



Klimawandel und Klimapolitik in globaler Perspektive

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

Einige Grundtatsachen

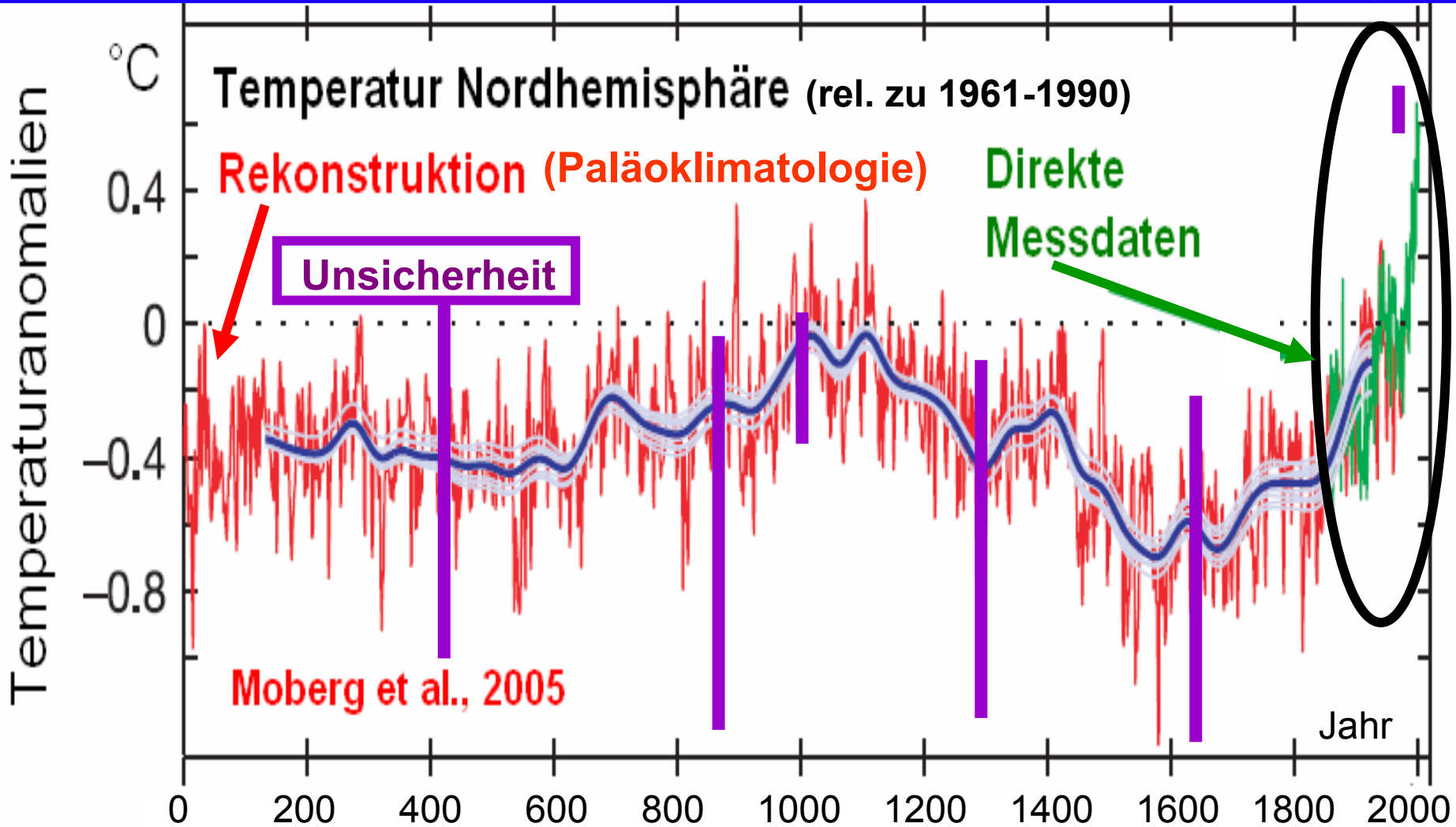
- Klimawandel gibt es, seit die Erde existiert, aus den unterschiedlichsten Gründen und in den unterschiedlichsten zeitlich-räumlichen Ausprägungen.
- Je nach zeitlicher Größenordnung sind die Ursache-Wirkung-Mechanismen sehr unterschiedlich.
- Der letzte drastische Klimawandel hat beim Ende der letzten Kaltzeit (“Eiszeit“) vor 11650 Jahren stattgefunden: Anstieg der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur um 4 - 5 °C.
- Danach (im Holozän) lagen die entsprechenden langfristigen Schwankungen „nur“ noch in der Größenordnung von max. ± 1 °C.
- Mit dem Industriezeitalter (seit ca. 1750/1850) hat im globalen Mittel eine relativ rasche und ausgeprägte Erwärmung eingesetzt („Global Warming“).

Vortragsübersicht

- **Klimawandel im späten Holozän**
- **Klimawandel im Industriezeitalter**
- **Ursachendiskussion und Modelle der Vergangenheit**
- **Modelle der Zukunft**
- **Auswirkungen des Klimawandels**
- **Historie der Klimapolitik**
- **Aktuelle Klimapolitik (COP21, Paris)**

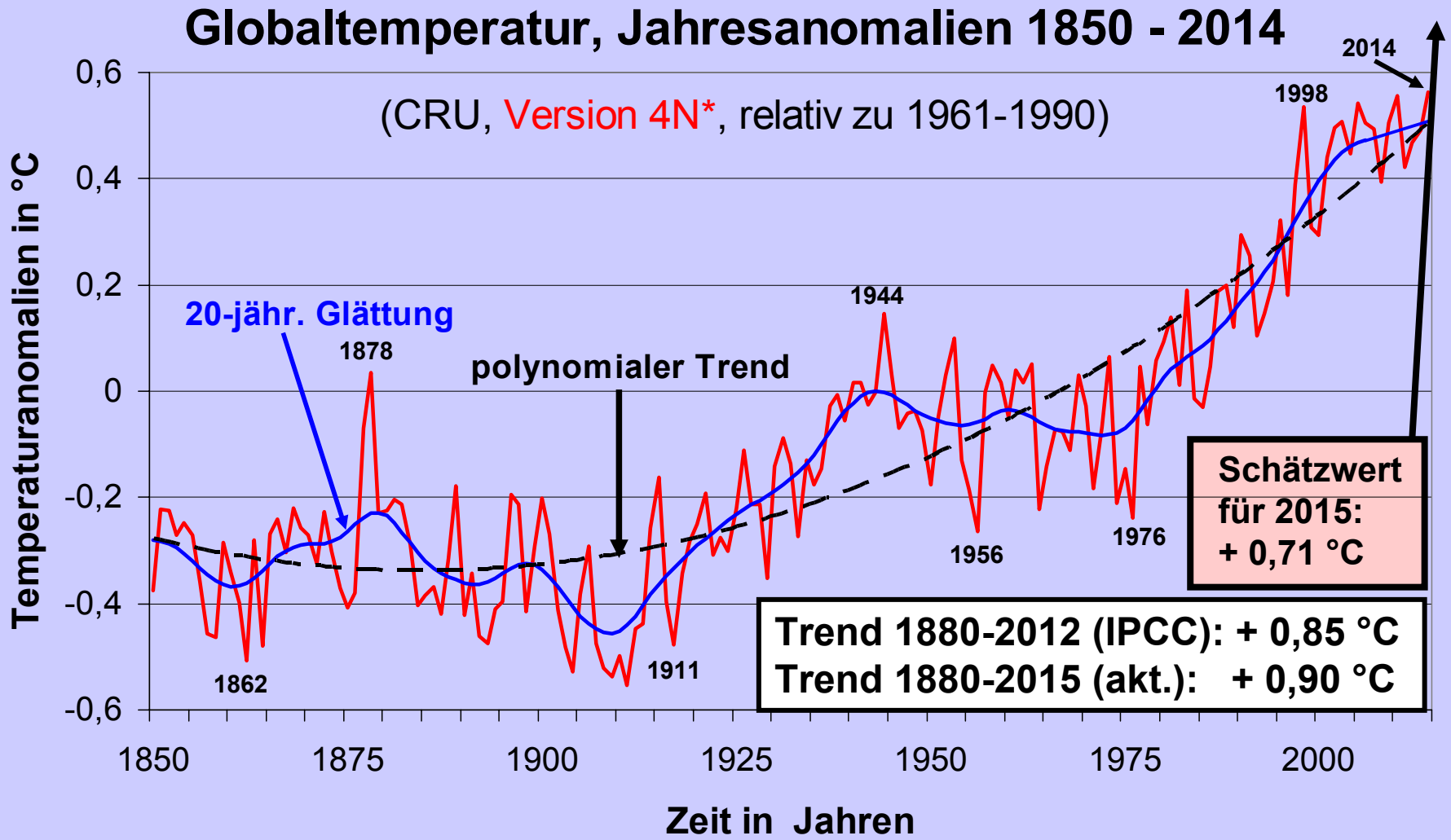
Klimawandel in den letzten 2000 Jahren

Direkte Messdaten ► Neoklimatologie



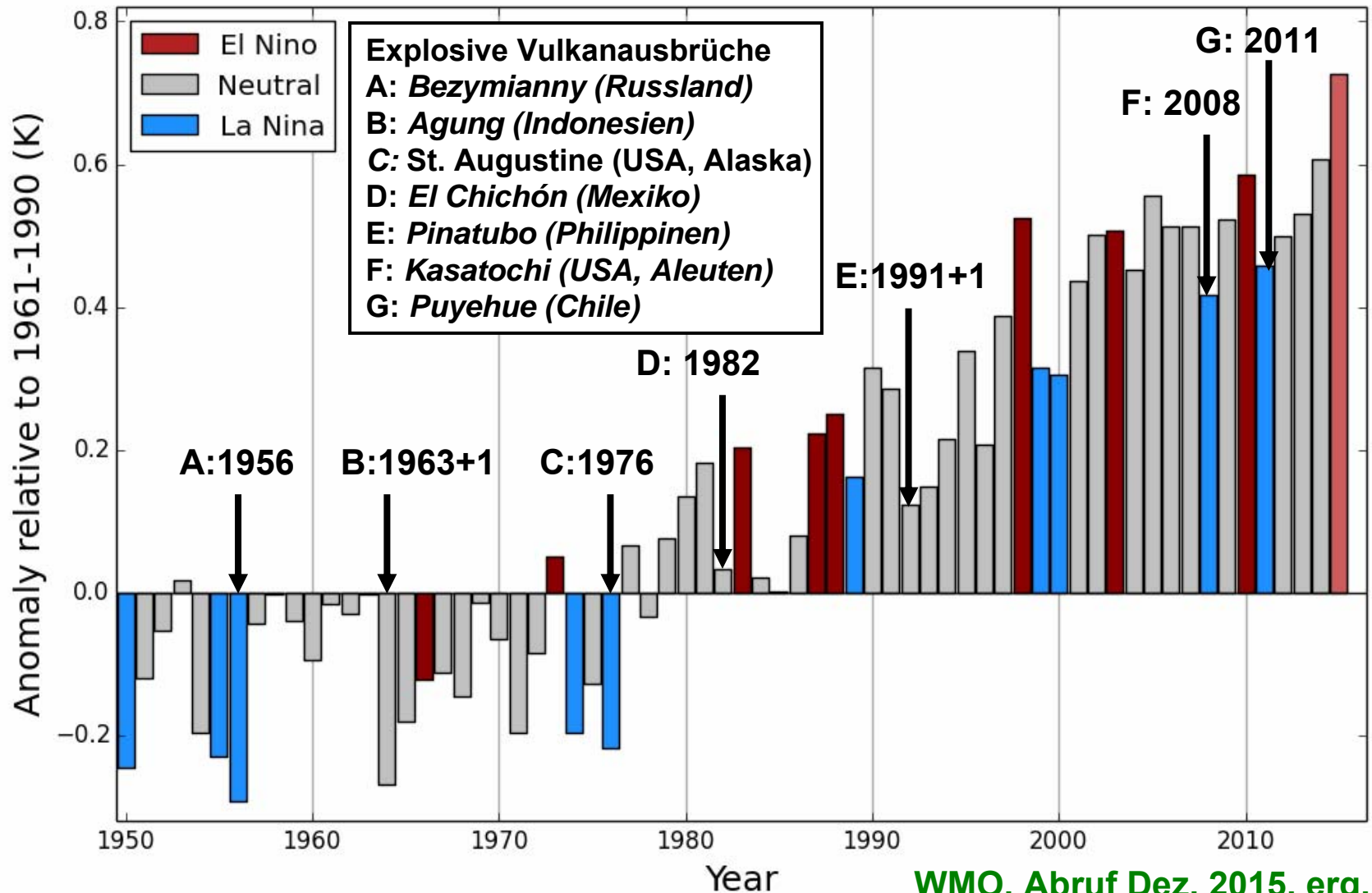
Nach IPCC, 2007, 11 Alternativen ► **Unsicherheit (Balken)**. Nach IPCC, 2014, gibt es wesentliche Fortschritte vor allem im Modellverständnis.

Industriezeitalter: „globale Erwärmung“

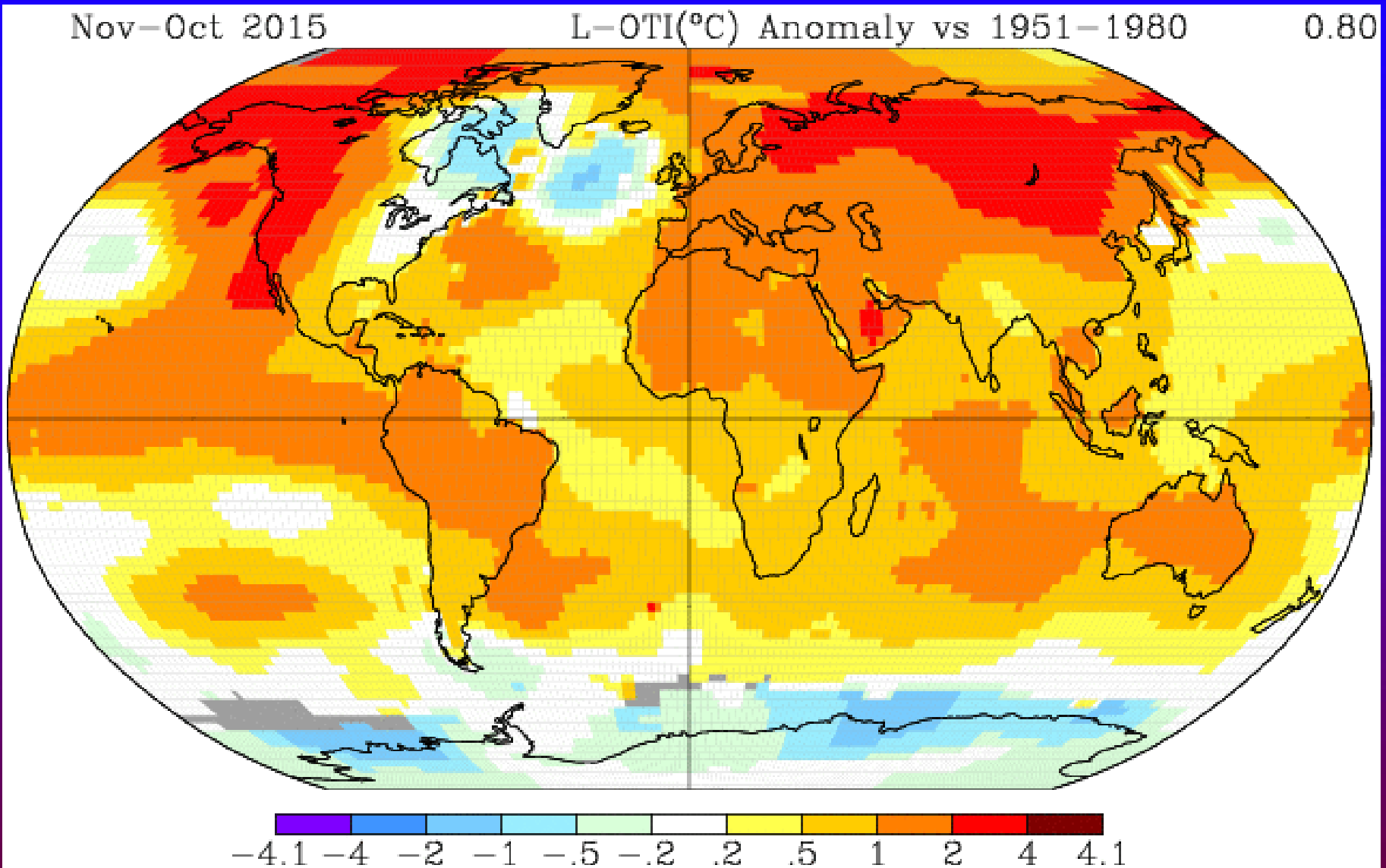


Letzte Rekorde: 1998 ▶ 0,535; 2005 ▶ 0,543; 2010 ▶ 0,555; 2014 ▶ 0,564 °C

Globaltemperatur, Jahresanomalien 1950-2015 mit Hinweisen auf El Niño / La Niña und Vulkanausbrüche



Temperaturanomaliekarte für Nov. 2014 - Okt. 2015



Quelle: GISS, Abruf 15.12.2015

Wird das Klima extremer?



Dresden,
Aug. 2002



Düsseldorf, Aug. 2003

Münchener Rück
Munich Re Group



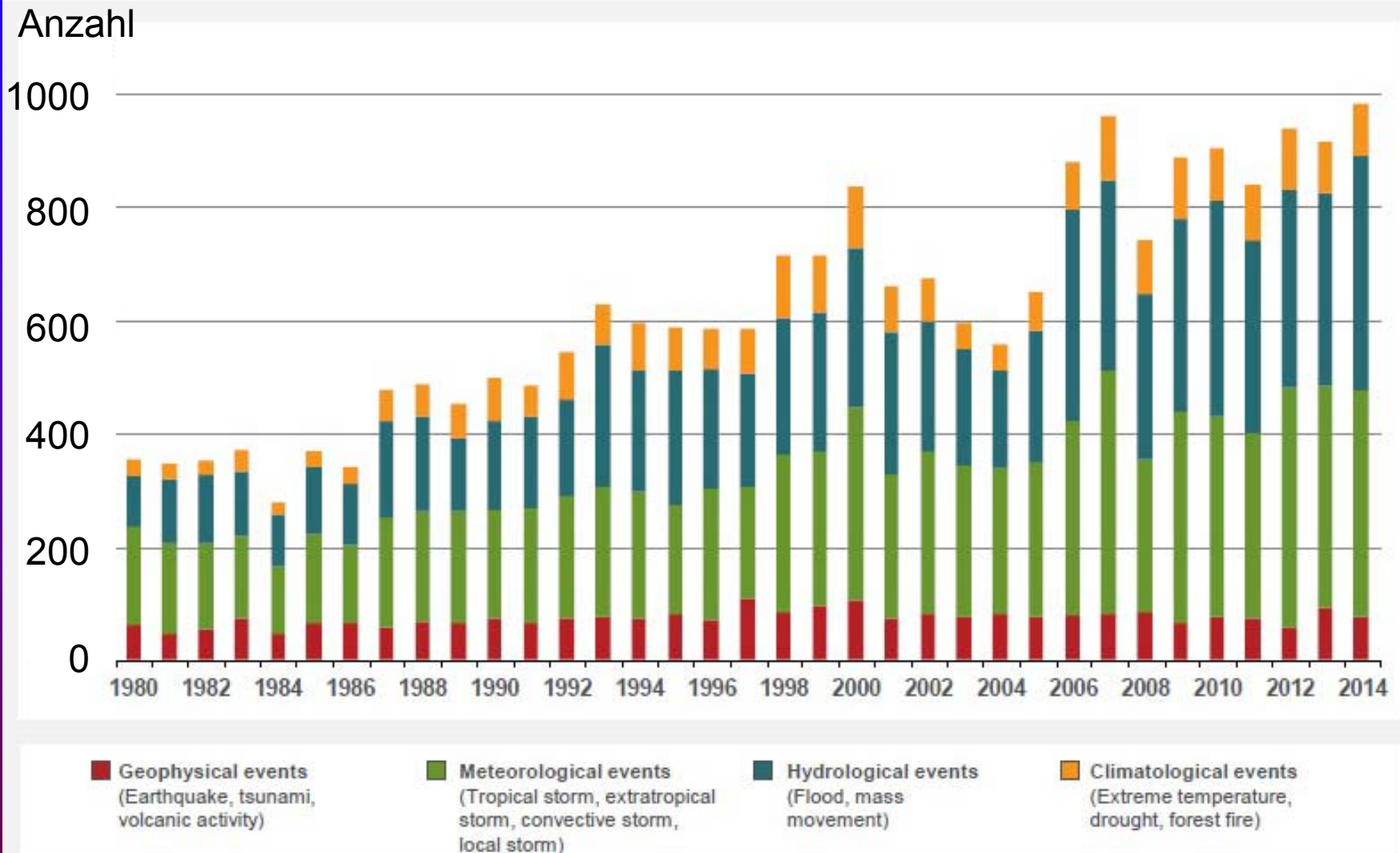
New Orleans, Aug. 2005



Motten (Rhön), Okt. 2005

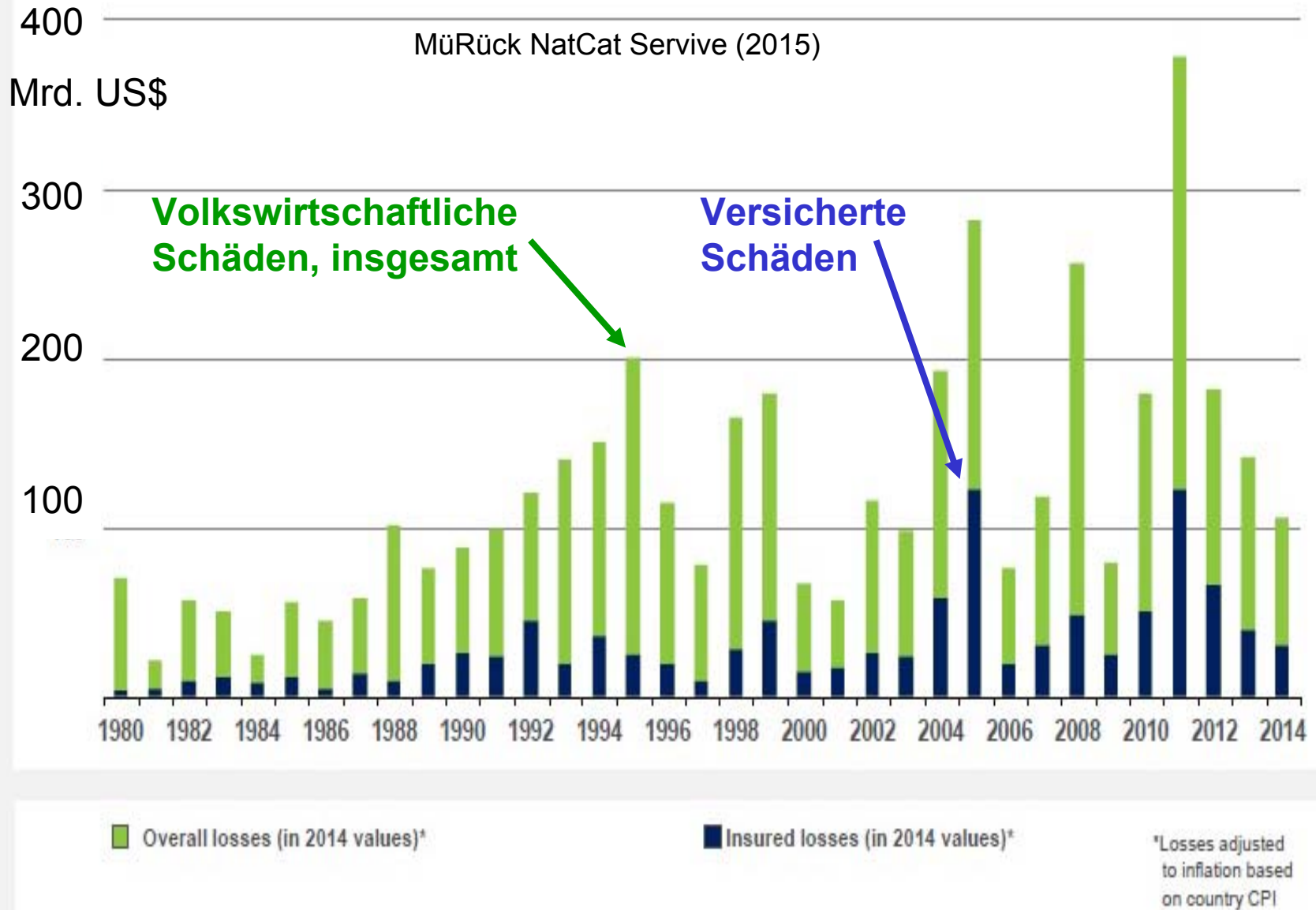
Naturkatastrophen weltweit 1980 - 2014

Anzahl der Ereignisse



Ein langfristig ansteigender Trend ist erkennbar.

Naturkatastrophen weltweit 1980-2014, Schäden



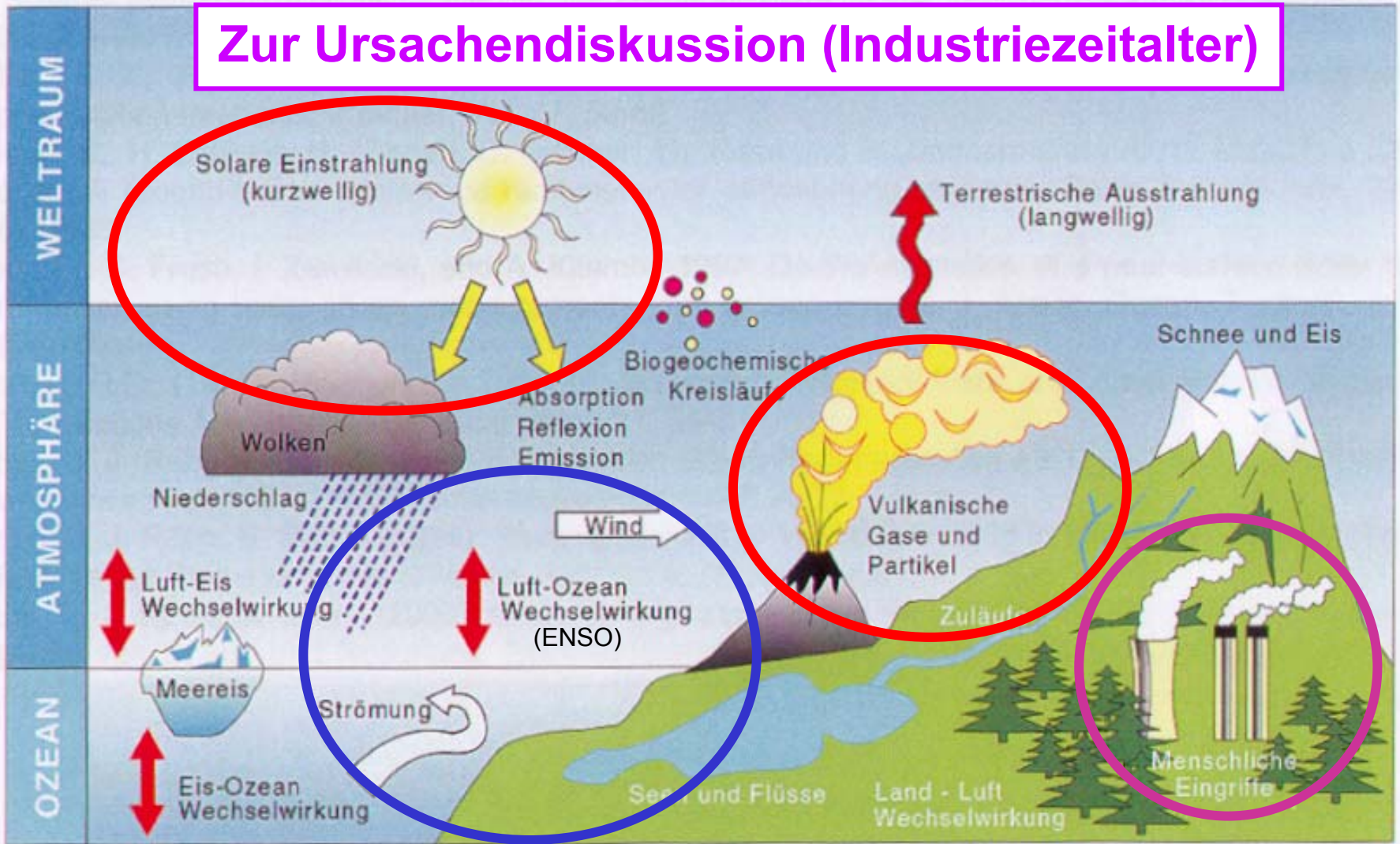
Hier überwiegen eher die Fluktuationen (aber Tendenz zu höheren Maxima).

Klimawandel-Ursachen im Industriezeitalter

- Explosiver Vulkanismus (extern)
- Sonnenaktivität (extern)
- Ozeanisch-atmosphärische Wechselwirkungen (intern), insbesondere ENSO (El Niño / Südl. Oszillation)
- Besonderheiten der atmosphärischen Zirkulation (intern), z.B. NAO (Nordatlantik-Oszillation)
- **Anthropogene Einflüsse: Klimafaktor Mensch (extern)**
 - Emission klimawirksamer Spurenstoffe (Gase und Partikel)
 - Veränderung der Vegetation, insbes. Waldrodungen
 - Sonstige Veränderungen der Erdoberfläche (u.a. „Stadtklima“)
 - Kondensstreifenbildung durch Flugverkehr usw.

Die externen Einflüsse lassen sich zunächst durch ihre troposphärischen Strahlungsantriebe (unterstes atmosphärisches Stockwerk, bis 8-17 km Höhe) erfassen, werden aber stets durch interne Wechselwirkungen im Klimasystem (insbesondere Zirkulation) und Rückkopplungen modifiziert.

Zur Ursachendiskussion (Industriezeitalter)

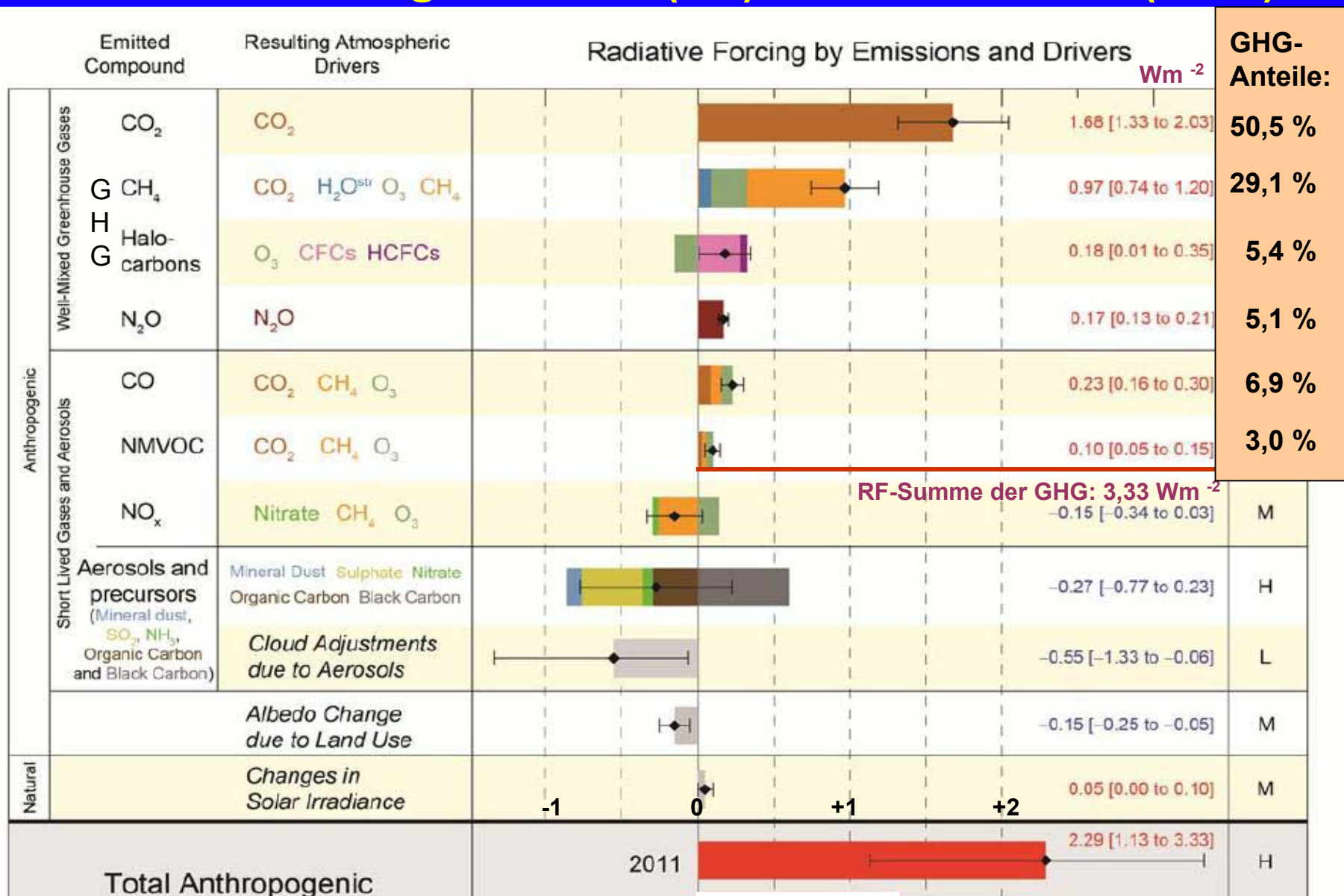


Klimasystem: Komponenten und Prozesse

Cubasch und Kasang, 2000

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

Globale Strahlungsantriebe (RF) 1750-2011 IPCC (2014)



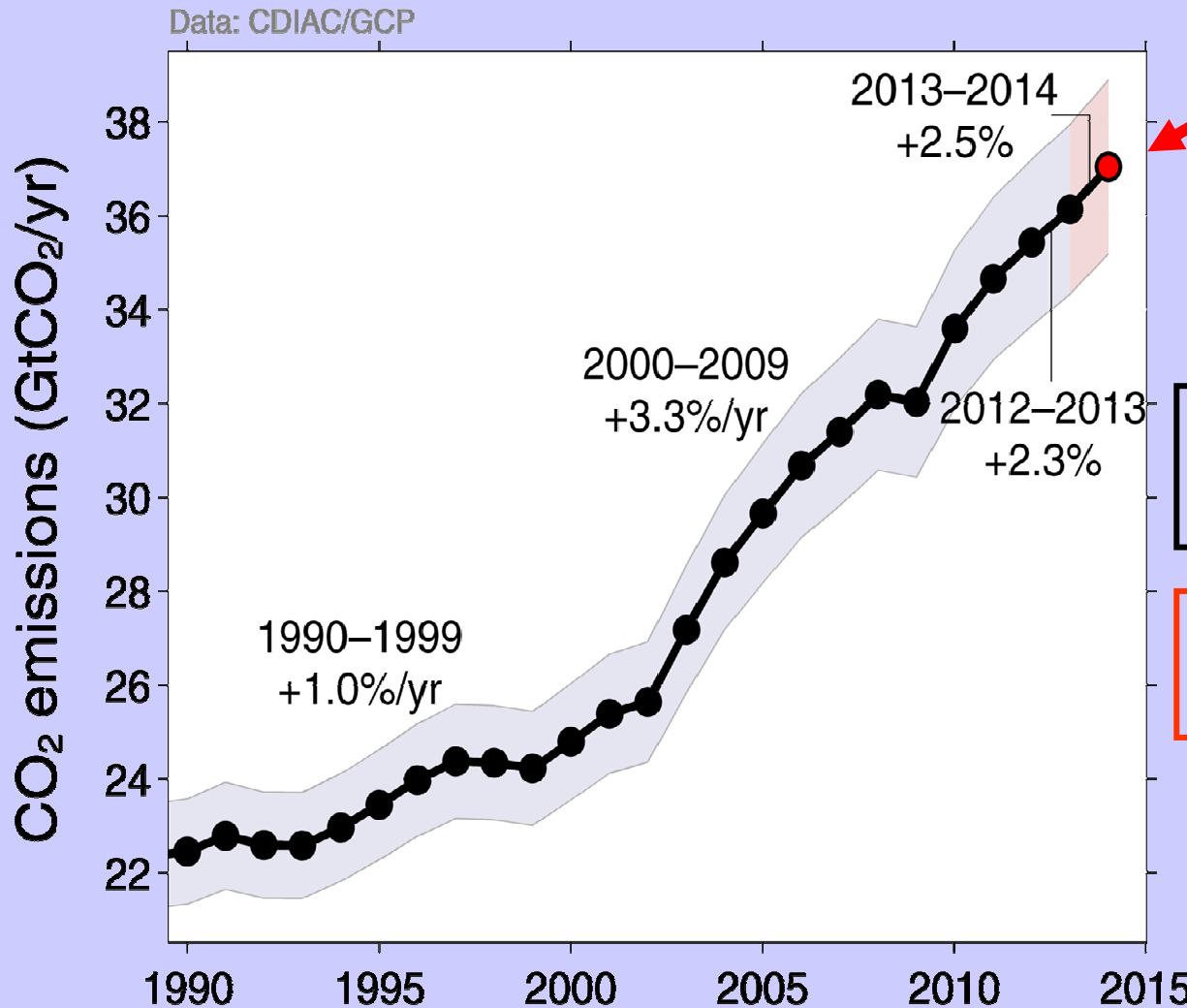
Explosiver Vulkanismus im Industriezeitalter episodisch bis ~3 Wm⁻² (z.B. Pinatubo, 1991)

Klimafaktor Mensch: Kohlendioxid (CO₂)

**Anthropogener CO₂-Ausstoß: ca. 40,3 Gt/Jahr *,
davon durch fossile Energie: 37 Gt/Jahr *,
rasant steigend (1900: insgesamt ca. 2 Gt CO₂/Jahr).**



Globale CO₂-Emission durch fossile Energieträger (und Zementproduktion) 1990 - 2014



**2014: 37 GtCO₂,
entsprechend
10,1 GtCO₂
(Unschärfe ±0,5 GtC;
Anstieg: 65 %)**

**1 GtC ≈ 3.66 Gt CO₂
Gt = Milliarden Tonnen**

**Zum Vergleich: um
1900 ca. 2 GtCO₂/yr**

**Global Carbon
Project 2014
(2015)**

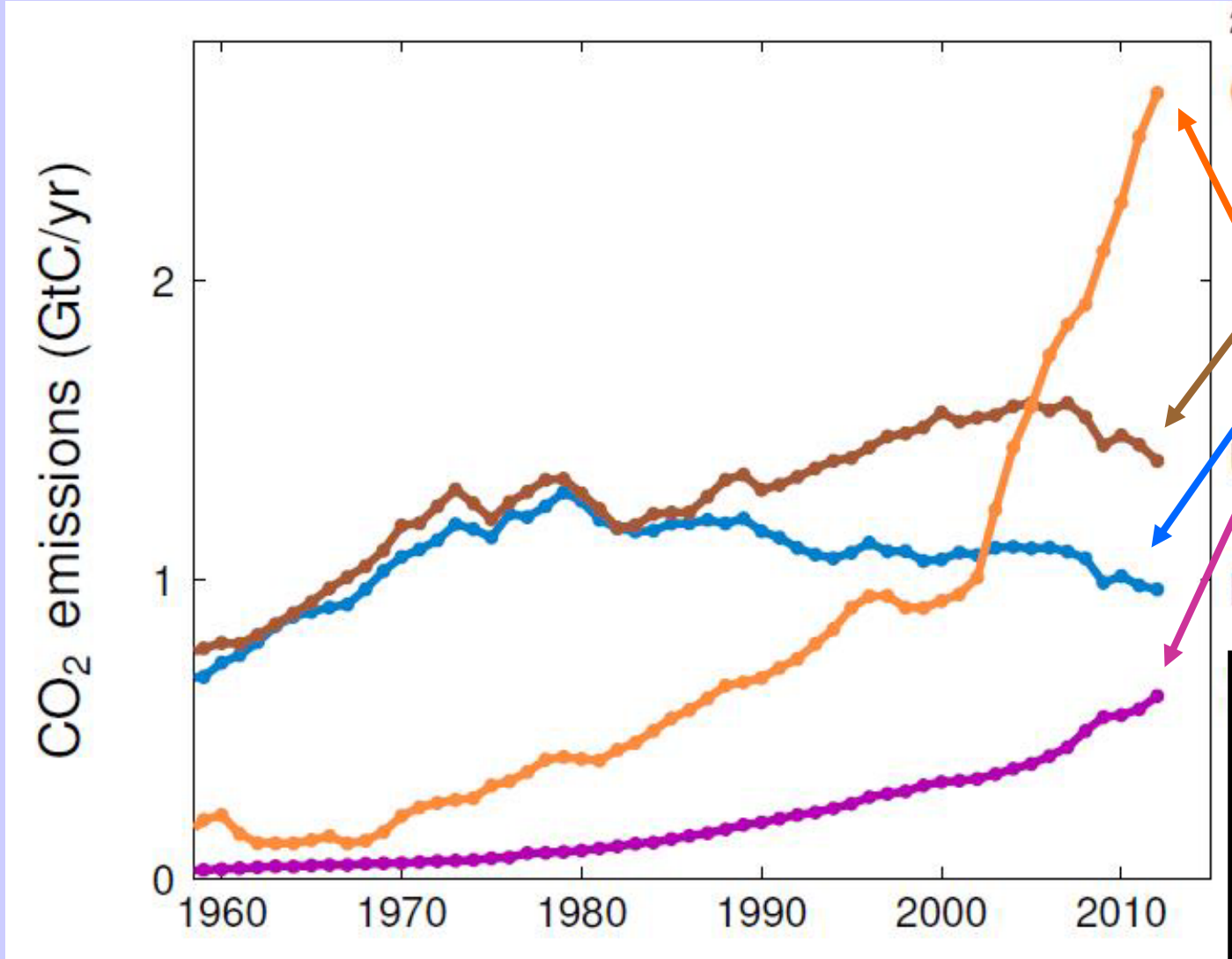
CO₂: 354 (1960: 317; vorind.: 280)

CO₂-Ä.: 398 (1960: 327; vorind.: 280)

~ 400 ppm (atmosphär. Konz.;

~ 490 ppm Ä = Äquivalente)

Die vier wichtigsten CO₂-Emittenten (foss. Energieträger)



Anteile (2013):
China 27 %
USA 14 %
EU 10 % *
Indien 6 %
(Summe 57 %)

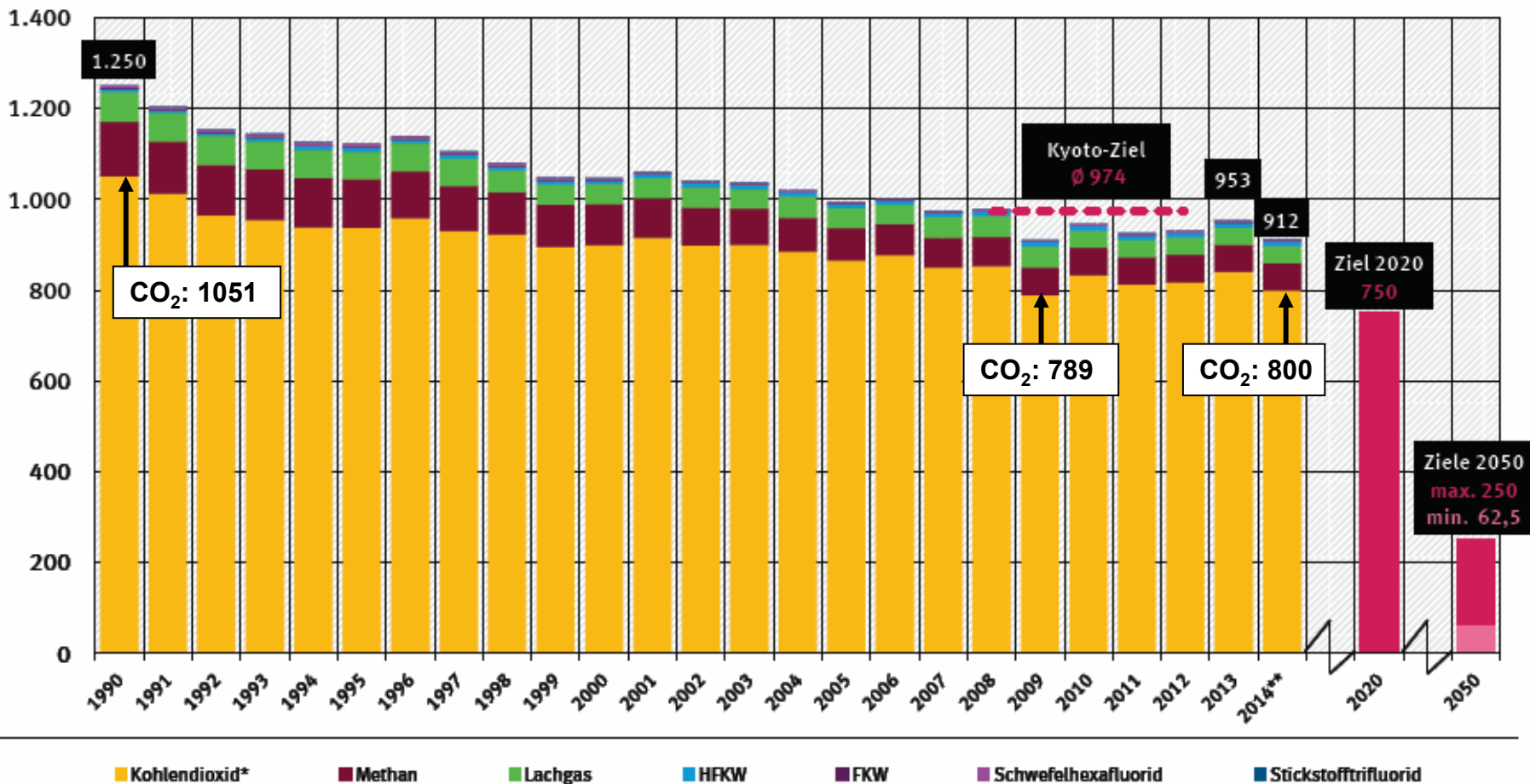
***) Deutschland, 2014: 219 MtC**
► 800 MtCO₂ entsprechend 2,2 % der glob. Emission

Global Carbon Project 2013 (2014)

Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Gasen

sowie Ziele für 2008-2012 (Kyoto-Protokoll), 2020 und 2050 (Bundesregierung)

Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente bzw. Kohlendioxid



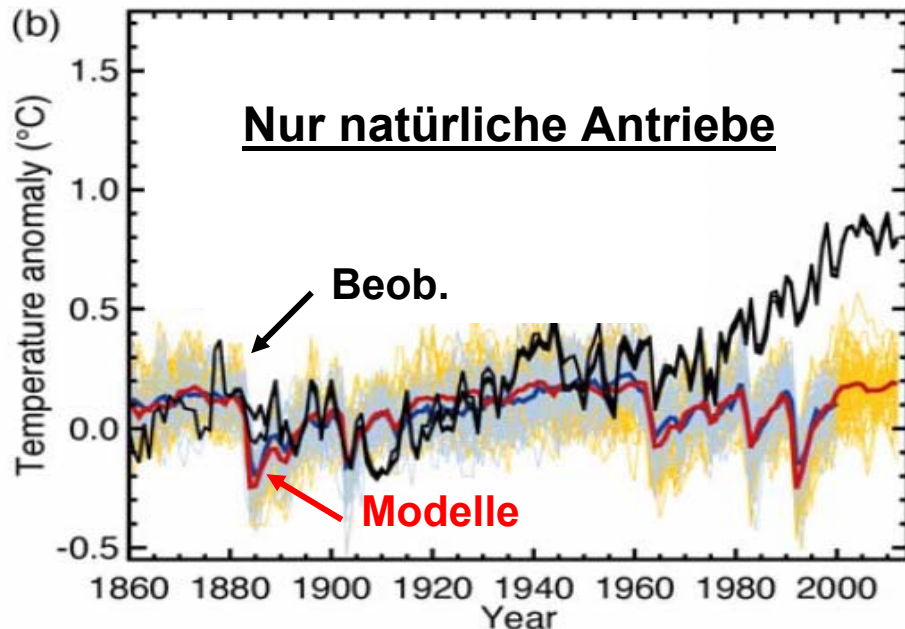
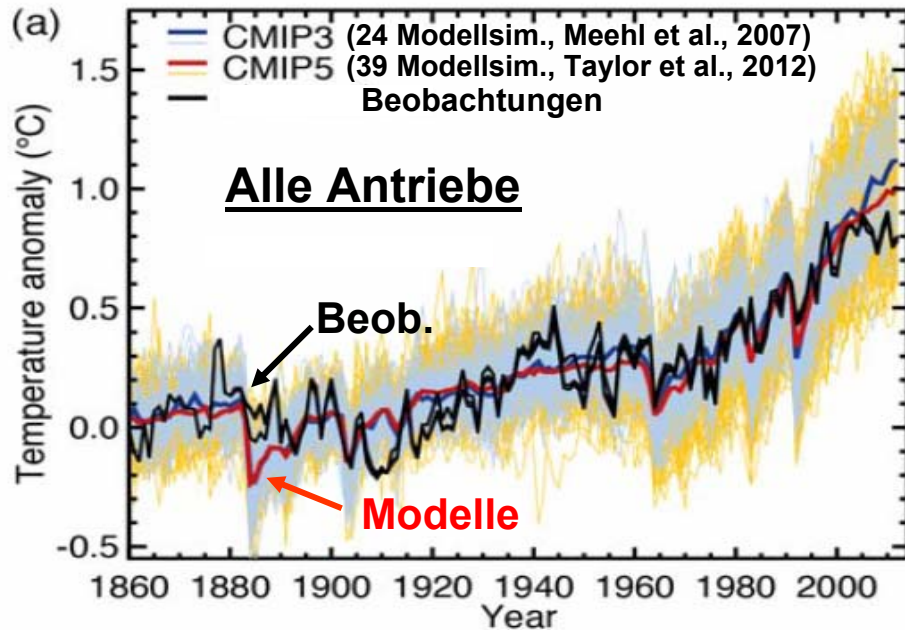
* ohne Kohlendioxid aus LULUCF
** Zeitnahprognose für 2014

Quelle: Umweltbundesamt 2015, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2013 und Zeitnahprognose für 2014 (Stand: 03/2015)

Von 1990 bis 2014 ist eine Reduktion um 27 % erreicht worden. Die Ziele 2020 und 2050 entsprechen Reduktionen um 40 % bzw. 80-95 % (Ziel 2030: 55 %).

Modellsimulationen Globaltemperatur, 1860-2012

Referenzperiode: 1880-1919



„Der menschliche Einfluss ist mit extrem hoher* Wahrscheinlichkeit die dominante Ursache der beobachteten** Erwärmung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts“ (IPCC, 2014).

* $p > 95\%$ ** bodennah und global

Mit Hilfe neuronaler Netze* lässt sich folgende ursächliche Zuordnung der Variabilität abschätzen: anthropogen 61 % (~ Trend); natürlich 27 %; zufallsartig 12 % (jeweils überlagerte Fluktuationen, die den Trend zeitweise abschwächen/unterbrechen).

IPCC, 2014; Schönwiese et al., 2010 (dabei Datenbasis 1860-2008)

Und die Zukunft?

Klimaprognosen, vergleichbar den Wetterprognosen, sind prinzipiell nicht möglich, da

- die natürlichen Einflüsse auf das Klima (z.B. Vulkanismus) nicht vorhersagbar
- und die menschlichen Einflüsse (Emission von Treibhausgasen und Partikeln usw.) im künftigen Verlauf zumindest quantitativ unsicher sind.

Man behilft sich daher mit Projektionen

- unter der Annahme, dass der menschliche Einfluss (Treibhausgase) dominiert
- und aufgrund alternativer Szenarien des menschlichen Verhaltens, insbesondere der Treibhausgas-Emissionen.

**Neue Szenarien: Representative Concentration Pathways (RCP);
Moss et al., 2010; IPCC, 2014**

Die wichtigsten Klimamodell-Zukunftsprojektionen (IPCC, 2014; derzeitiges Szenario RCP8.5)

- Erwärmung der unteren Atmosphäre: global bis 2100 um 2,6 - 4,8 °C, wahrscheinlichster Bereich ca. 3,5 °C, Maxima im Winter polwärts der Tropen.
- Abkühlung der Stratosphäre (begünstigt dort den Ozonabbau)
- Niederschlagsumverteilungen (→ z.B. Mittelmeer-Region trockener, Skandinavien u. Polarregionen feuchter, Mitteleuropa Winter feuchter / Sommer trockener)
- Meeresspiegelanstieg global bis 2100 um 45 - 82 cm (ozeanischer Expansions- und Landeisschmelz-Effekt; nach alternativen halbempir. Schätzungen bis ca. 2 m).
- Regional häufigere/intensivere Extremereignisse, z.B. Hitzewellen, Dürren, Starkniederschläge, Hagel – aber im einzelnen teilweise sehr unsicher; intensivere tropische Wirbelstürme.

Die Auswirkungen des Klimawandels...

...sind teils positiv (weniger Heizbedarf, Touristik im Norden, potentiell längere Vegetationsperiode),

weitaus überwiegend aber negativ:

- Meeresspiegelanstieg (global seit 1880 bereits ca. 25 cm)
- Wasserprobleme (Überschwemmungen, Dürren);
- Belastungen der Ökosysteme (Schäden, Artenschwund);
- Landwirtschaftliche Probleme (teilweise kompensierbar);
- Ökonomische Schäden (insbes. durch Extremereignisse)
- Gesundheitsprobleme (Hitze, Tropenkrankheiten usw.)
- Regional besondere Gefährdung (Küsten, Gebirge, Städte, ...)
- Rückgang von Meereis (insbes. Arktis) und Gebirgsgletschern



Stern Review, 2007: Klimaschutz kostet ca. 1% WSP*, Klimaschäden bewirken hingegen 5-20% WSP/Jahr. Schaden durch anthropog. Emission pro Tonne CO₂: 85 US \$/Jahr (▶ 37 Mrd. t CO₂ ▶ ~3150 Mrd. US \$/Jahr.

* Weltsozialprodukt

Die Weltklimakonferenzen (World Climate Conferences, WCC)

- **1. WCC, 1979, Genf, WMO: Rein wissenschaftliche Konferenz zum Problem anthropogener Klimaänderungen; „Appell an die Nationen der Erde, dieses Problem zu erkennen und diese Änderungen zu verhindern“.**
- **SWCC (2. WCC), 1990, Genf, WMO: Unter Bezug auf den im gleichen Jahr erschienenen ersten IPCC-Statusbericht Forderung, dass auch die Öffentlichkeit, insbesondere die Politik, das Klimaproblem realisieren und Konsequenzen in Form einer völkerrechtlich verbindlichen Konvention ziehen sollte.**
- ***UNCED*, 1992, Rio de Janeiro: Unter anderem Diskussion und Beschluss der Klimarahmenkonvention.***
- **WCC-3 (3. WCC), 2009: Review des wissenschaftlichen Informationsstands und dessen Bereitstellung für die Öffentlichkeit; Feststellung, dass dieser Sachstand für engagierte Klimaschutzmaßnahmen ausreicht und Forderung, die Klimarahmenkonvention und alle damit zusammenhängenden Optionen effektiv und zeitnah umzusetzen.**

* UN Conference on Environment and Development

Framework Convention on Climate Change (FCCC) . *Rahmenübereinkommen (der UN) über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention)*

- **Beschlossen 1992 im Rahmen der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung, Rio de Janeiro.**
- **Völkerrechtlich verbindlich seit 1994.**
- **Zielsetzung: Stabilisierung der atmosphär. Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau, das eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert und das den Ökosystemen erlaubt, sich auf natürliche Weise den Klimaänderungen anzupassen.**
- **Problem: Keinerlei quantitative und zeitliche Festlegung für Maßnahmen.**
- **Abhilfe: Beschlüsse der Vertragsstaatenkonferenzen.**

Conference of Parties (COP)

Vertragsstaatenkonferenz

- Zielsetzung: Quantitative und zeitliche Umsetzung des FCCC in völkerrechtlich verbindlichen Beschlüssen und in wissenschaftlicher Orientierung an das IPCC.
- Turnus: seit 1995 (COP1, Berlin: Planungen) jährlich, Dauer 14 Tage (meist im November/Dezember).
- COP3, 1997, Kyoto; **Protokoll: Reduzierung der Emission der wichtigsten Treibhausgase (CO₂ usw.) gegenüber 1990 bis spätestens 2012 um 5,2 % durch die Industrieländer *) mit detailliertem Länderschlüssel; Beschluss sog. flexibler Mechanismen.**
- Zuletzt COP17 (Durban, Südafrika, 2011) COP18 (Doha, Katar), COP19 (Warschau), COP20 (Lima) und COP21 (Paris).

***) Zum Vergleich, IPCC – Empfehlungen (global):**

1990 ► - 60 % bis 2050; 2007 ► - 50 % bis 85 % bis 2050.

Ergebnisse von „COP17“, Durban (S-Afrika) (17. Vertragsstaatenkonferenz zu FCCC, Nov./Dez. 2011)

- Für die Umsetzung des bei COP15 (Kopenhagen) erstmals genannten und bei COP16 (Cancún) beschlossenen sog. 2-Grad-Limits wurde eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe gebildet, um dafür ein rechtlich verbindliches Abkommen zu entwickeln.
- Dabei sollen aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere der 5. IPCC-Sachstandsbericht (AR5), die Grundlage bilden. (Dieser Bericht wurde 2013 vorgelegt und 2014 veröffentlicht.)
- Das neue Abkommen, in das auch die USA und die Schwellenländer einzubeziehen sind, soll bis 2015 verhandelt, bei COP 21 (Paris, 2015) beschlossen und ab 2020 umgesetzt werden.
- Bis dahin soll die Verpflichtungsperiode des Kyoto- Protokolls (lief 2012 aus) bis 2017 oder 2020 verlängert werden. *)
- Zur Finanzierung von Klimaschutz und Anpassung in den Entwicklungsländern wurde ein „Green Climate Fund“ eingerichtet. *Die Einzahlungen der Länder in diesen Fund liegen bisher aber deutlich unter den Erwartungen.*

*) Einziges nennenswertes Ergebnis von COP18 (Doha, Katar, Nov./Dez. 2012): Kyoto-Protokoll bis 2020 verlängert.

Anmerkungen zum sog. 2 °C – Ziel (global gemittelte bodennahe Lufttemperatur)

- In Orientierung an die empirisch (paläoklimatologisch) abgeschätzte Klimasensitivität beträgt die Gleichgewichtsreaktion auf die bisherige (Industriezeitalter) anthropogene CO₂-Äquivalent-Emission ca. +2,5 °C. Davon ist bis jetzt (2015), also transient, +0,9 °C eingetreten; dazu hat aber auch ein Aerosol-Abkühlungseffekt von ca. - 0,7 °C beigetragen.
- Beim bisherigen CO₂-Emissionspfad (RCP 8.5) wird bis 2100 ein Temperaturanstieg um 2,6 - 4,8 °C erwartet (transient).
- Bei den derzeitig realisierten Klimaschutzmaßnahmen wird bis 2100 ungefähr + 3,3 - 3,9 °C erwartet; falls die im Zusammenhang mit COP21 (Paris) anvisierten Maßnahmen umgesetzt werden sollten, würde sich dies auf 2,4-2,7 °C vermindern (Climate Action Tracker, Stand 14.12.2015).
- Auch das sind jedoch nur die transienten Klimareaktionen bis zum Jahr 2100. Der Unterschied zu den zugehörigen Gleichgewichtsreaktionen liegt bei ca. 1,4 °C (Mittelwert der Klimamodell-Sensitivitätsstudien nach IPCC, 2014).

Ergebnisse von „COP19“, Warschau (19. Vertragsstaatenkonferenz zu FCCC, Nov. 2013)

- Bis COP20 (Lima, 2014) sollen alle Staaten (somit nicht nur die Kyoto-Vertragsstaaten) Informationen zur weiteren Planung vorlegen und dort diskutieren.
- Sog. Warschau-Mechanismus zur Regelung von klimabedingten Verlusten und Schäden beschlossen, d.h. Weiterentwicklung des bei COP 18 beschlossenen „Green Climate Fund“. *(Damit sollen die Industrieländer die Entwicklungsländer finanziell unterstützen; entwickelt sich jedoch bisher nur unbefriedigend).*
- Aufforderung zum verbesserten Waldschutz.

Einziges nennenswertes Ergebnis von COP20 (Lima, Nov./Dez. 2014): „Fahrplan“ bis COP21 bestätigt. Dort soll endlich ein effektives und allgemein (alle Länder) verbindliches Abkommen erreicht werden.

Letzte Beschlüsse auf dem Weg zu COP21

- **EU, Okt. 2014: Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2030 um 40 % relativ zu 1990*; Steigerung des Anteils regenerativer Energieträger auf mindestens 27 %; Einsparungen bei der Energienutzung um 27 %.**
- **USA, Nov. 2014: Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2020 um 17 %, bis 2025 um 28 % und bis 2050 um 80%, jeweils relativ zu 2005.**
- **China, Nov. 2014: Um 2030 Erwartung des Maximums der CO₂-Emission, danach Einleitung von Maßnahmen zur Reduzierung.**
- **Ansonsten wird von allen Staaten erwartet, bis COP21 (Paris, 2015) definitive und verbindliche Reduktionsoptionen vorzulegen.**
- * **Derzeitige Ziele in Deutschland (CO₂-Äquivalente):
bis 2020 - 40 %, bis 2030 - 55%, bis 2050 - 80 % bis - 95 %.**

Quelle: Presseberichte, Umweltbundesamt

Ergebnisse von „COP21“: Paris Agreement

(21. Vertragsstaatenkonferenz zu FCCC, 30.Nov.- 12.Dez. 2015)

- Der [global gemittelte bodennahe] Temperaturanstieg soll deutlich unter 2 °C, möglichst sogar unter 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau gehalten werden.
- Um dies zu erreichen, sollen die Vertragsstaaten (VS) so bald wie möglich das Maximum (Peak) der Treibhausgas-Emission erreichen (Industrieländer IL früher als Entwicklungsländer EL).
- Weiterhin soll in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts eine ausgeglichene Bilanz zwischen Quellen und Senken der Treibhausgase realisiert werden. Dazu gehört eine Reduktion der Waldrodungen und nachhaltiges Forst-Management.
- Anpassung (an den nicht mehr vermeidbaren Klimawandel) und Verringerung der Vulnerabilität ist als globale Aufgabe zu sehen.
- Das Agreement liegt bei den UN vom 22.4.2016 bis 21.4.2017 zur Ratifizierung bereit und wird völkerrechtlich verbindlich, sobald dies mindestens 55 % der VS getan haben, auf die ≥ 55 % der Emissionen zurückgehen (Umsetzung gem. COP17 ab 2020).
- Ab 2023 sollen die VS 5-jährlich über ihre Maßnahmen berichten.
- Die COPs sollen den sog. Warschau-Mechanismus (Green Fund) weiterentwickeln (Präambel: ab 2020 ► 100 Mrd. US\$ jährlich).

Wertung / Schlussbemerkung

- Der anthropogene Einfluss auf das Globalklima, der sich u.a. in einem langfristigen Erwärmungstrend zeigt, ist trotz überlagerter natürlicher Fluktuationen wissenschaftlich bestätigt (Details siehe IPCC / Lehrbücher).
- Es ist erfreulich, dass die Politik auf diese Problematik reagiert. Sie scheint jedoch nicht alle Fakten (z.B. Unterschied Gleichgewicht / transient) zu realisieren, so dass teilweise unrealistische Annahmen bestehen.
- Das „Paris Agreement“ (PA) ist insofern ein großer Schritt vorwärts, als sich erstmals alle Staaten zu Maßnahmen verpflichtet haben, die langfristig die anthropogene Emission von Treibhausgasen beenden sollen.
- Allerdings ist zunächst unsicher, ob das tatsächlich gelingt, da das PA auf Freiwilligkeit beruht. Zudem sind die Zeithorizonte sehr lang, wahrscheinlich zu lang. Umso wichtiger sind Anpassungsmaßnahmen.



Vielen Dank
für Ihr Interesse

Homepage des Autors:

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