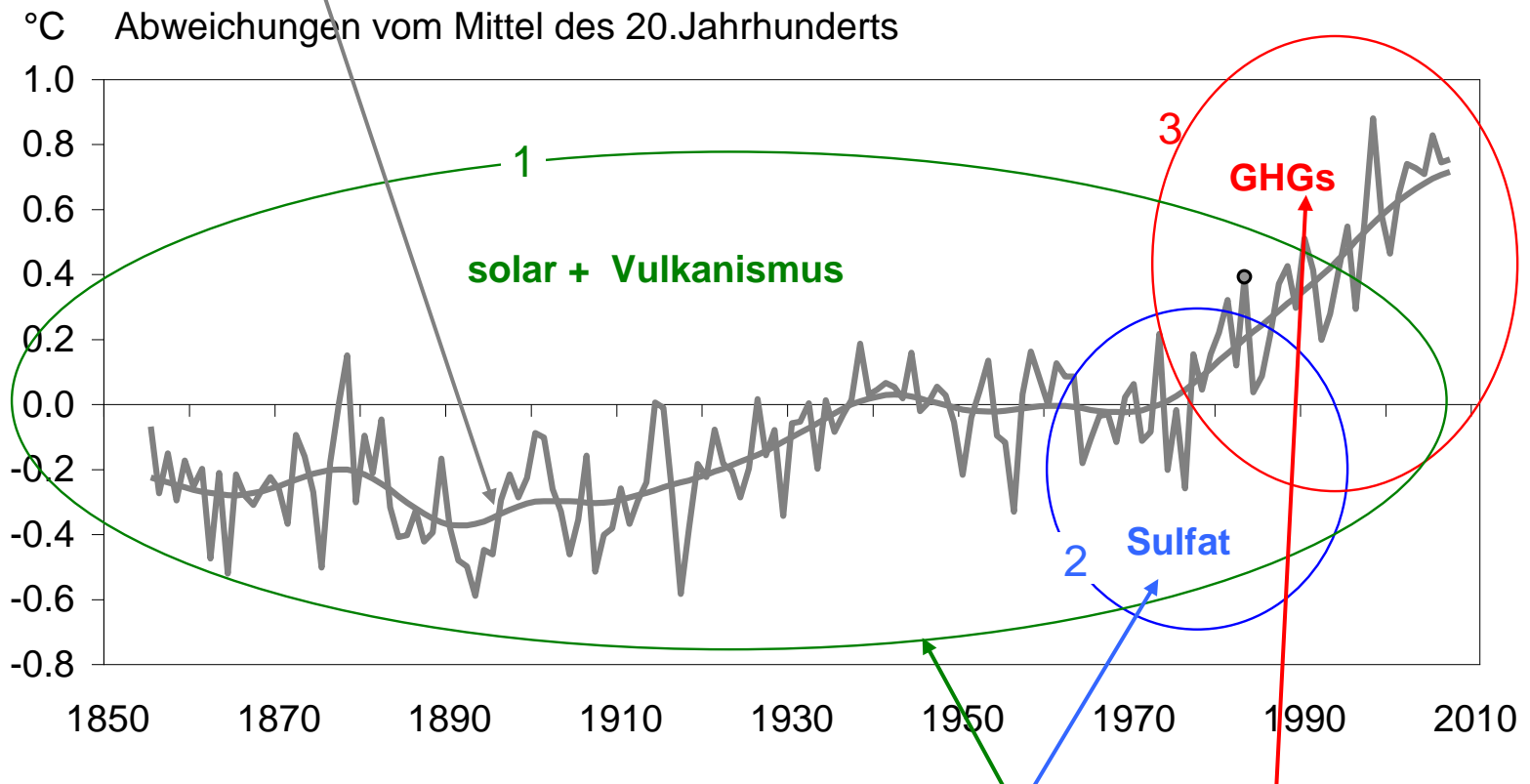


CONCLUSIO ÜBER DIE AKTUELL WIRKSAMEN KLIMAANTRIEBE:

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



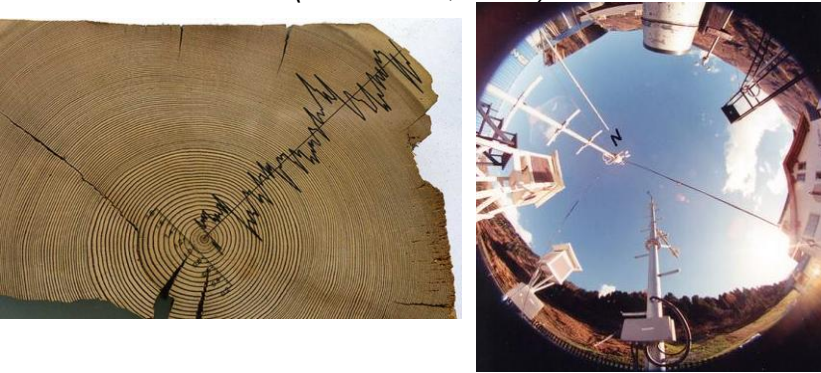
ZAMG
Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik

Ein Vergleich MODELLIERTES – GEMESSENES KLIMA:

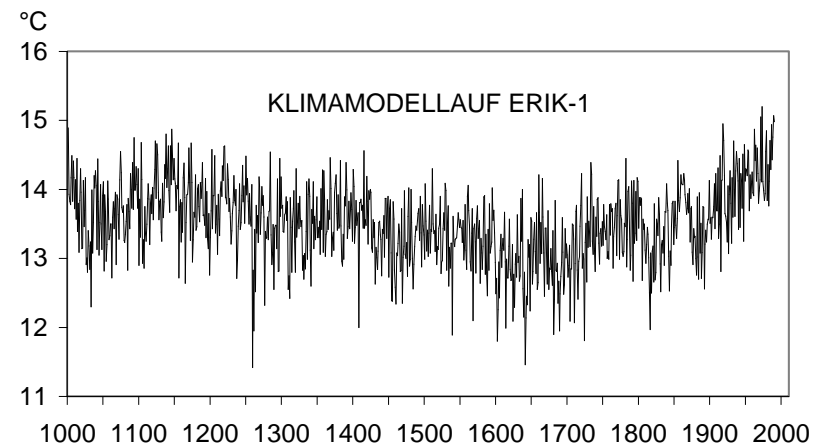
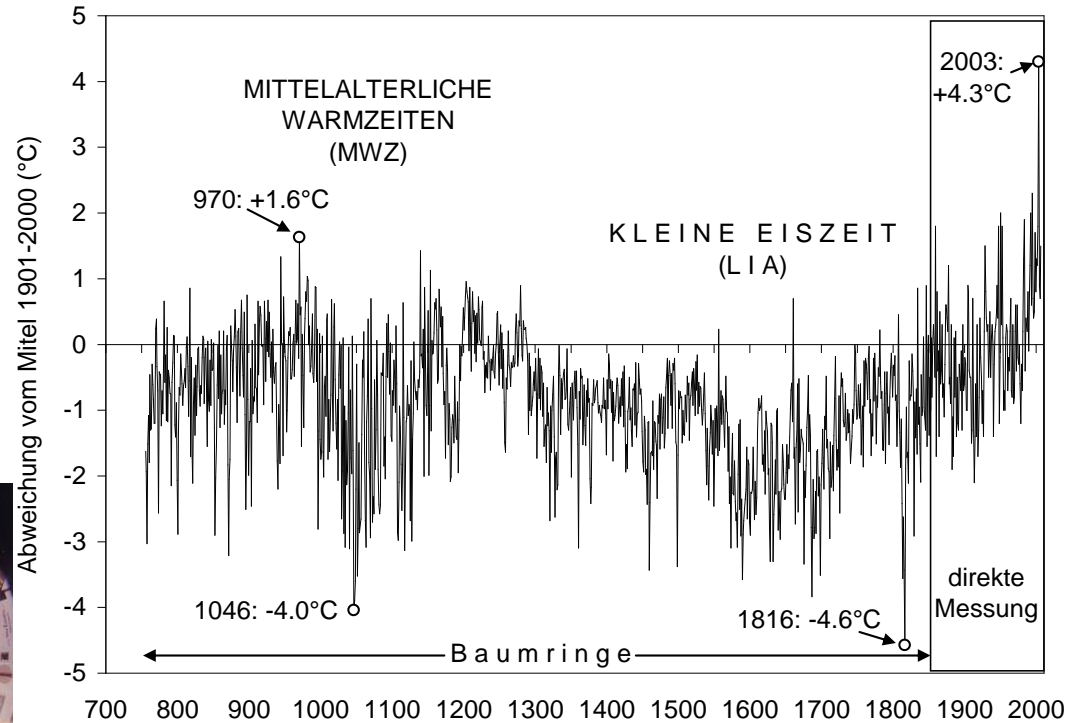
Rekonstruktion der Sommer-
Frühherbst Temperaturen (Juni-
September) in den Alpen seit dem Jahr
755 n Chr.

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

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

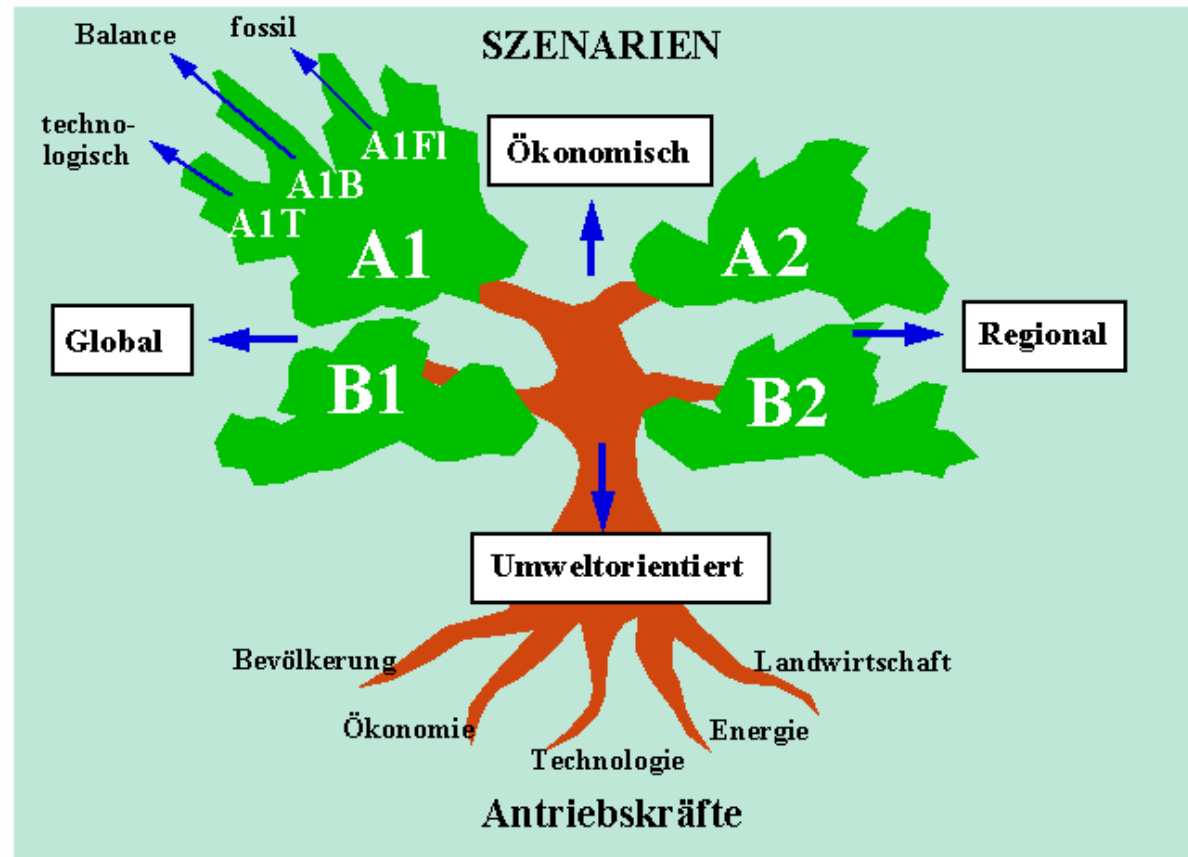


Klimamodellauf ERIK-1 (GKSS) für die
Sommermitteltemperaturen (Juni-September) der
Jahre 1000-1990 für Festlandeuropa (10°W-40°E,
35°N-70°N)
(Zorita et al., 2004)



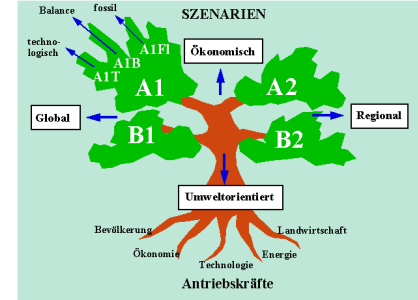
WIE KOMMT MAN ZU DEN KLIMAANTREBEN DER ZUKUNFT?

Durch die IPCC-Entwicklungsszenarien:



IPCC Szenarienbaum

Extremszenario 1:



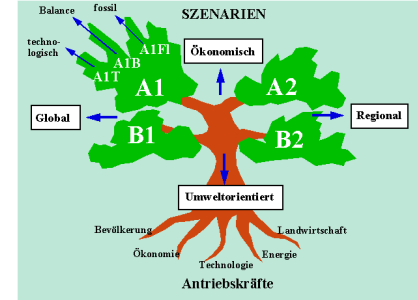
A2-Familie

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:

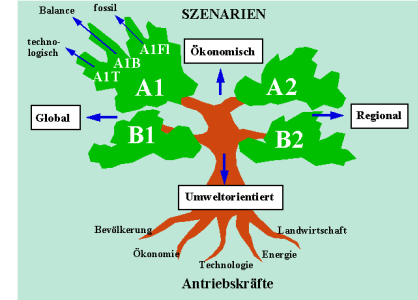


B1-Familie

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

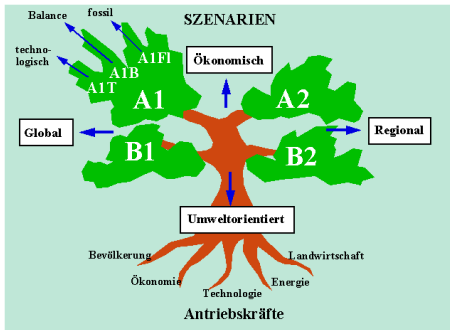
Schnelles Wirtschaftswachstum in einer mobilen, global stark vernetzten, immer mehr zusammenwachsenden Welt. Einkommensunterschiede zwischen Individuen und zwischen Ländern bzw. Regionen vermindern sich.

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.

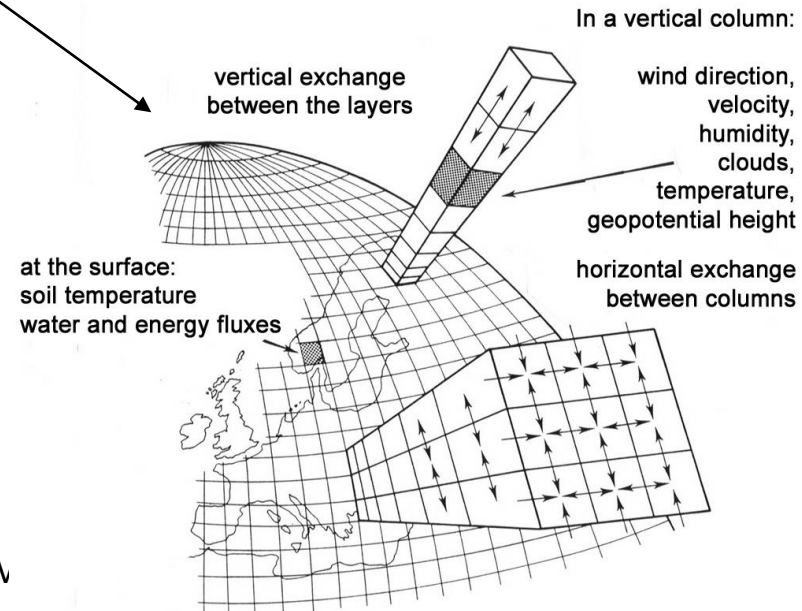
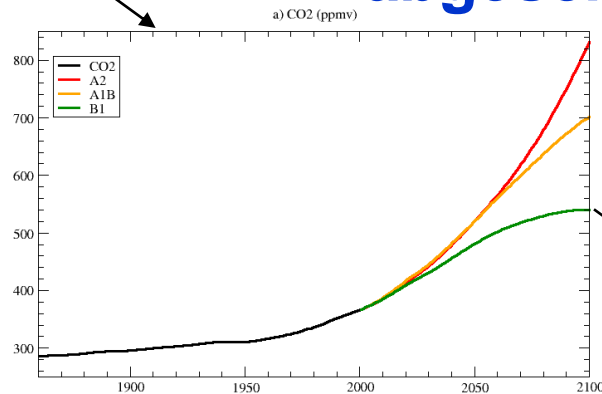
Neue Technologien werden schnell eingesetzt. Energieeffizienz steigt an. Sehr unterschiedliche Energieprioritäten, im „Marker Szenario“ A1B wird ein ausbalancierter Mix aus verschiedenen Energiequellen benutzt.

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

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



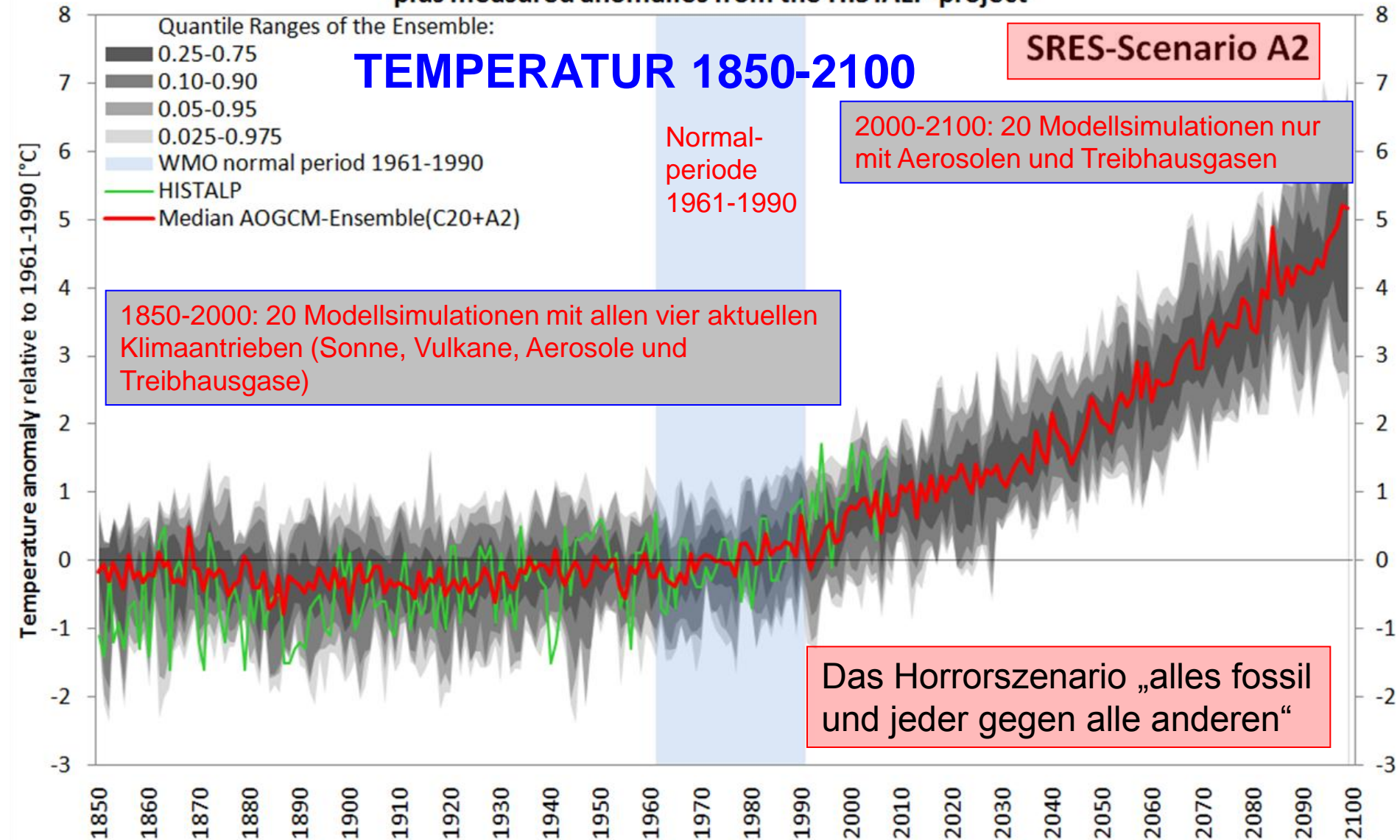
Werden die anthropogenen Klimaantriebe der Zukunft abgeschätzt



Und mit diesen die mathematisch-physikalischen Klimamodelle angetrieben

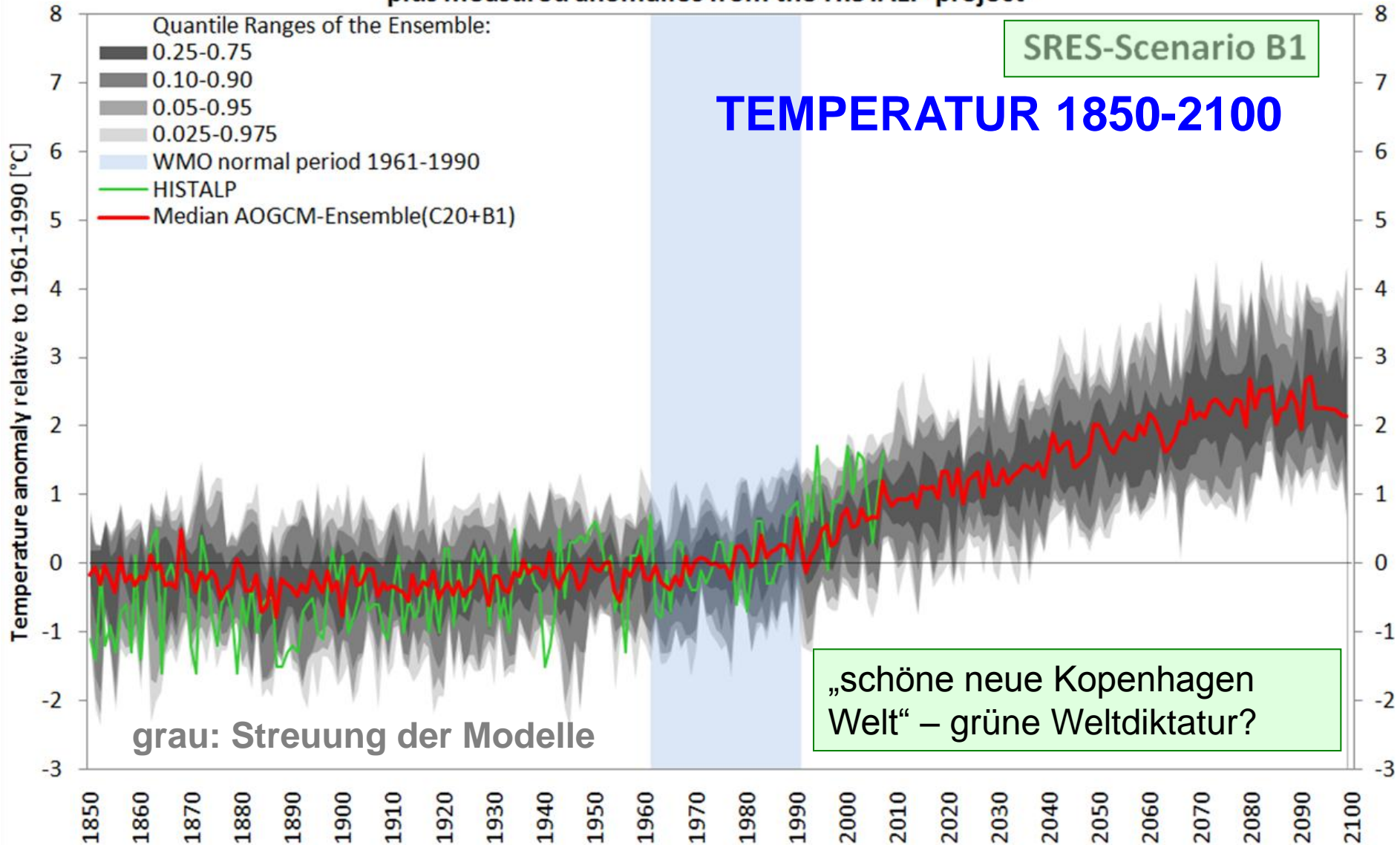
AUS UNSERER WERKSTATT:

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



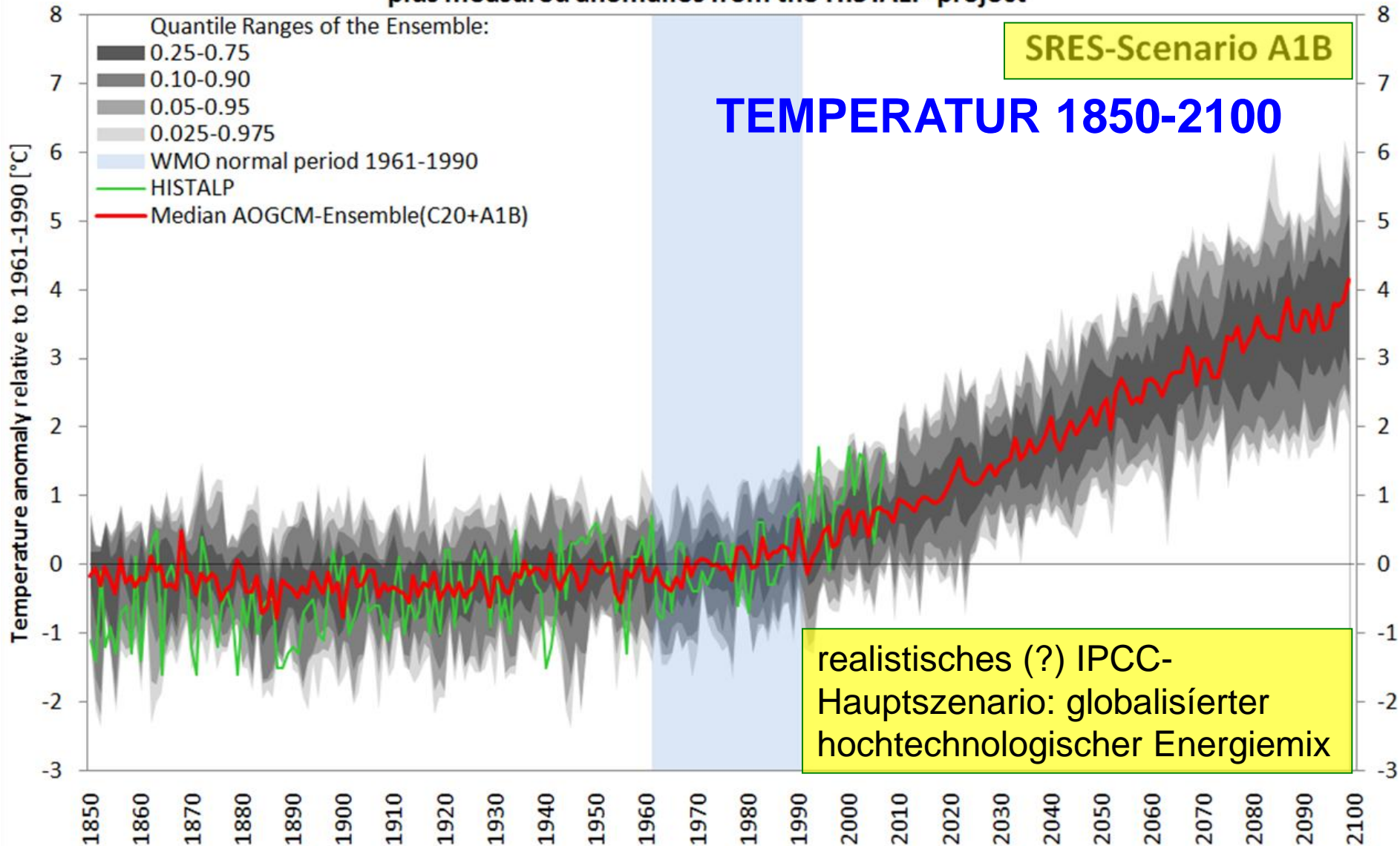
AUS UNSERER WERKSTATT:

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



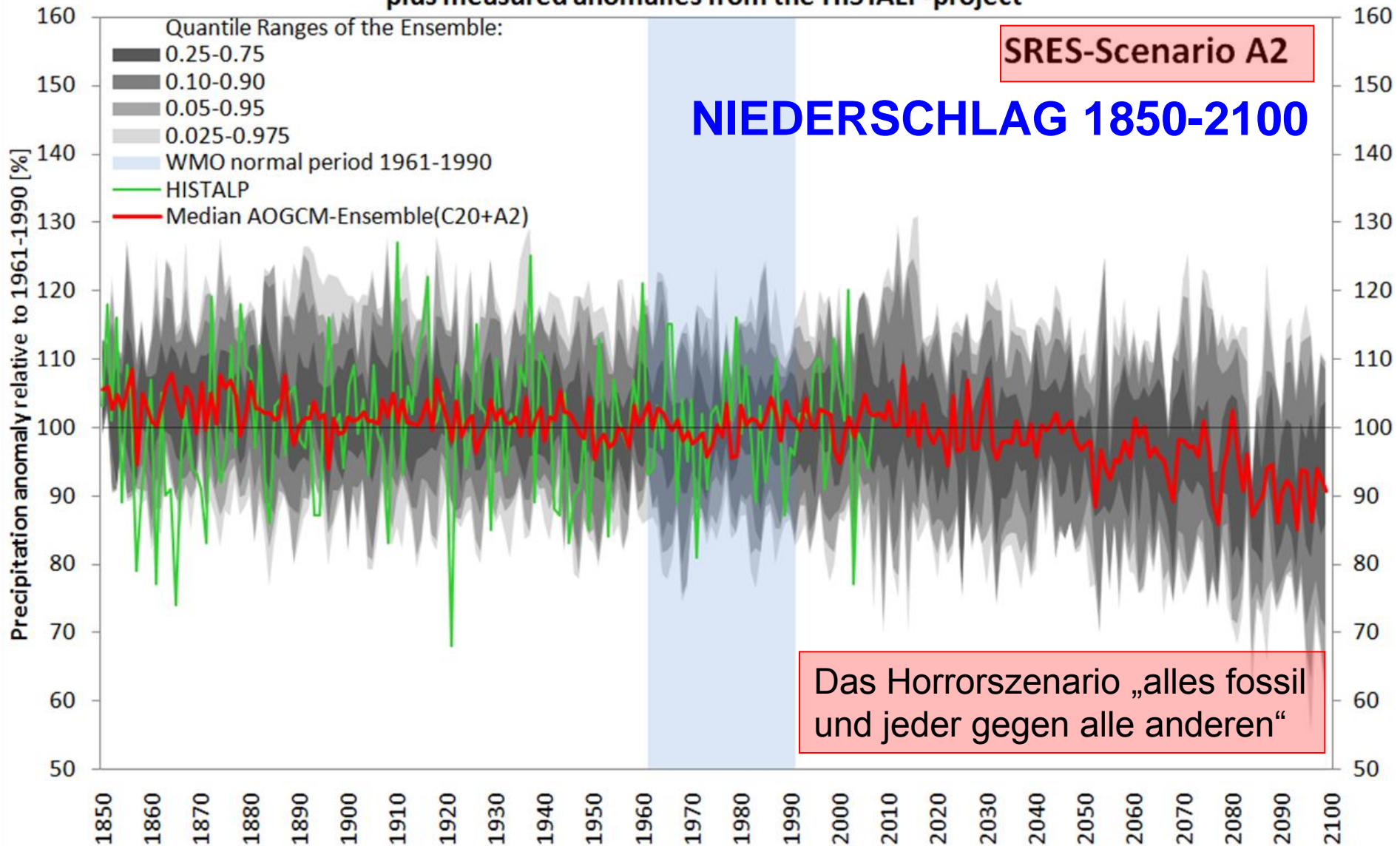
AUS UNSERER WERKSTATT:

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



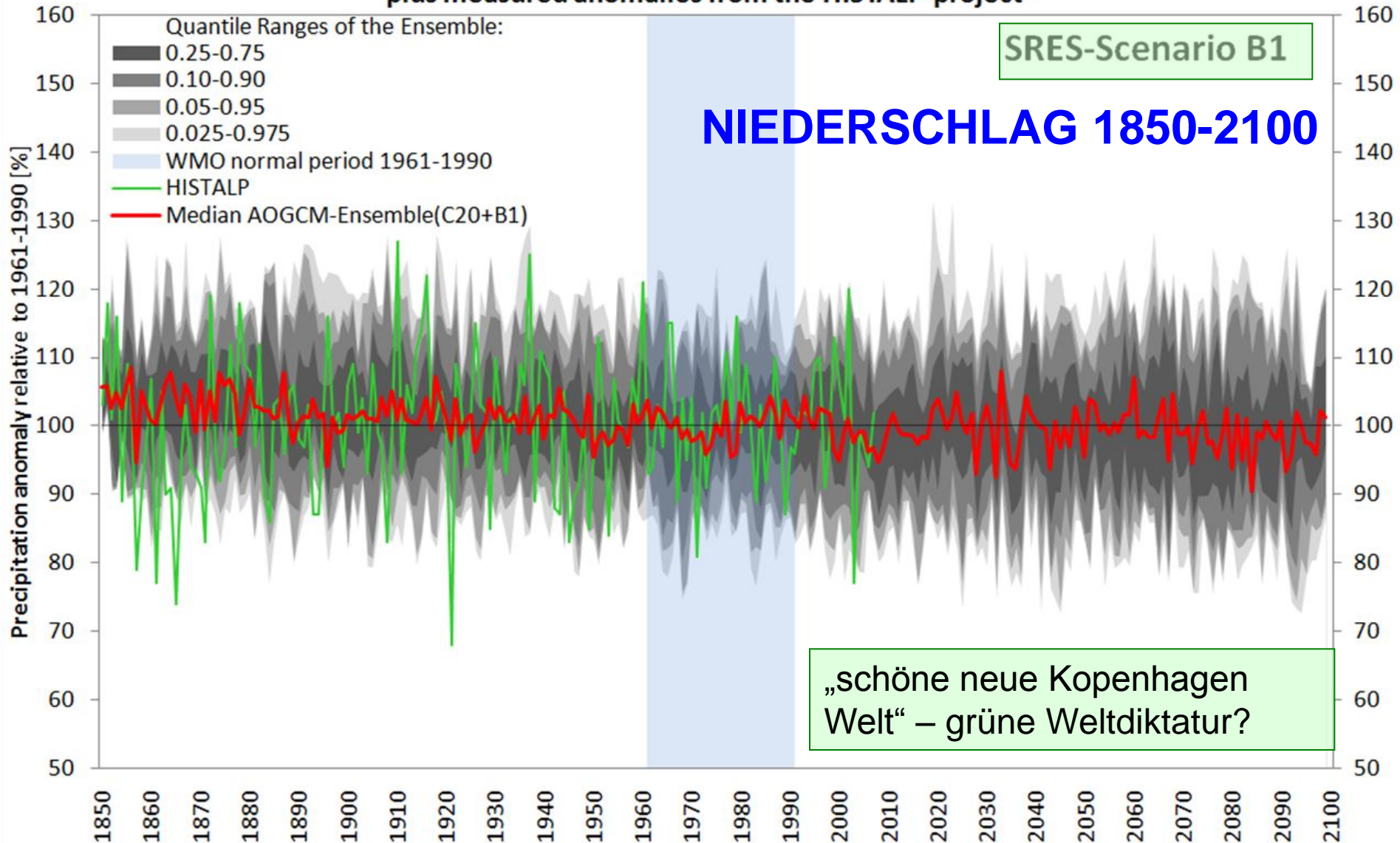
AUS UNSERER WERKSTATT:

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



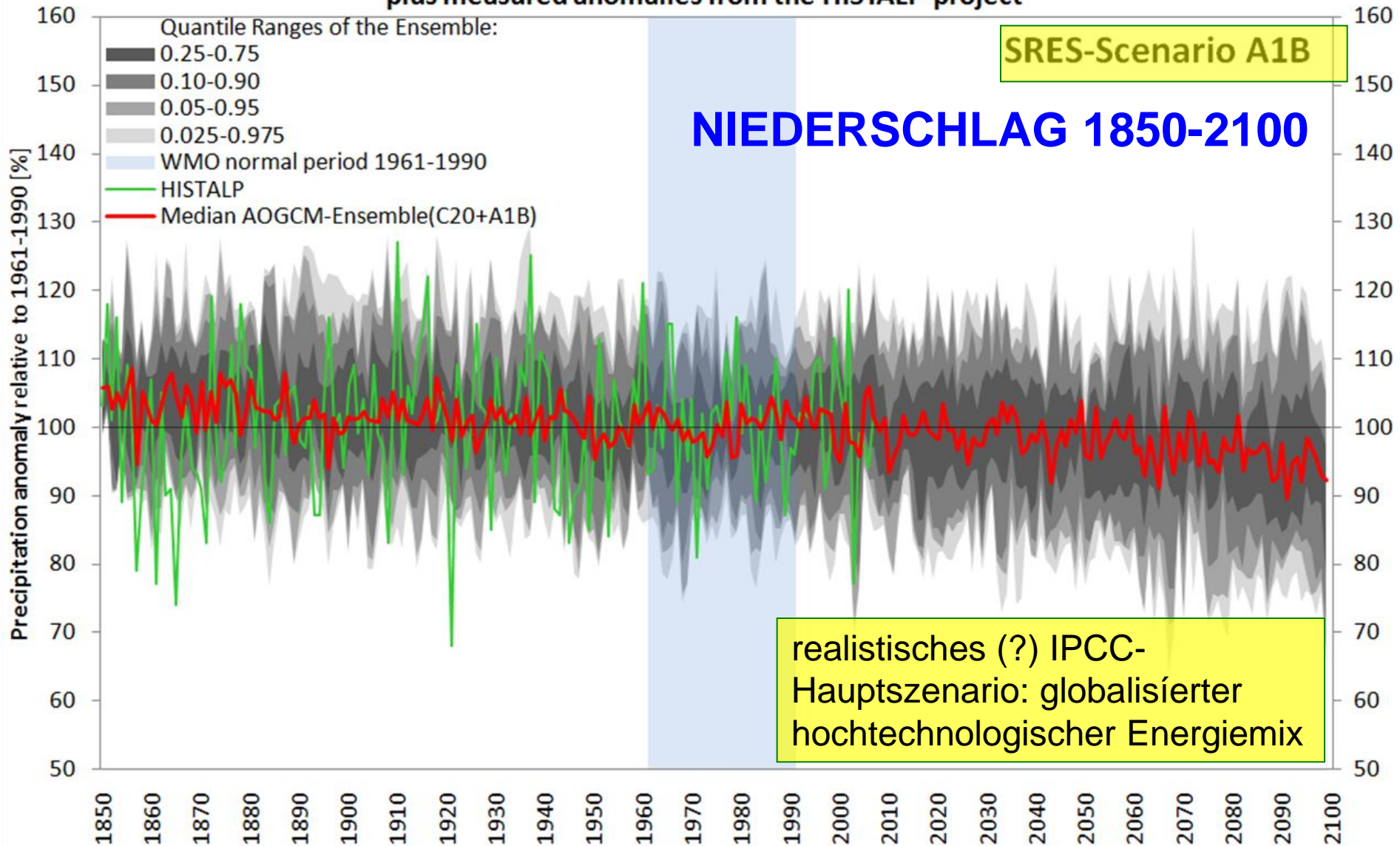
AUS UNSERER WERKSTATT:

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

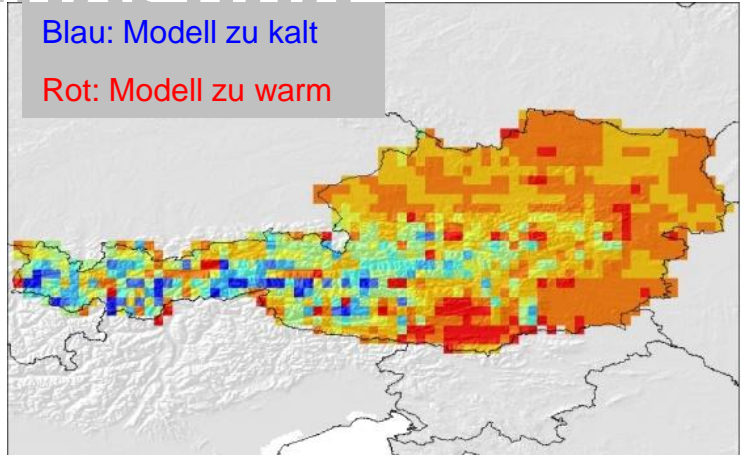
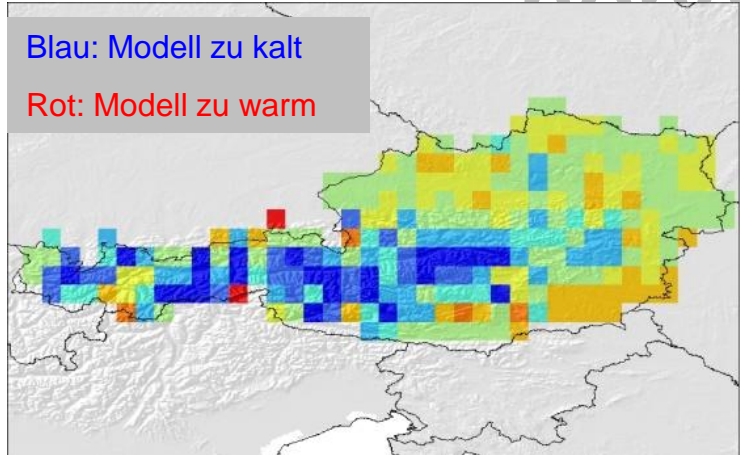
Modell COSMO-CLM: 30km

CLM: MET.Z. Sh.4/ 2008

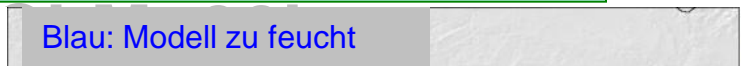
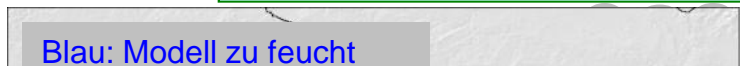
Mittel 1961-1990

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

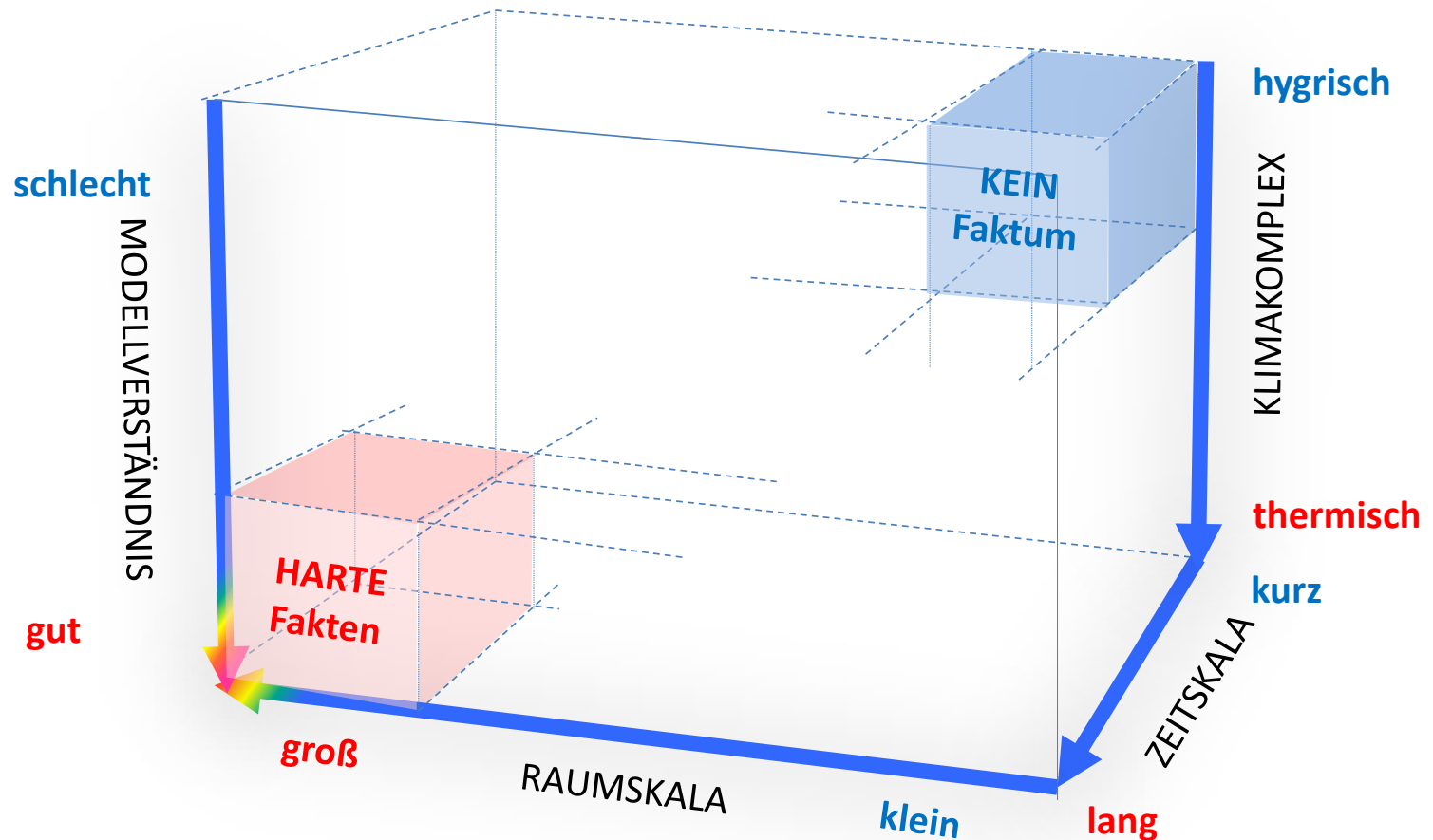


Der langen Rede kurzer Sinn:

- 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 Klimaelemente. *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...](#)

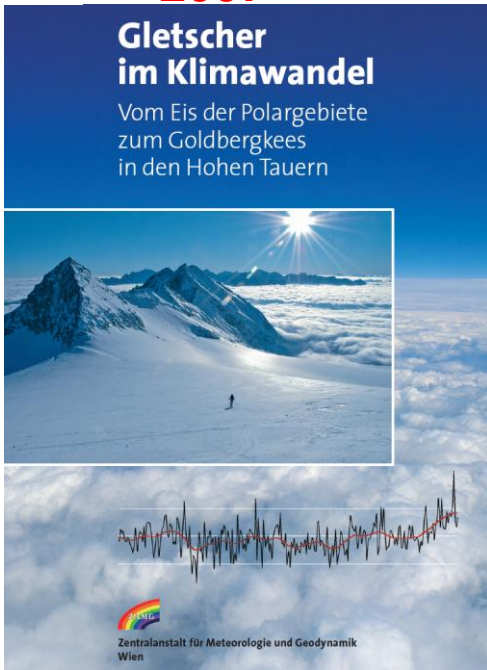


Aktuelles

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

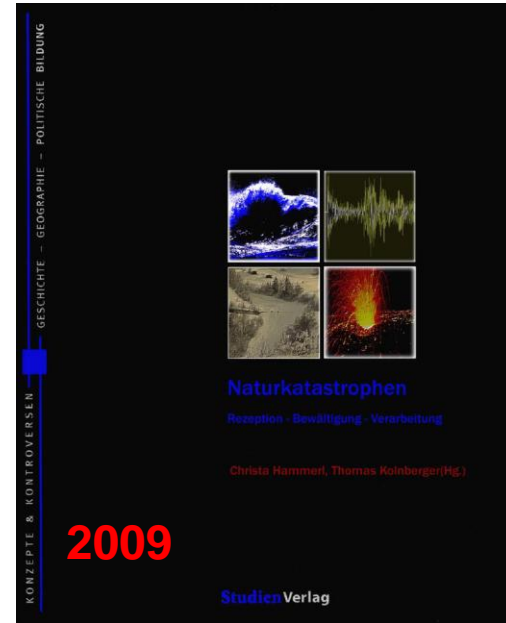
2008

Neuaufgabe 2010



THE END

snacht ZAMG



2009

