WWW.OZEAN-KLIMA.DE

P I K

POTSDAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH

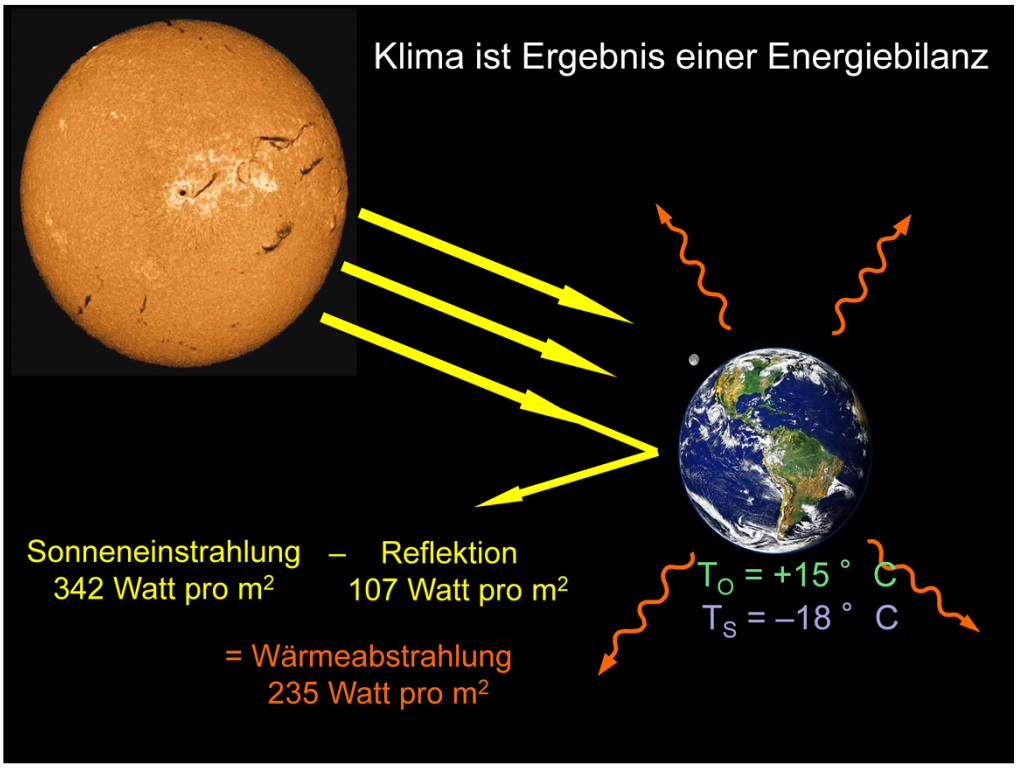
Globale Erwärmung: Zum aktuellen Stand der Forschung

Frankreich, Sommer 2003. Foto: Prof. Wolfgang Cramer

Leibniz
Leibniz-Gemeinschaft

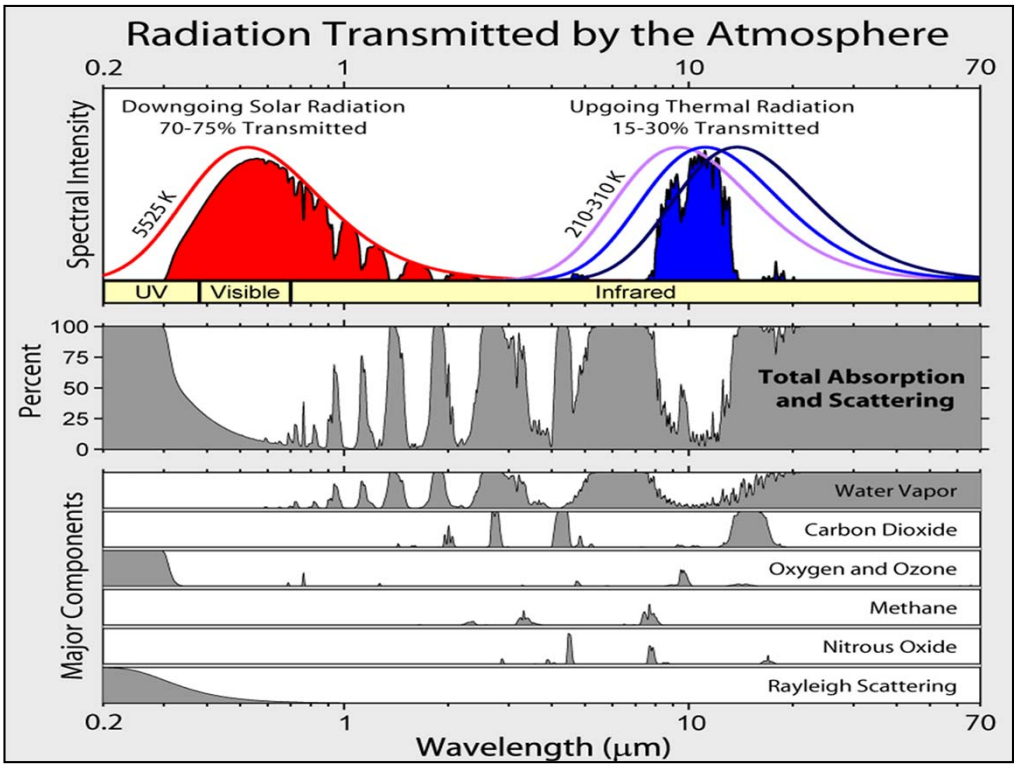
Prof. Stefan Rahmstorf

Vortrag bei der Expertenanhörung am 16. Juni 2014 im Umweltausschuss des Landtages Niedersachsen in Hannover.



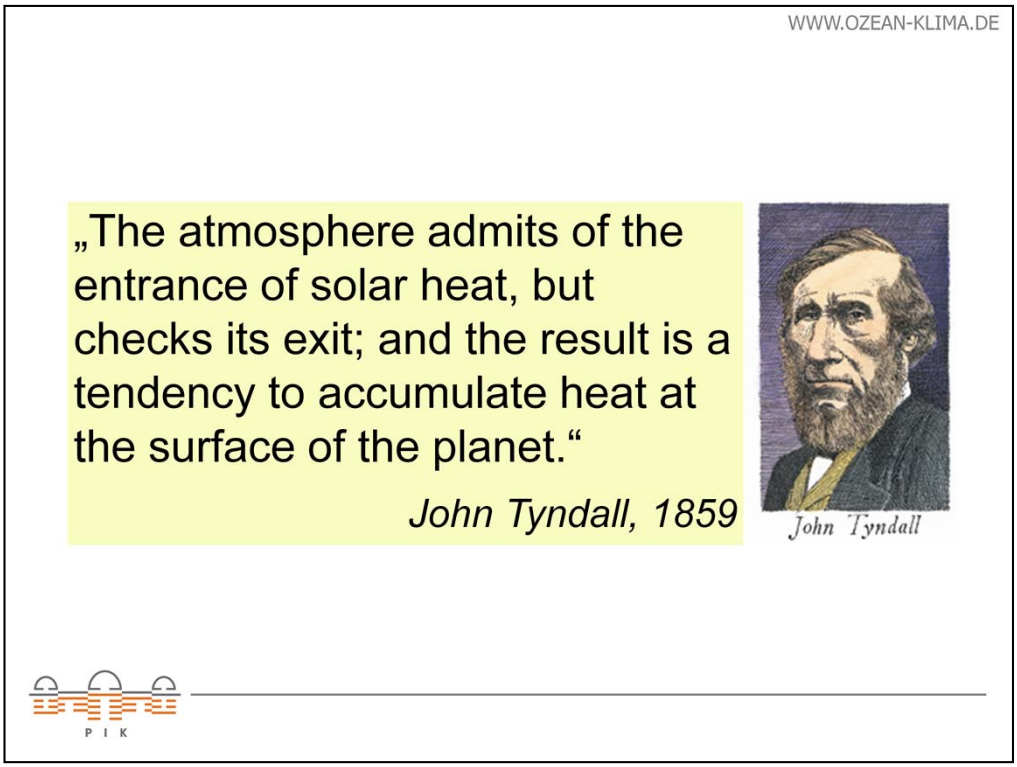
Die Erde nimmt von der Sonne 235 Watt pro Quadratmeter Erdoberfläche an Energie auf. (Die Zahlen gelten im Gleichgewicht, dass Ungleichgewicht in der Größe von Rund 1 Watt/m2 durch die laufende globale Erwärmung ist hier nicht Gegenstand.)

Nach Stefan-Boltzmann-Gesetz würde diese Energiemenge von einem Körper bei einer Temperatur von – 18 °C wieder abgestrahlt. Das wäre die Oberflächentemperatur der Erde, wenn die Strahlung von ihrer Oberfläche ungehindert ins All entweichen könnte. Dies ist aber wegen des Treibhauseffekts nicht der Fall, daher ist die Oberfläche der Erde viel wärmer.



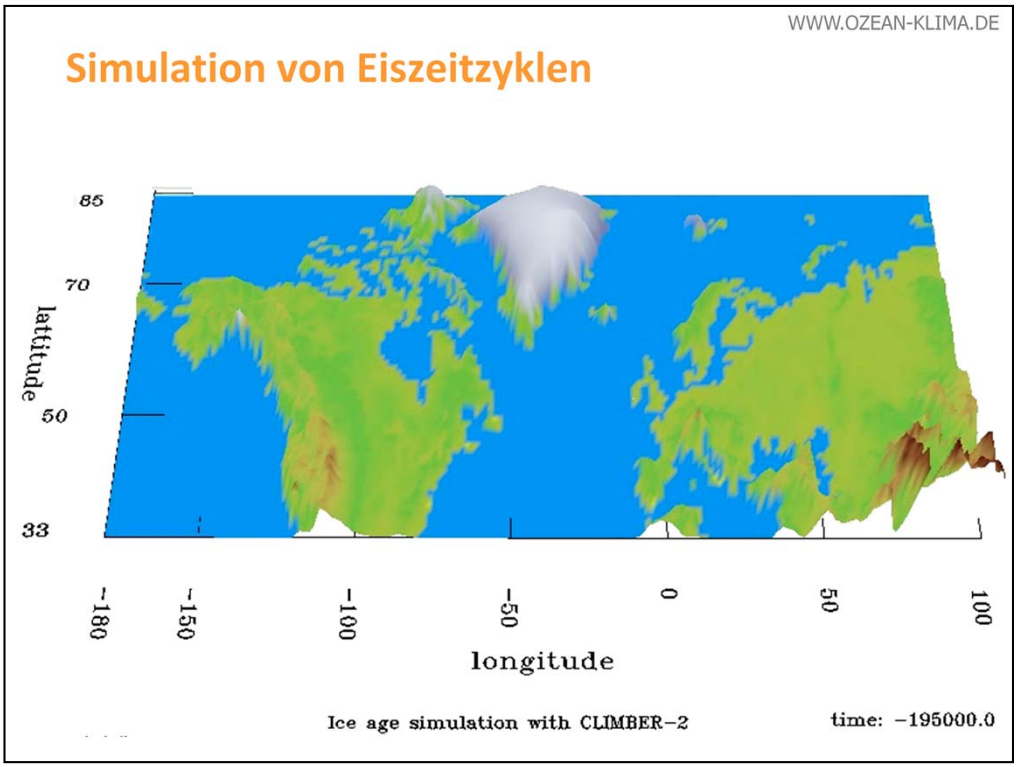
Gemessene Spektren der an der Erdoberfläche ankommenden Sonnenstrahlung (rot) und der ins All entweichenden langwelligen Abstrahlung (blau).

Grau schattiert sind die in der Atmosphäre abgefangenen Anteile der Strahlung, insgesamt und nach Ursachen aufgeschlüsselt.



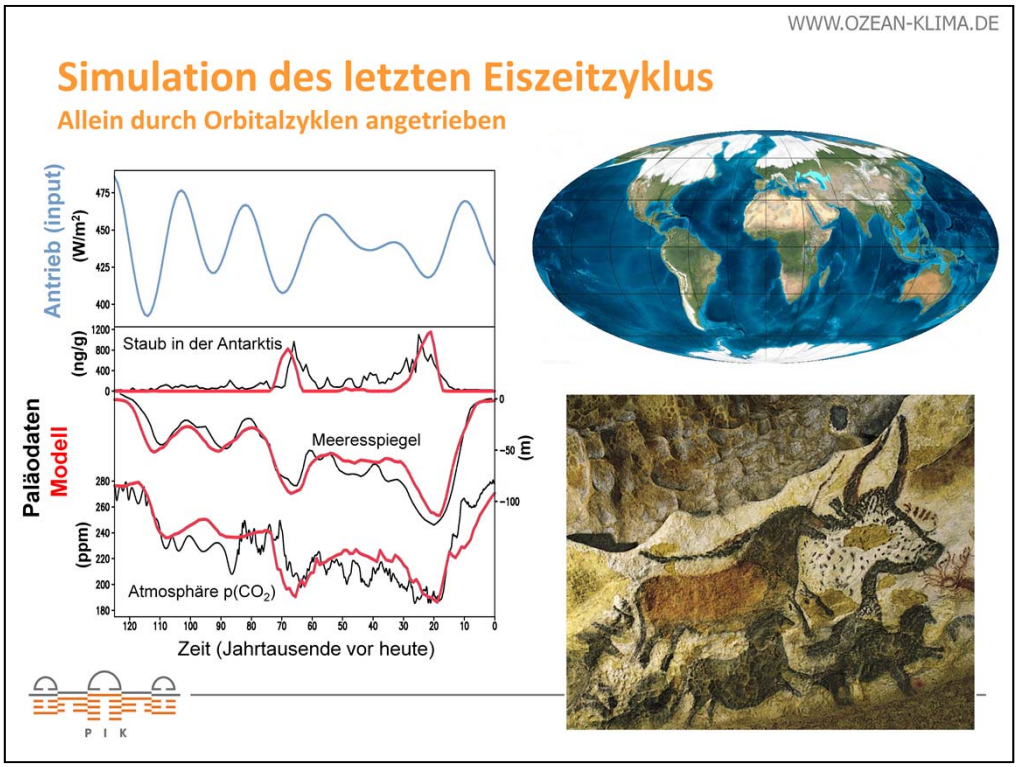
Der Physiker John Tyndall wies 1859 als erster nach, welche Gase den seit Fourier (1824) bekannten Treibhauseffekt verursachen.

Zugleich lieferte er eine sehr klare Beschreibung des Treibhauseffektes in einem Satz.



Das Video ist hier abspielbar:

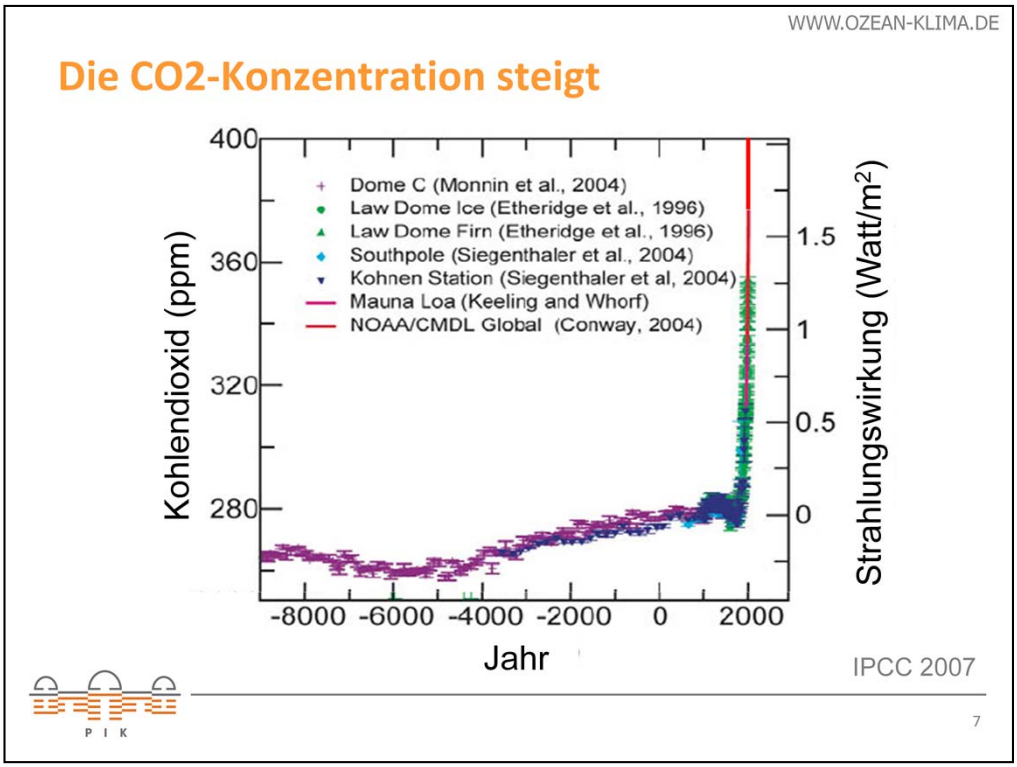
http://www.pik-potsdam.de/sealevel/en/animations.html



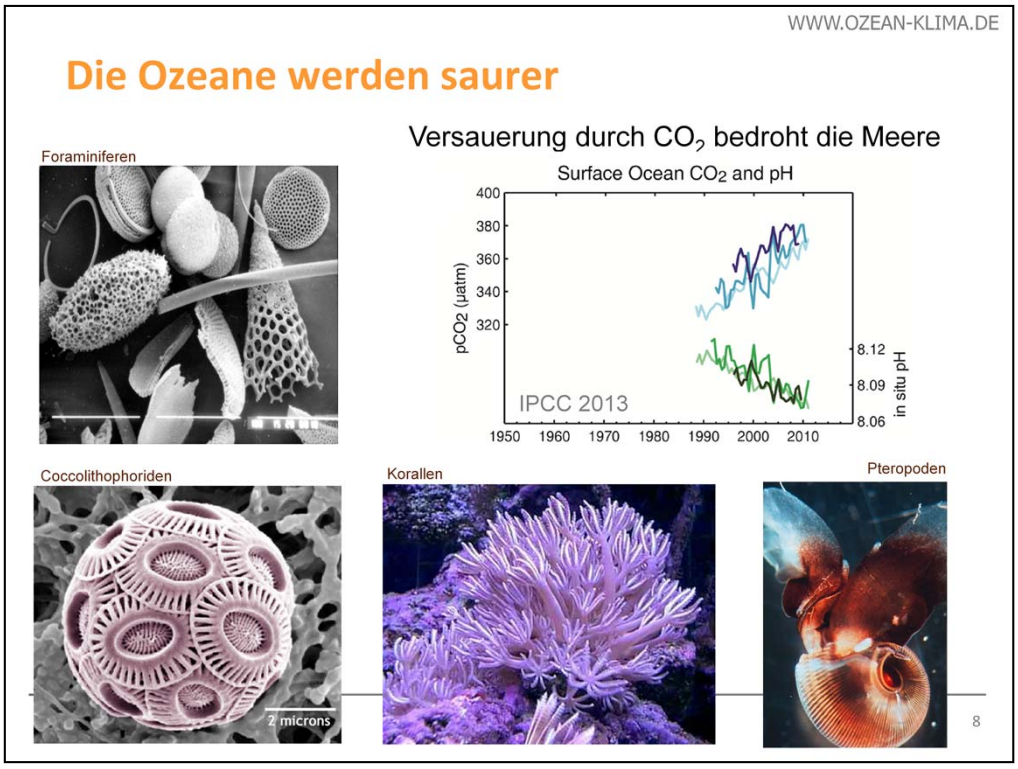
Am PIK gelang 1998 die weltweit erste Simulation des Eiszeitklimas mit einem gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modell:

Ganopolski A, Rahmstorf S, Petoukhov V, Claussen M (1998) Simulation of modern and glacial climates with a coupled global model of intermediate complexity. Nature 391:351-356

Inzwischen können komplette Eiszeitzyklen realistisch simuliert werden allein angetrieben von den Orbitalzyklen (Milankowitsch-Zyklen), die bekanntlich die Ursache der Eiszeiten sind.



Die CO2-Konzentration lässt sich aus Eisbohrkernen viele Jahrtausende zurück bestimmen. Inzwischen liegt sie bei 400 ppm, weit höher als jemals seit mindestens rund einer Million Jahre.



CO2 löst sich in Meerwasser als Kohlensäure. Dies führt zur Versauerung der Meere, die auch gemessen wird. Grafik aus dem IPCC-Bericht 2013.

WWW.OZEAN-KLIMA.DE

Stärke des CO2 - Effekts

THE
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.* *By* Prof. SVANTE ARRHENIUS *.

1. *Introduction: Observations of* Langley *on Atmospherical Absorption.*

A GREAT deal has been written on the influence of the absorption of the atmosphere upon the climate. Tyndall † in particular has pointed out the enormous importance of this question. To him it was chiefly the diurnal and annual variations of the temperature that were lessened by this circumstance. Another side of the question, that has long attracted the attention of physicists, is this: Is the mean temperature of the ground in any way influenced by the presence of heat-absorbing gases in the atmosphere? Fourier‡ maintained that the atmosphere acts like the glass of a hot-house, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground. This idea was elaborated by Pouillet §; and Langley was by some of his researches led to the view, that "the temperature of the earth under direct sunshine, even though our atmosphere were present as now, would probably fall to −200° C., if that atmosphere did not possess the quality of selective

* Extract from a paper presented to the Royal Swedish Academy of Sciences, 11th December, 1895. Communicated by the Author.
† 'Heat a Mode of Motion,' 2nd ed. p. 405 (Lond., 1865).
‡ *Mém. de l'Ac. R. d. Sci. de l'Inst. de France*, t. vii. 1827.
§ *Comptes rendus*, t. vii. p. 41 (1838).
Phil. Mag. S. 5. Vol. 41. No. 251. *April* 1896. S

Svante Arrhenius
Portrait by K. Ensikat

Arrhenius 1896 (4-6 ºC)

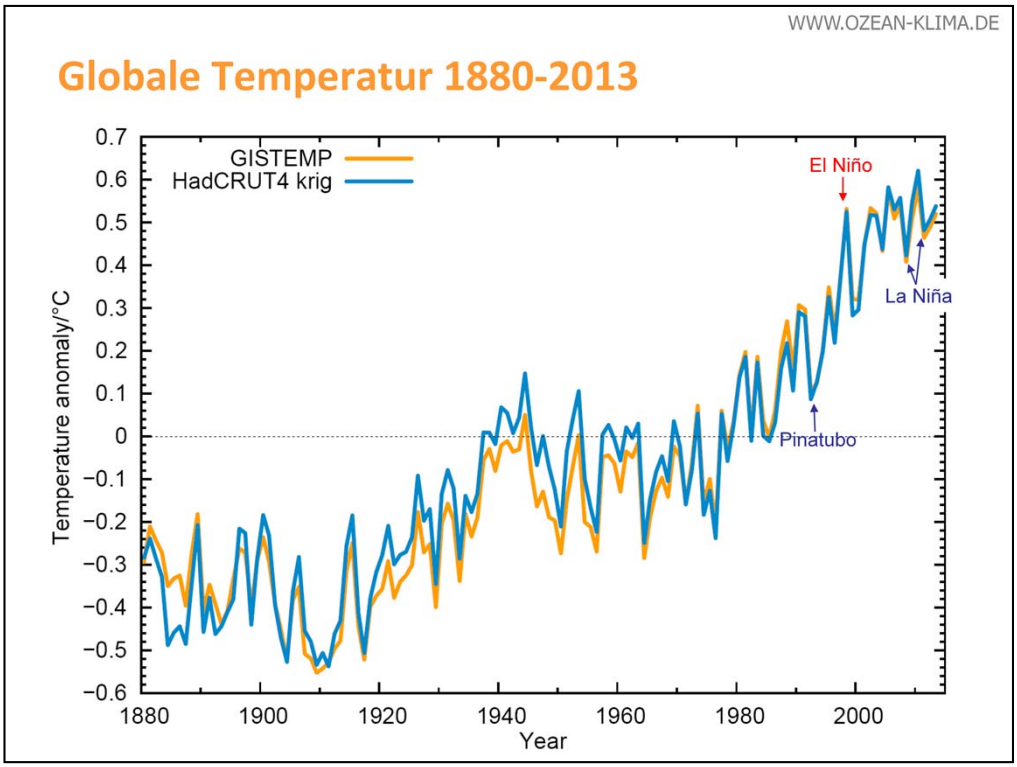
Effekt der CO_2-Verdoppelung:
"Klimasensitivität"

3 ± 1 ºC

Es folgt:
Störung durch den Menschen sollte bisher 0,8 – 1,0 ºC Erwärmung verursacht haben

P I K

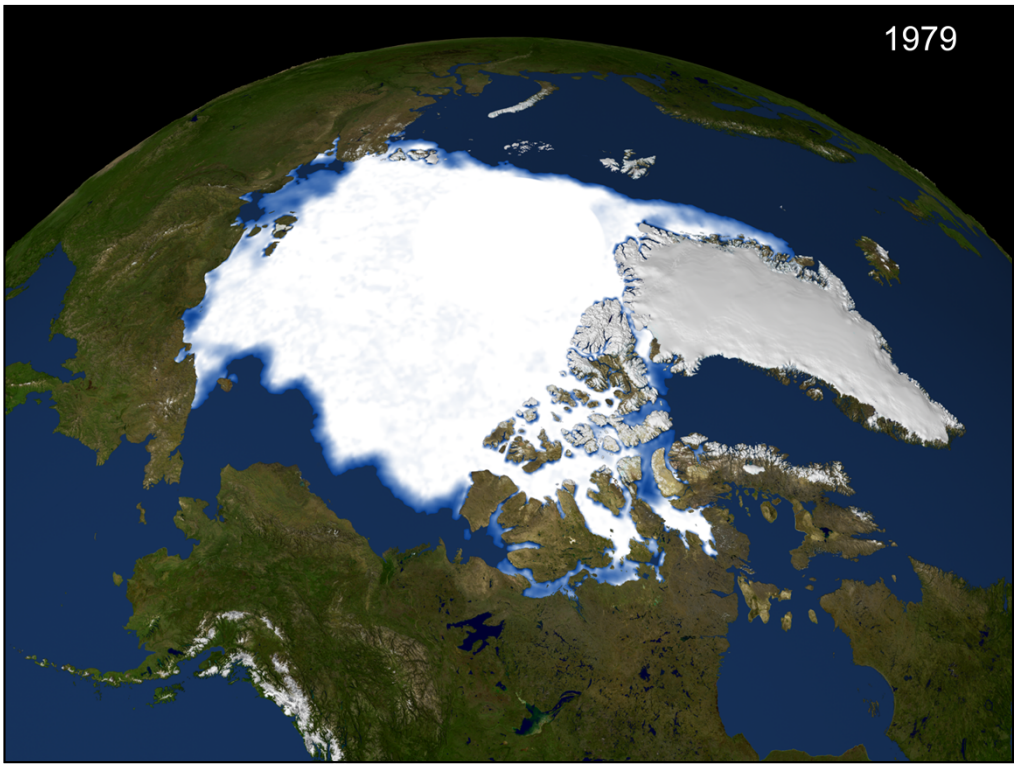
Arrhenius errechnete als erster, wie viel Erwärmung eine Verdoppelung der CO2-Konzentration bringen würde. Dieser Wert ist als Klimasensitivität bekannt.



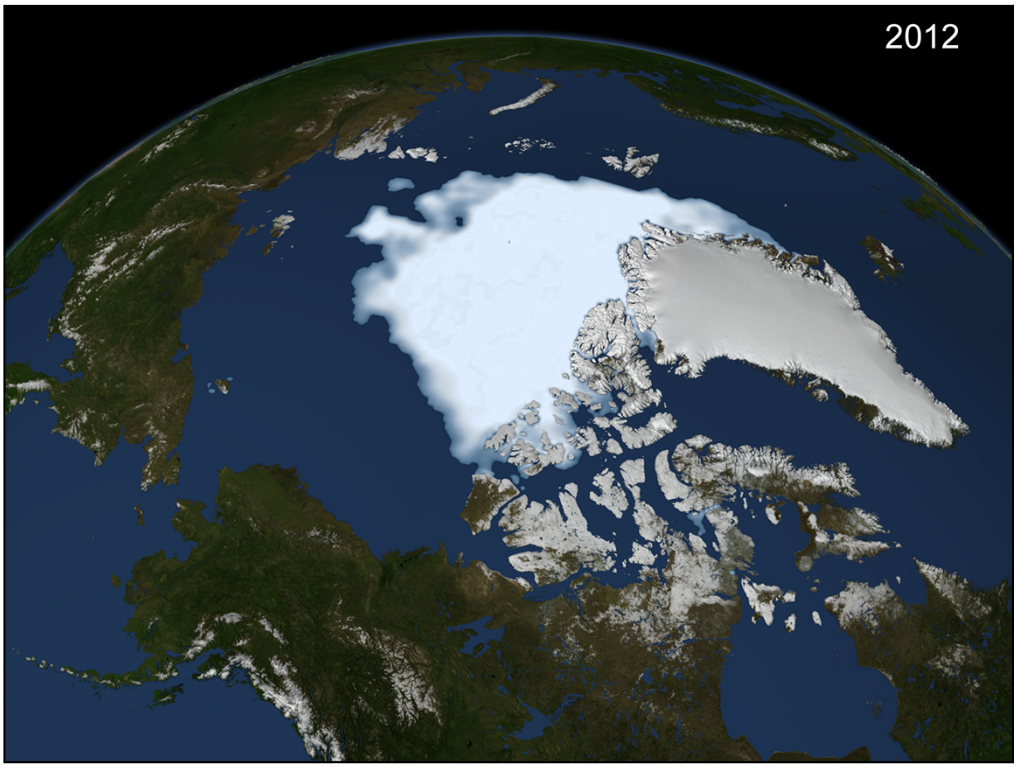
Globale oberflächennahe Temperatur (Jahreswerte) seit 1880 nach den Datensätzen der NASA (GISTEMP) und des britischen Hadley Center (HadCRUT4) mit Interpolation in die Arktis.

Mehr zu diesem Bild hier: http://www.scilogs.de/klimalounge/globale-temperatur-2013/

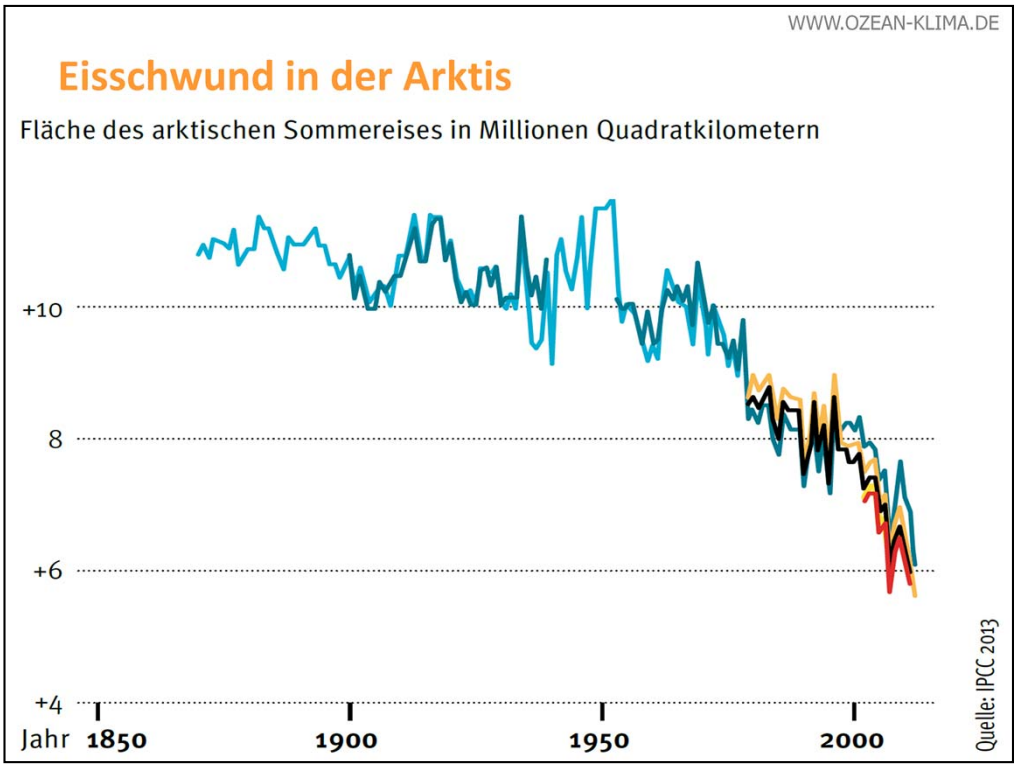
Die globale Mitteltemperatur ist die wichtigste Diagnostik der globalen Erwärmung. Einzelne Stationen eignen sich dazu weniger, weil dort die Temperaturen stark schwanken u.a. abhängig von der vorherrschenden Windrichtung. Die Umverteilung von Wärme durch Wind oder Meeresströme hebt sich jedoch im globalen Mittel weg. Der globale Mittelwert hängt direkt mit der in Folie 2 gezeigten globalen Strahlungsbilanz zusammen.



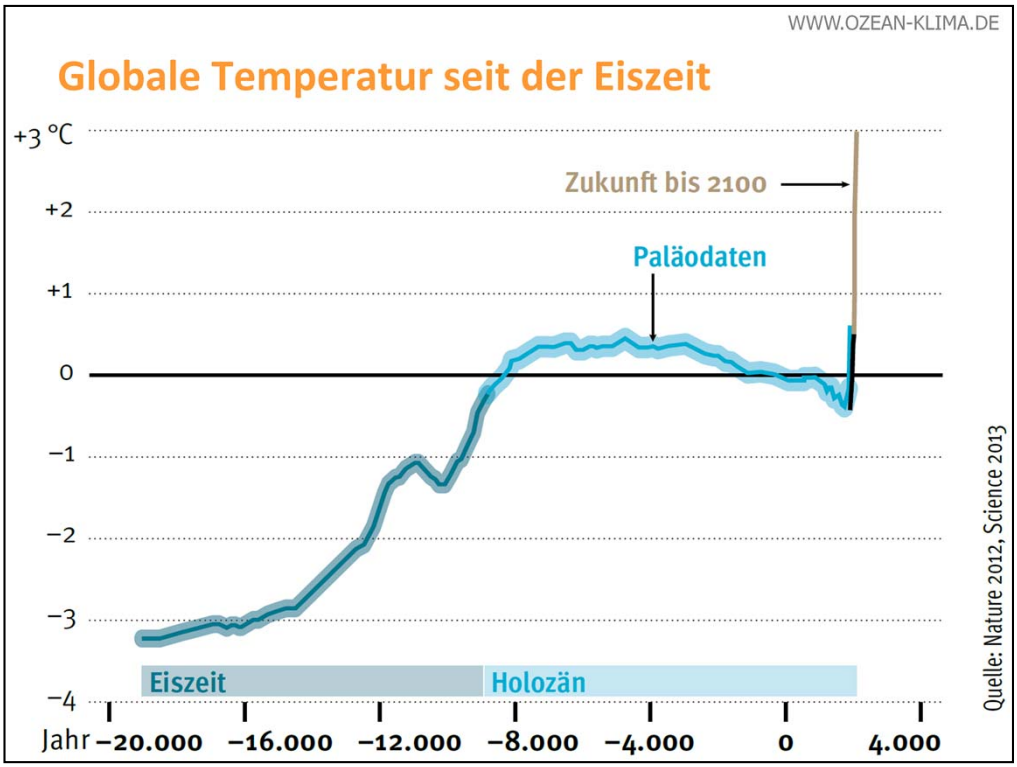
NASA-Satellitengrafik der September-Eisbedeckung in der Arktis 1979



NASA-Satellitengrafik der September-Eisbedeckung in der Arktis 2012, dem bisherigen Tiefststand



Zeitreihe der arktischen Eisbedeckung nach IPCC 2013



Kürzlich wurden die ersten globalen Temperaturrekonstruktionen für das Ende der letzten Eiszeit und das Holozän publiziert.

Wichtig ist hier wiederum das globale Mittel – wie bei Folie 10 erläutert, können die *lokalen* Klimabedingungen stark schwanken aus Gründen, die mit der globalen Temperatur und Energiebilanz nichts zu tun haben.

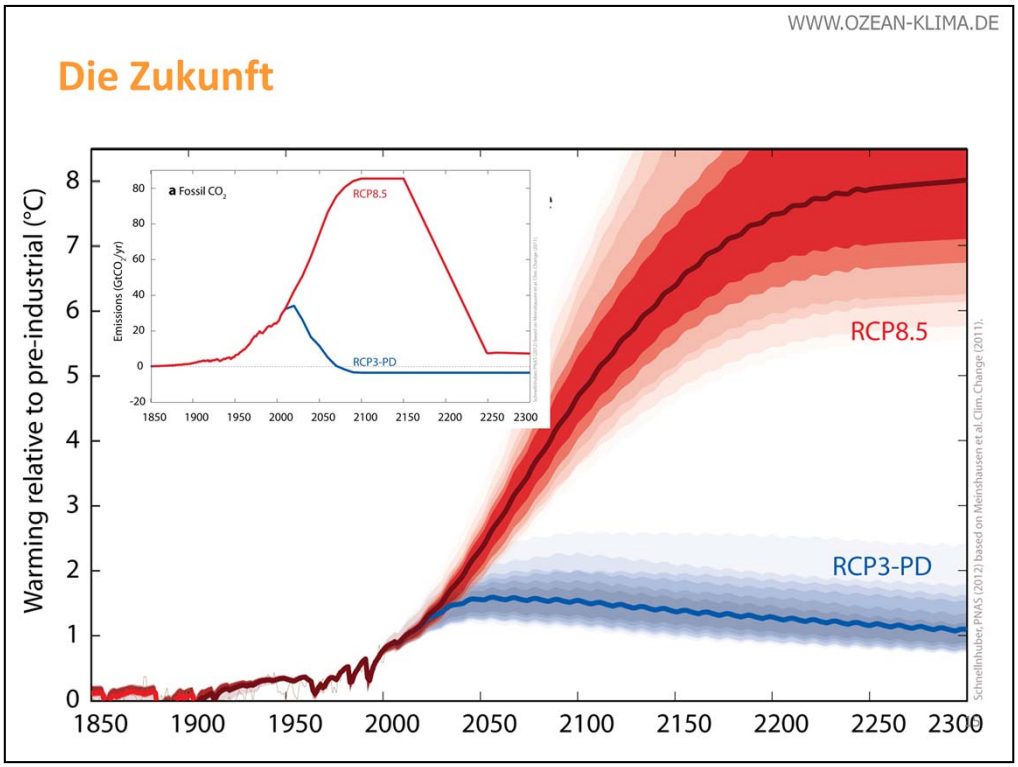
Ohne menschlichen Einfluss wäre die allmähliche Abkühlung vom Holozänen Temperaturmaximum vor fünftausend Jahren sehr wahrscheinlich weitergegangen. Schon heute haben wir innert hundert Jahren die Abkühlung der letzten fünftausend Jahre wettgemacht. Siehe Erläuterungen unter http://www.scilogs.de/klimalounge/palaeoklima-das-ganze-holozaen/

Quellen:

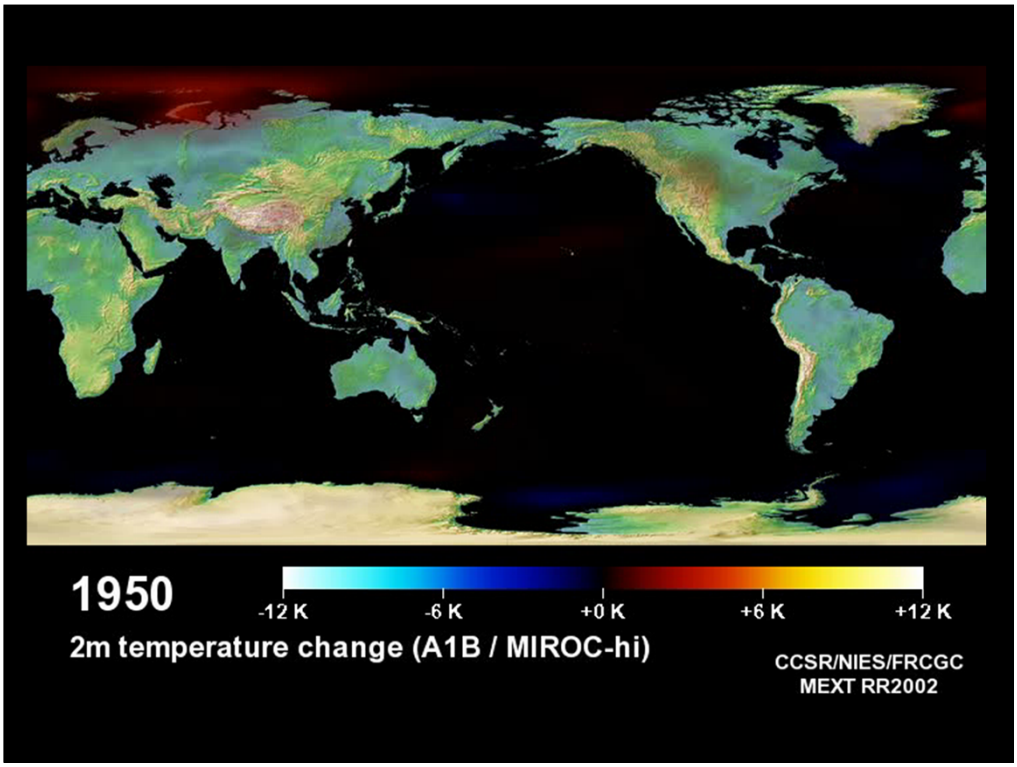
Clark PU, Shakun JD, Baker PA, Bartlein PJ, Brewer S, Brook E, Carlson AE, Cheng H, Kaufman DS, Liu Z, Marchitto TM, Mix AC, Morrill C, Otto-Bliesner BL, Pahnke K, Russell JM, Whitlock C, Adkins JF, Blois JL, Clark J, Colman SM, Curry WB, Flower BP, He F, Johnson TC, Lynch-Stieglitz J, Markgraf V, McManus J, Mitrovica JX, Moreno PI, Williams JW (2012) Global climate evolution during the last deglaciation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109 (19):E1134-E1142. doi:10.1073/pnas.1116619109

Shakun JD, Clark PU, He F, Marcott SA, Mix AC, Liu Z, Otto-Bliesner B, Schmittner A, Bard E (2012) Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. Nature 484 (7392):49-+. doi:10.1038/nature10915

Marcott SA, Shakun JD, Clark PU, Mix AC (2013) A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. Science 339 (6124):1198-1201. doi:10.1126/science.1228026

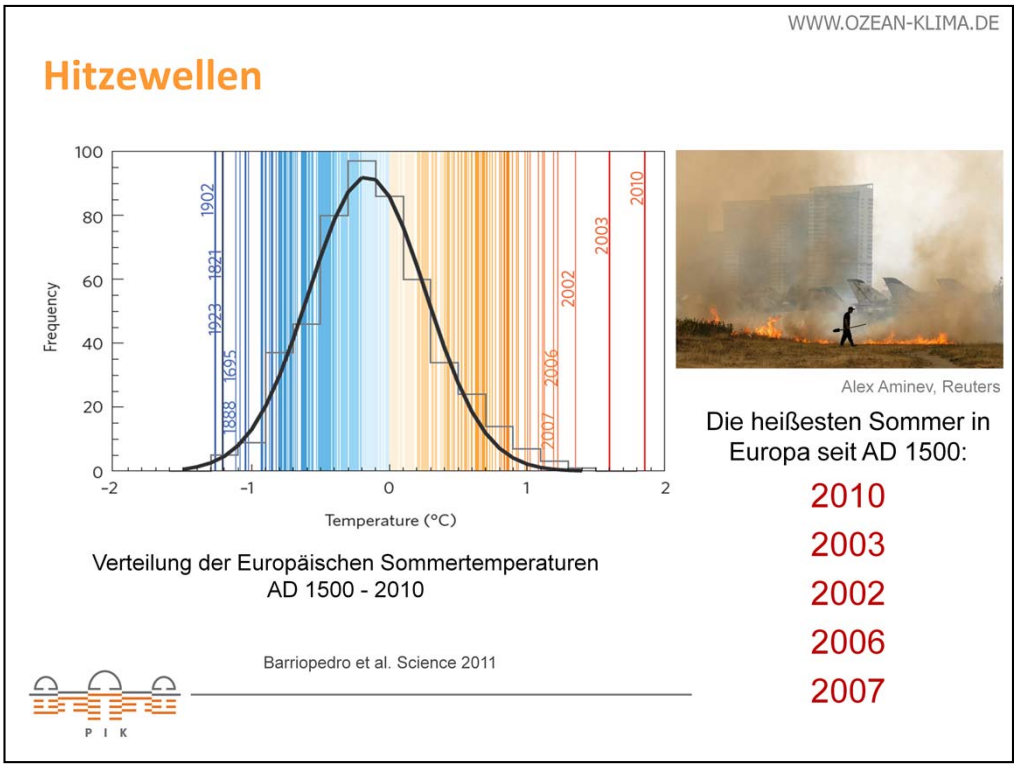


Projektionen der künftigen Temperaturentwicklung, mit Unsicherheiten, für zwei IPCC-Emissions-Szenarien.



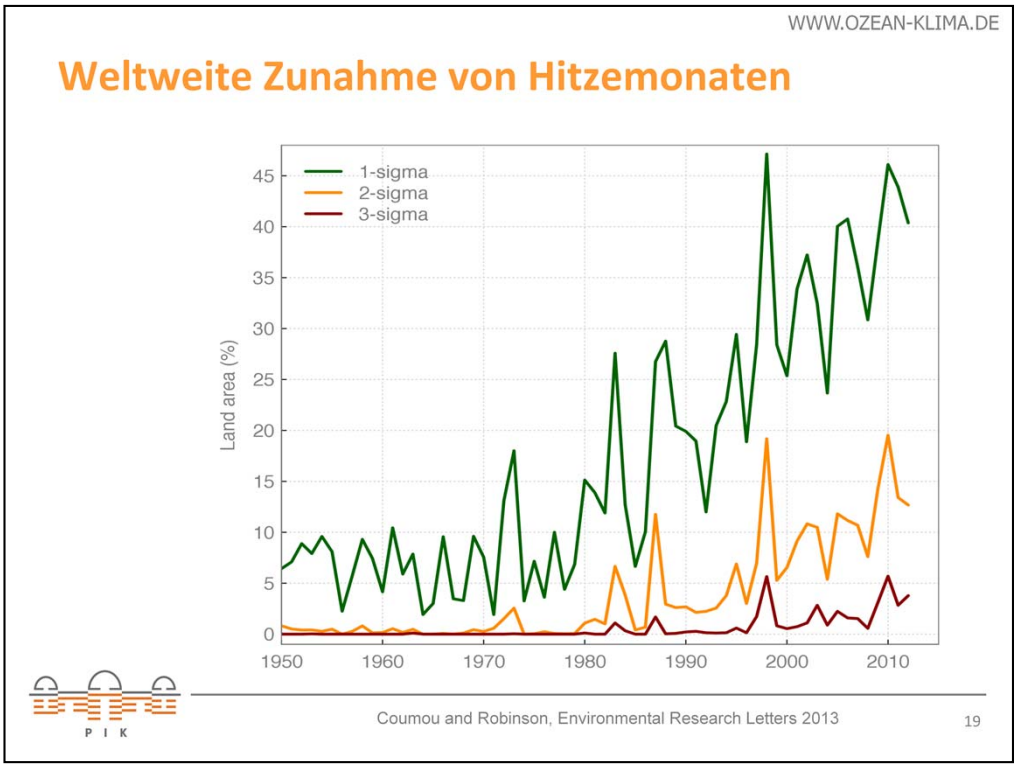
Animation leider nicht online verfügbar.

Aussagen der Meteorologischen Weltorganisation WMO und des deutschen Wetterdienstes zu Extremereignissen.



Sommertemperaturen in Europa. Quelle:

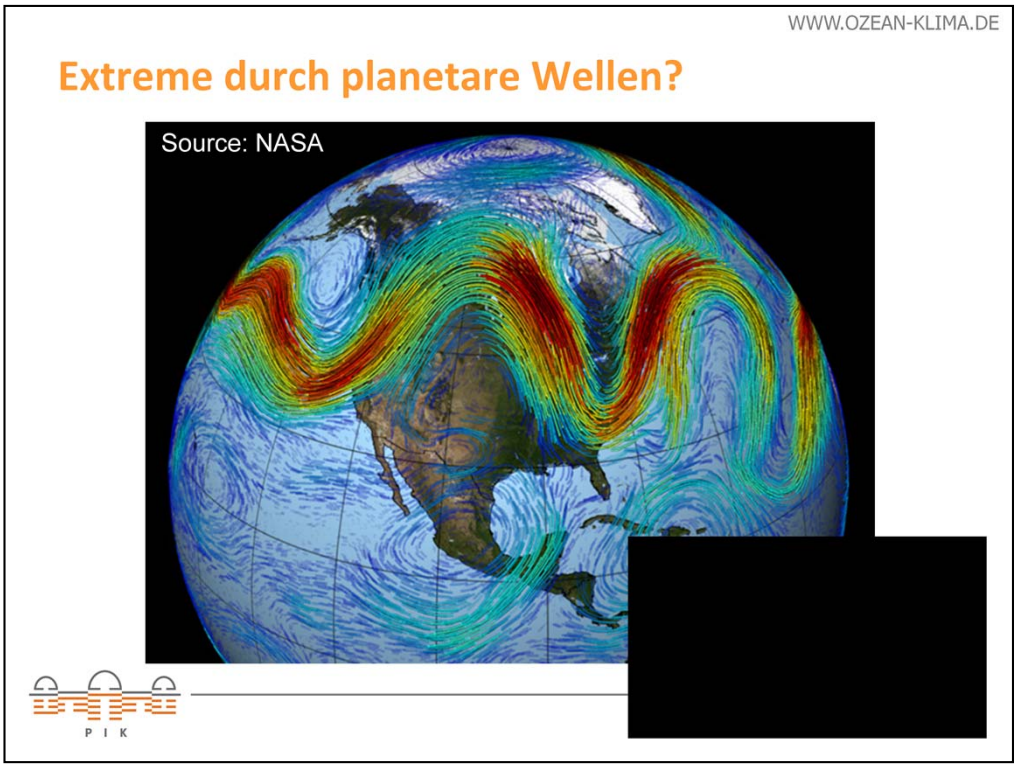
Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, Trigo R, Garcia-Herrera R (2011) The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. Science 332 (6026):220-224. doi:10.1126/science.1201224



Prozentsatz der globalen Landfläche deren Temperatur (Monatswerte; der Prozentsatz ist zusammengefasst zu Jahresmitteln) jeweils eine, zwei oder drei Standardabweichungen über dem langjährigen klimatischen Mittel 1951-1980 liegt. Z.B. lagen die Monatstemperaturen 1998 im Mittel auf fast der Hälfte der Landfläche eine Standardabweichung höher als normal, 6% sogar drei Standardabweichungen über normal. Letzteres ist sehr extrem und kommt durch Zufall nur im Promillebereich vor.

Quelle:

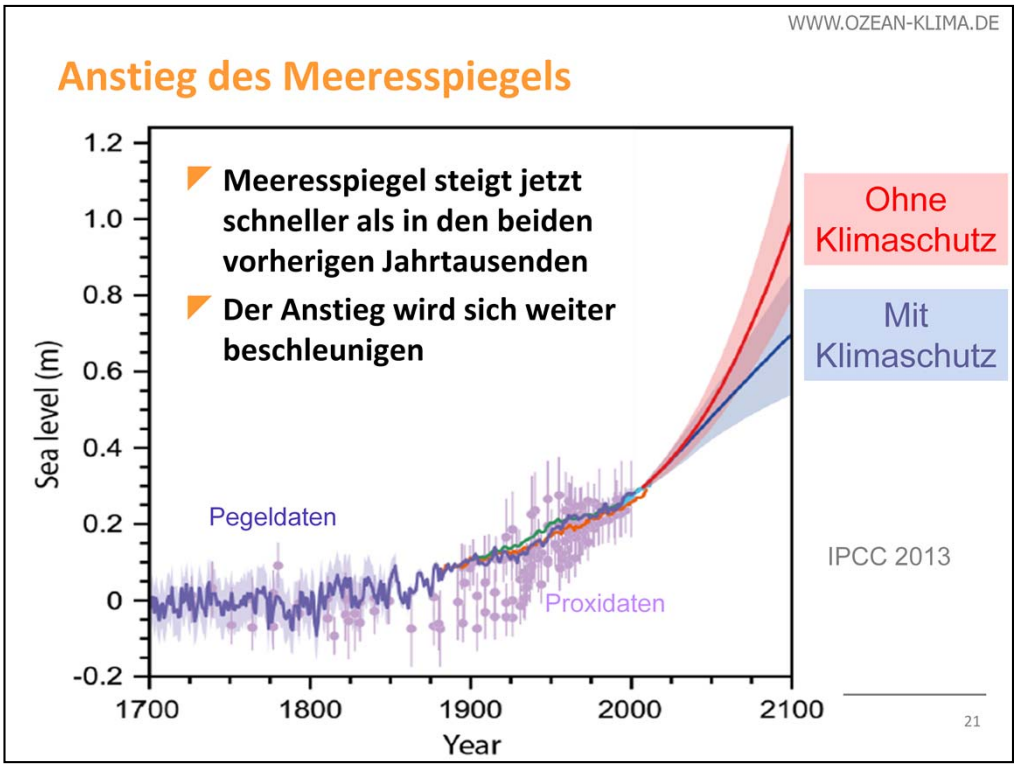
Coumou D, Robinson A (2013) Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. Environmental Research Letters 8 (3). doi:10.1088/1748-9326/8/3/034018



Der Jet Stream in der Atmosphäre schlägt Mäander, die durch planetare Wellen in der Atmosphäre verursacht werden.

Animation der NASA: http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a010900/a010902/

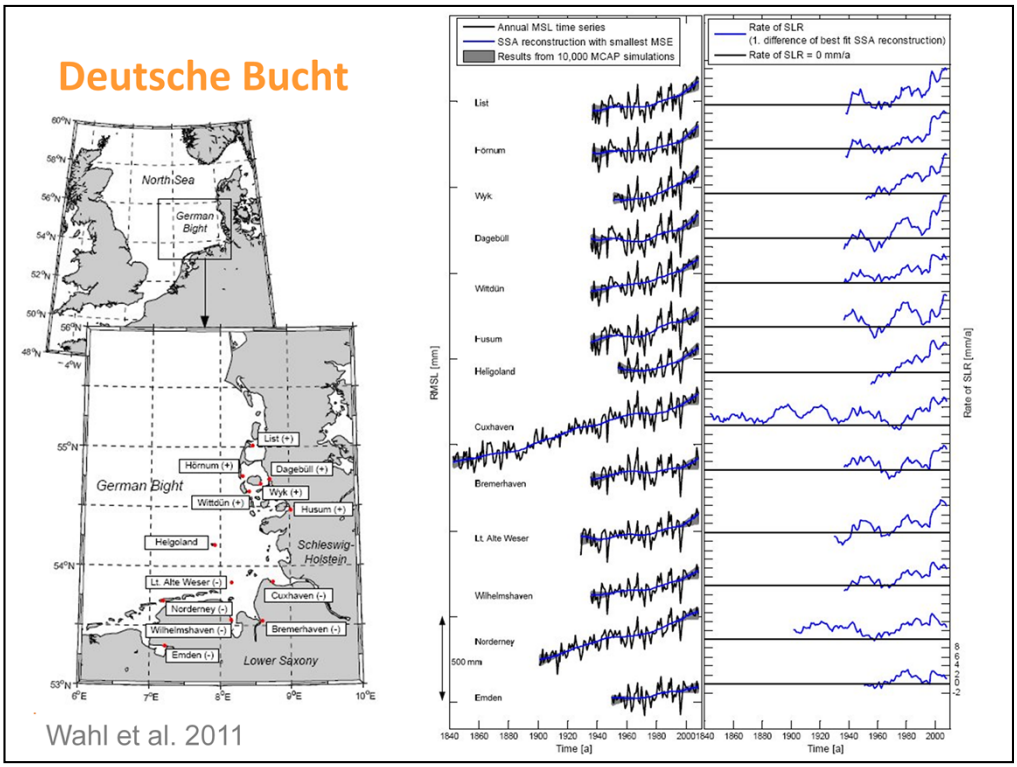
Mehr Information: http://www.scilogs.de/klimalounge/extremwetter-durch-planetare-wellen/



Anstieg des Meeresspiegels, Vergangenheit und Zukunft, aus dem IPCC-Bericht 2013.

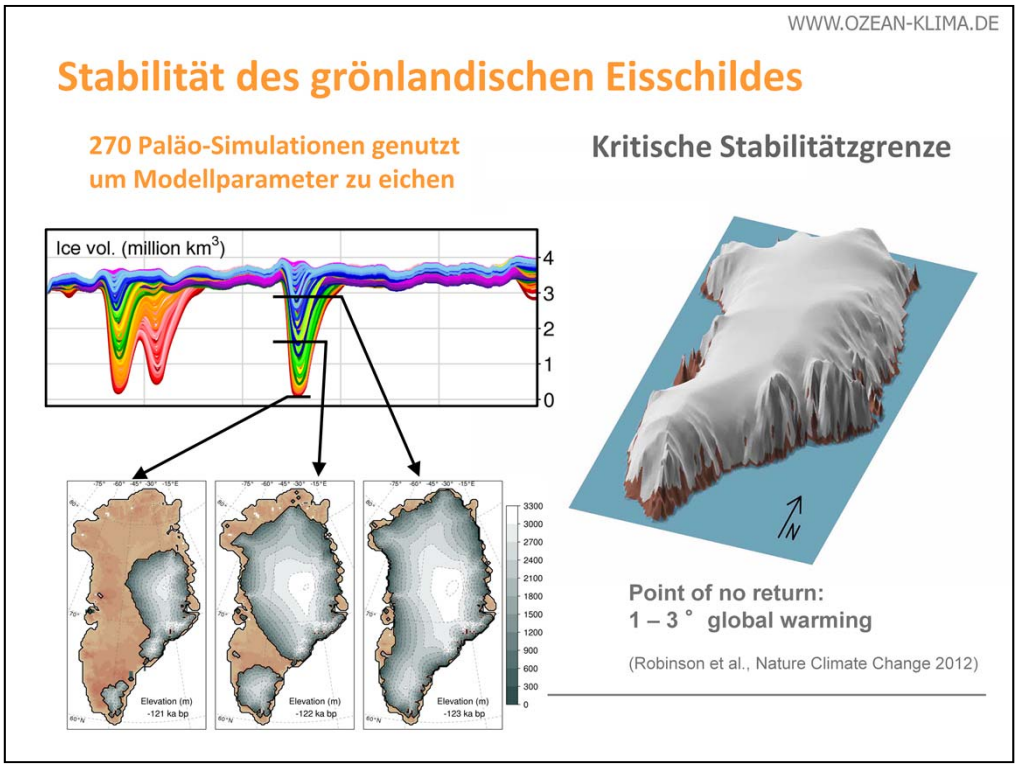
Feldforschung zur Rekonstruktion des vergangenen Meeresspiegels in North Carolina.

Mehr dazu: http://www.scilogs.de/klimalounge/auf-den-outer-banks/



Auswertung der Küstenpegel der deutschen Bucht. Quelle:

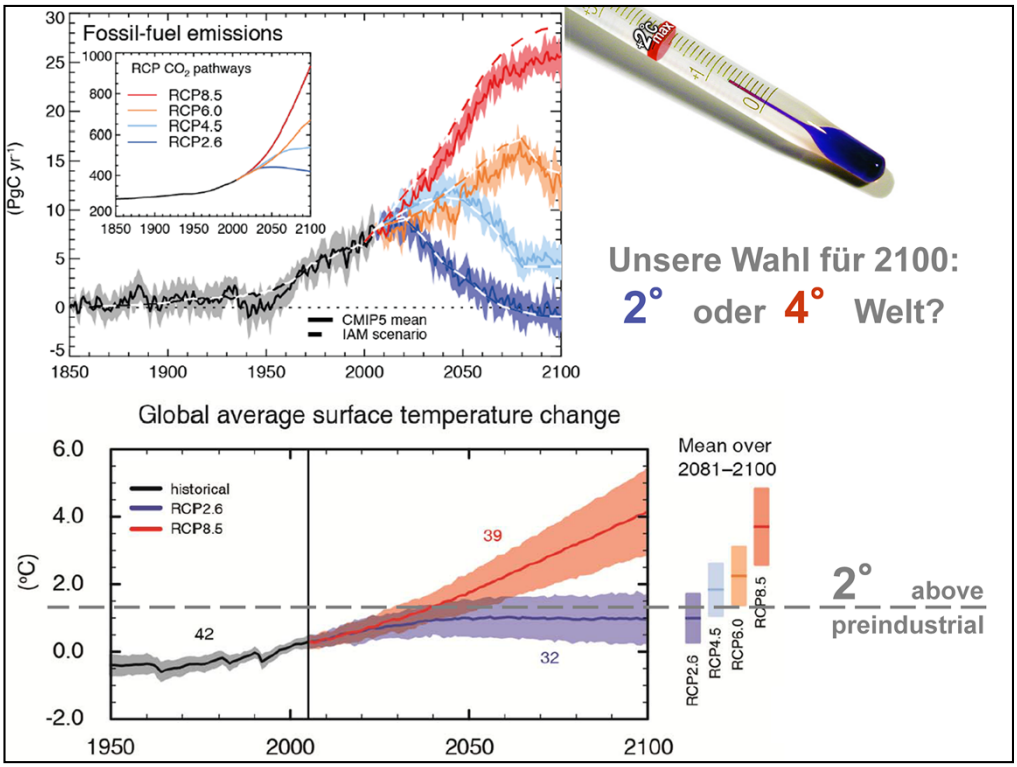
Wahl T, Jensen J, Frank T, Haigh I (2011) Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years. Ocean Dyn 61:701-715



Bestimmung der kritischen Temperaturgrenze, ab der der grönländische Eisschild verloren geht.

Quelle:
Robinson A, Calov R, Ganopolski A (2012) Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet. Nature Clim Change 2 (6):429-432. doi:10.1038/nclimate1449

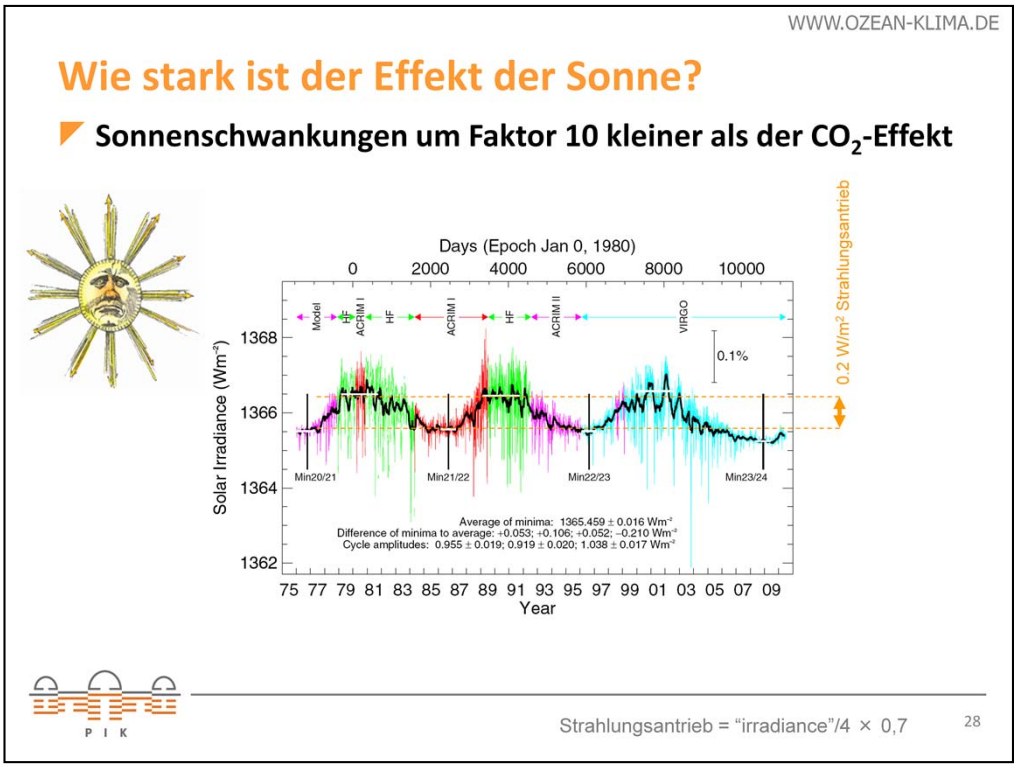
Graffiti by Banksy (photo: Romany WG)



Die blaue Kurve oben zeigt den Emissionsverlauf, mit dem die globale Erwärmung auf maximal 2 Grad begrenzt werden kann. Dazu müssten die Emissionen ab ca. 2020 fallen und 2070 die Null erreichen. Die Kosten für diese Umstellung des Energiesystems entsprechen laut IPCC einem um 0,06 Prozentpunkte verringerten Wirtschaftswachstum.

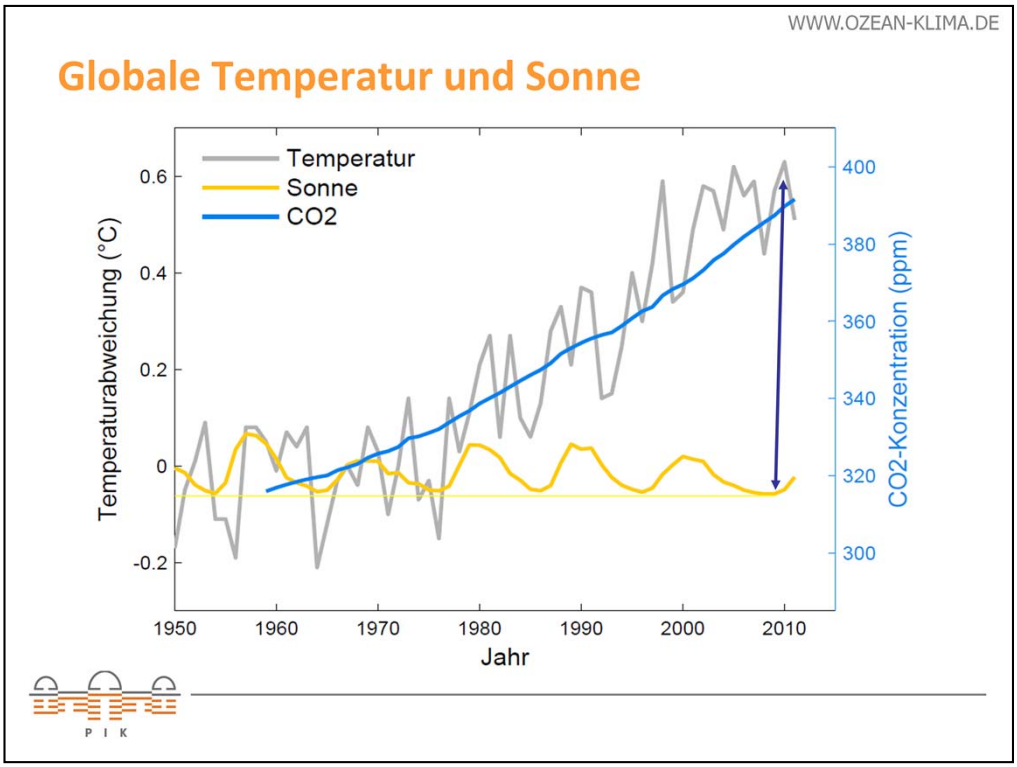
Quelle: IPCC-Bericht 2013

Danke für Ihr Interesse!
C.H.BECK WISSEN
S. Rahmstorf
H.-J. Schellnhuber
DER KLIMAWANDEL
Vollig überarbeitete Neuausgabe
THE CLIMATE CRISIS
An Introductory Guide to Climate Change
David Archer
Stefan Rahmstorf
Stefan Rahmstorf
Wolken, Wind & Wetter
Alles was man über Wetter und Klima wissen muss
Die Kinder-Uni
DVA
Foto: S. Rahmstorf



Ab hier einige im Vortrag nicht gezeigte Ergänzungsfolien!

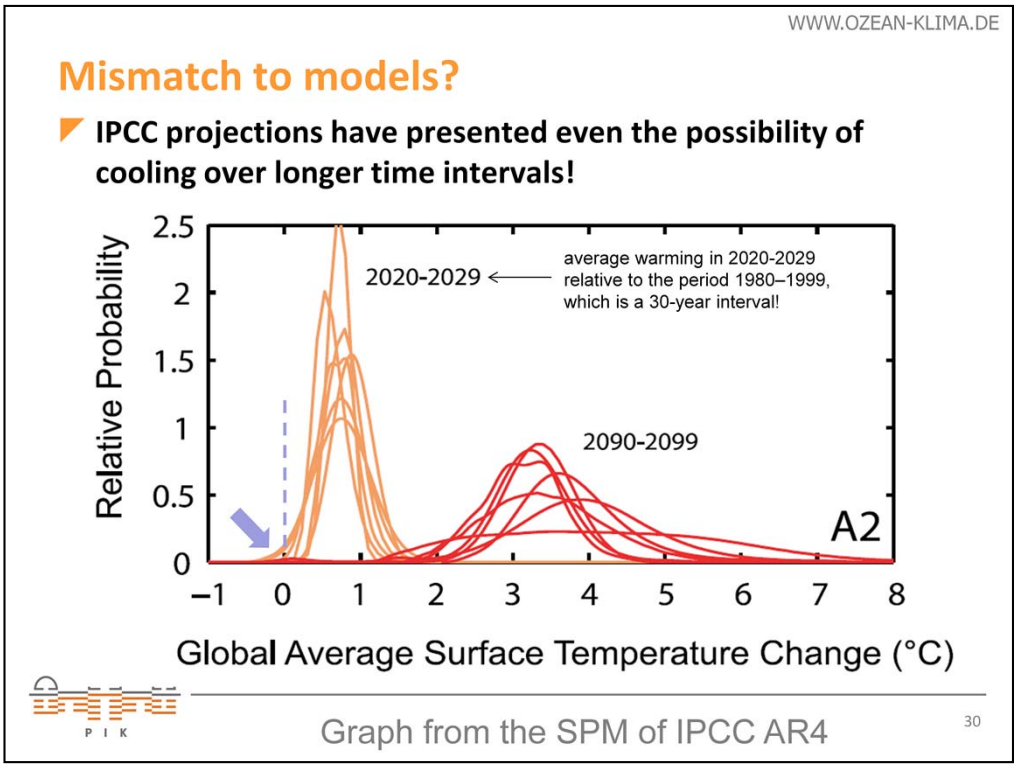
Gemessene Schwankungen der Leuchtkraft der Sonne. Diese weisen keinen Trend auf. Das letzte Sonnenminimum war das tiefste und längste.



Vergleich der Wirkung von CO2 und Sonnenaktivität mit der gemessenen globalen Temperatur.

Das wärmste Jahr 2010 fällt mit dem besonders tiefen und langen Sonnenminimum zusammen.

Erläuterungen hier: http://www.scilogs.de/klimalounge/die-populaerste-trickgrafik-der-klimaskeptiker-vahrenholt/



Dies ist die zentrale Grafik mit Temperaturprojektionen aus der Summary for Policy Makers des 4. IPCC-Bericht von 2007.

Zu diesen Projektionen ist immer ein Unsicherheitsbereich angegeben, hier als Verteilungsfunktion gezeigt. Auch die Möglichkeit einer “Erwärmungspause” für eine gewisse Zeit war, wie man sieht, schon vom IPCC vorhergesagt – entgegen mancher Behauptungen.

Die IPCC-Projektionen sagen die mittlere Erwärmung vorher, nicht aber die überlagerten kurzfristigen Schwankungen durch El Niño etc. Die tatsächliche Erwärmung über kürzere Zeiträume liegt daher (je nach Sequenz der El Niño Ereignisse) mal im oberen, mal im unteren Bereich der vom IPCC projizierten Spanne. Bei erscheinen des 4. Berichts 2007 lag die Erwärmung der vorangegangenen 15 Jahre bis 2006 übrigens weit höher als die IPCC-Projektionen, wovon niemand ein Aufhebens gemacht hat, da allgemein angenommen wurde, dass es sich um die üblichen natürlichen Schwankungen handelt. Siehe:

Rahmstorf S, Cazenave A, Church JA, Hansen JE, Keeling RF, Parker DE, Somerville CJ (2007) Recent Climate Observations Compared to Projections. Science 316:709

Zur fachlichen Qualifikation

Institut	Ort	Zahl der Top-Papers
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung	Potsdam	35
Max-Planck-Institut für Meteorologie	Hamburg	26
Max-Planck-Institut für Biogeochemie	Jena	21
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung	Bremerhaven/Potsdam	19
Max-Planck-Institut für Chemie	Mainz	14

Tabelle 1: Die wichtigsten Klimaforschungsinstitute in Deutschland nach Anzahl ihrer Top-Publikationen der letzten 20 Jahre

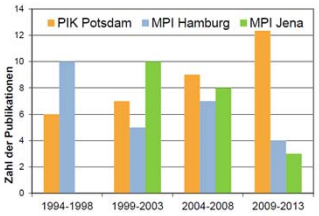


Abbildung 1: Anzahl Top-Publikationen der drei führenden Klimaforschungsinstitute aus Tabelle 1, aufgeschlüsselt nach 5-Jahres-Perioden.

Forscher	Ort	Zahl der Top-Papers
Stefan Rahmstorf	Potsdam	12
Paul Crutzen	Mainz	9
Colin Prentice	Jena	9
Hubertus Fischer	Bremerhaven	7
Mojib Latif	Hamburg/Kiel	7

Quelle: Norbert Elias Center, Univ. Flensburg
http://www.norberteliascenter.de/presse
(März 2014)

Tabelle 2: Ranking der in Deutschland forschenden Klimaexperten nach Anzahl ihrer Top-Publikationen der letzten 20 Jahre. Gezeigt sind alle Forscher, die an mehr als 6 solcher Publikationen beteiligt waren.

In der Wissenschaft gibt es – wie bei jeder menschlichen Tätigkeit – Qualitätsunterschiede, so wie es gute und schlechte Fußballer gibt.

Wissenschaftler müssen sich an ihrem ‘Output’ messen lassen, den Fachpublikationen (Studien). Das wichtigste objektive Maß für die Bedeutung von Studien ist die Häufigkeit, mit der sie später von anderen Forschern in deren Studien zitiert werden.

Das Norbert Elias Center der Universität Flensburg hat im März 2014 eine bibliometrische Untersuchung der Fachliteratur zum Thema Klima aus Deutschland für die vergangenen zwanzig Jahre publiziert. Speziell ging es um Spitzenforschung: es wurden für jedes Jahr die “Top 10” der zehn international meistzitierten Studien mit deutscher Beteiligung herangezogen, so entstand ein Datensatz von 10 X 20 Studien. Die obigen Tabellen zeigen, welche Institute und Forscher an den meisten dieser 200 Spitzenstudien beteiligt waren.