

Der aktuelle Stand des Klimawandels gesehen im Kontext der Beschlüsse des UN-Abkommens von Paris.

Prof. Dr. Ulf von Zahn
Direktor (em.)
Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V.
an der Universität Rostock



Sehr verehrte Damen und Herren,

dass uns ein Blick auf den Planeten Erde ein so wundervolles Bild zeigt verdanken wir zu einem großen Teil dem Kohlendioxid in unserer Atmosphäre. Obgleich es in unserer Atmosphäre nur als ein Spurengas mit etwa 0,04 % Häufigkeit vorhanden ist, kontrolliert es dennoch in erstaunlich starkem Maße die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche. Würden wir es aus unserer Atmosphäre komplett entfernen, so würde die Erdoberfläche über kurz oder lang den Zustand der Mondoberfläche annehmen. Pro Fläche empfängt der Mond genauso viel Sonnenenergie wie die Erde. Und doch liegt seine mittlere Oberflächentemperatur bei -55 °C . Wir sollten also die CO_2 -Moleküle unserer irdischen Atmosphäre wirklich dafür lieben, wie günstig sie in vergangenen Jahrtausenden die Umweltbedingungen für die Entwicklung des Lebens auf der Erde gestaltet haben.

Aber die Zeiten dieser singulären, positiven Partnerschaft sind vorbei. Die Menschheit hat zunächst unwissend, heute aber fahrlässig Einfluss genommen auf diesen natürlichen Kontroll-Mechanismus. Sie hat den CO_2 -Gehalt der Atmosphäre in den vergangenen 100 Jahren um 45% erhöht,- ein beispielloser und in diesem Umfang brutaler Eingriff in unsere Umwelt. Aufgeschreckt durch die nun stärker werdenden Reaktionen unseres Klimasystems auf diese Störung haben sich vor zwei Jahren viele Politiker auf das sog. **„Übereinkommen von Paris“** (so der offizielle deutsche Name dafür) geeinigt, dessen Kernaussage ich Ihnen in der folgenden Folie zeige.

Auszug aus Artikel 2 des „Übereinkommens von Paris“ vom 12. Dezember 2015

- Dieses Übereinkommen zielt darauf ab, ... die weltweite Reaktion auf die Bedrohung durch Klimaänderungen ... zu verstärken, indem unter anderem
- (a) der Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur **deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau** gehalten wird
- und Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg **auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau** zu begrenzen, ...

(b) ... Anpassung... (c) ... Finanzen ...

Kommentare zum "Übereinkommen von Paris" vom Dezember 2015

Stärken sind u.a.

- Erste „**weltweite**“ **Anerkennung**, dass der anthropogene Klimawandel eine Gefahr für die Menschheit darstellt.
- Konzentration auf nur **EIN** Ziel ist sehr gut.
- Das definierte Ziel ist gut ausgewählt:
Kontrolle des Anstiegs der gemittelten **Lufttemperatur**.
Diese Temperatur ist in hohem Maße durch den CO₂-Gehalt der Atmosphäre bestimmt, der seinerseits **leicht und genau messbar** ist.

Schwächen sind u.a.

- Die Festlegung auf ein **globales** Mittel.
- **Unklare Festlegung von Anfangs- und End-Zustand**, zwischen denen der Temperatur-Anstieg gemessen werden soll.
- Offene Frage, ob die obere Schranke von **+2 °C wirklich tolerierbar** ist.

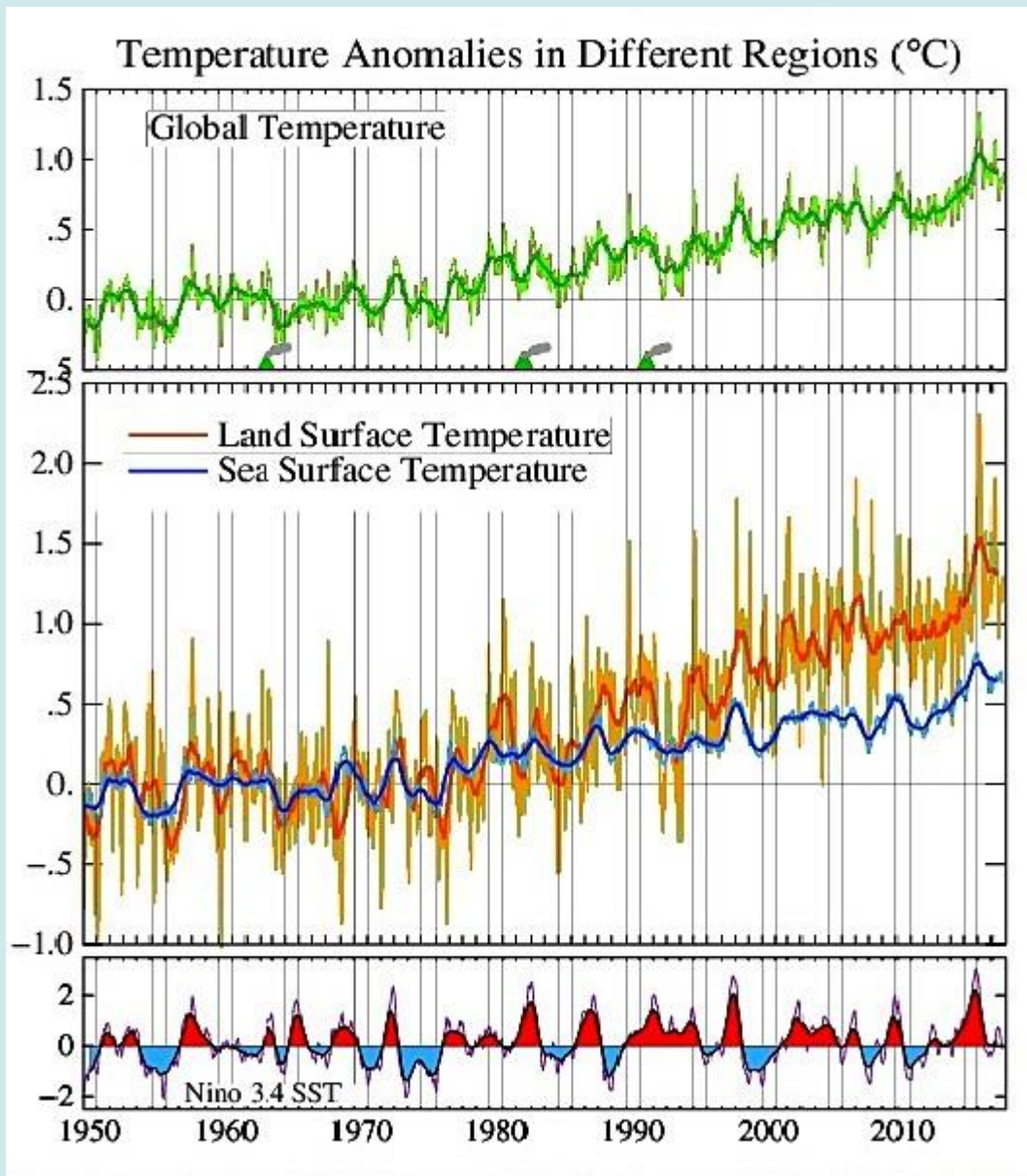
Definitions-Schwäche: "global"

Ein „**globales**“ Mittel setzt sich zusammen aus den „Flächen-Mitteln“

- der Messwerte über **festem Land (29%)** und
- der Messwerte an **Meeresoberflächen (71% !)**.

Aber, ... die über **festem Land** gemessenen Temperatur-Anstiege sind deutlich größer als die an **Meeresoberflächen** gemessenen.

Daher ist der (für uns wichtige) Temperatur-Anstieg
über **festem Land** deutlich größer als der **globale**
(der im Paris-Abkommen thematisiert wird).



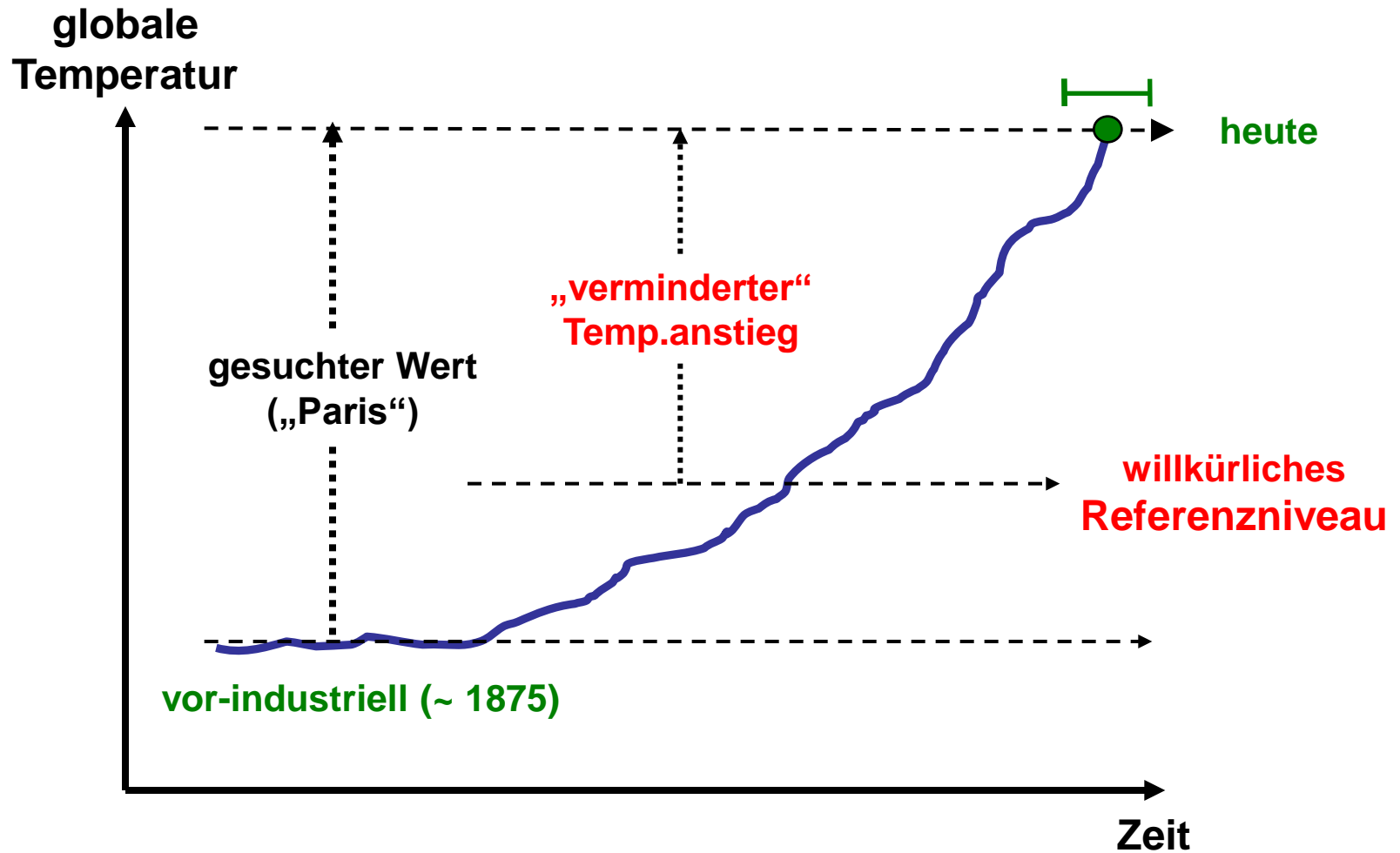
**Temperatur-Änderungen
in verschiedenen Regionen
seit 1950**

Oben: globaler Mittelwert

**Mitte:
Temperatur-Änderungen
über Landflächen
und denen
über Ozeanen**

**Unten: Temperaturen
im tropischen Pazifik
(El Nino-Region)**

Wie den "Anfangswert" und wie den "Endwert" bestimmen? + Das Problem der "Referenzniveaus".



Zur Arbeit des Deutschen Wetterdienstes



S. 38, Definition „Referenzzeitraum“:

... In **diesem** Klimareport werden Aussagen über die Vergangenheit auf den Zeitraum **der Jahre 1961 bis 1990** bezogen. ...

Im Klimabericht selbst werden aber nicht weniger als **6 verschiedene Referenzzeiträume** für die Darstellung der Daten benutzt!

Nur an einer einzigen Stelle wird mit einer vorindustriellen Epoche verglichen (1850-1900).

Kernfrage: ist eine Schranke von +2 °C wirklich tolerierbar?

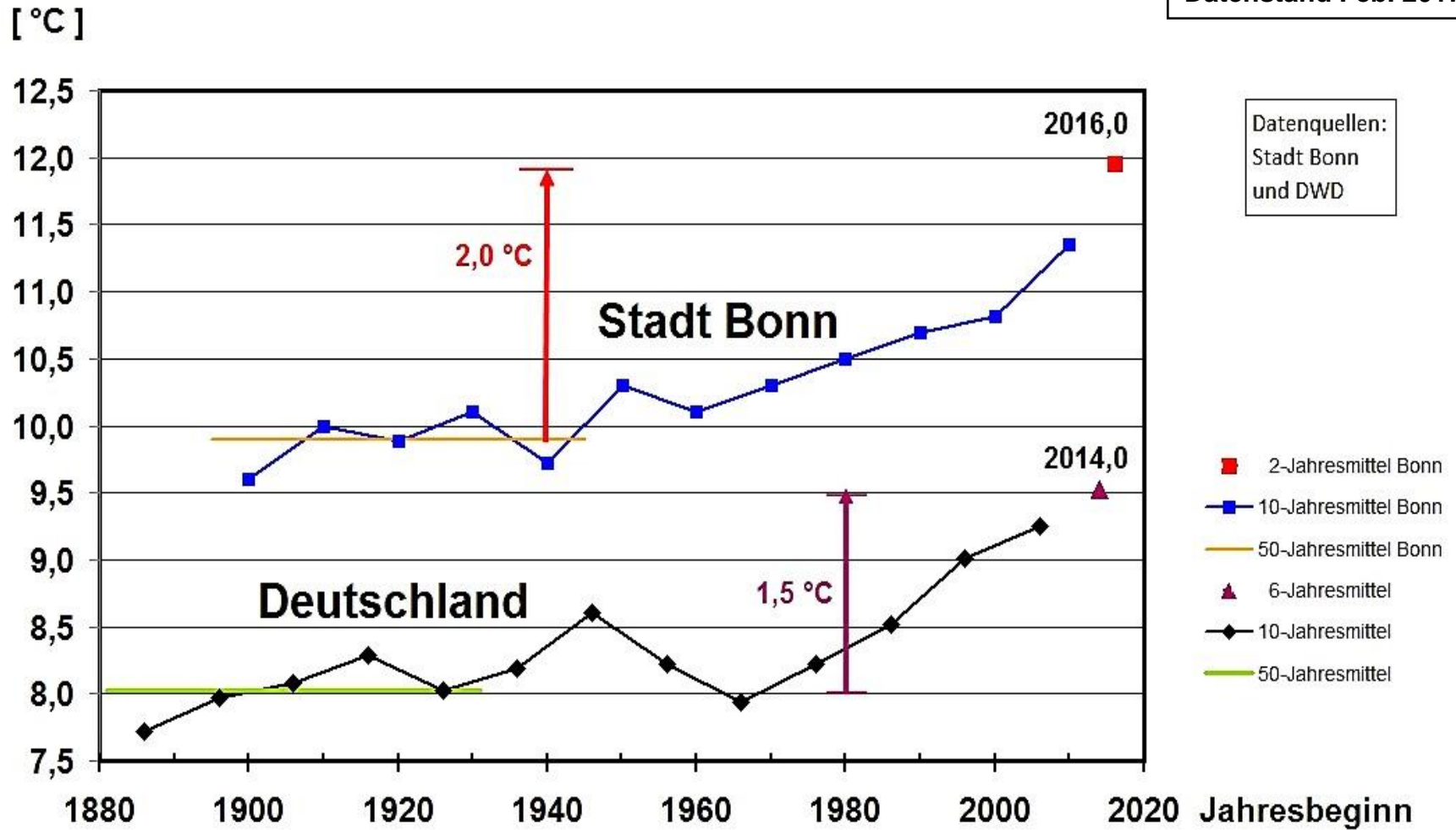
Ich möchte eine Antwort auf diese Frage suchen,
indem ich zunächst die klimatischen Änderungen identifiziere,
die wir **bereits heute bei etwa $\Delta T = + 1$ °C beobachten** können (müssen).

- (1) Ansteigen der Temperaturen in der Atmosphäre.
 - (a) Globale Temperatur
 - (b) Temperaturen in der Arktis
 - (c) massive Erhöhung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre
- (2) Rückgang der Kryosphäre der Erde
(z.B. arktisches Meereis, Gletscher, Eisschilde).
- (3) Ansteigen des Meeresspiegels.

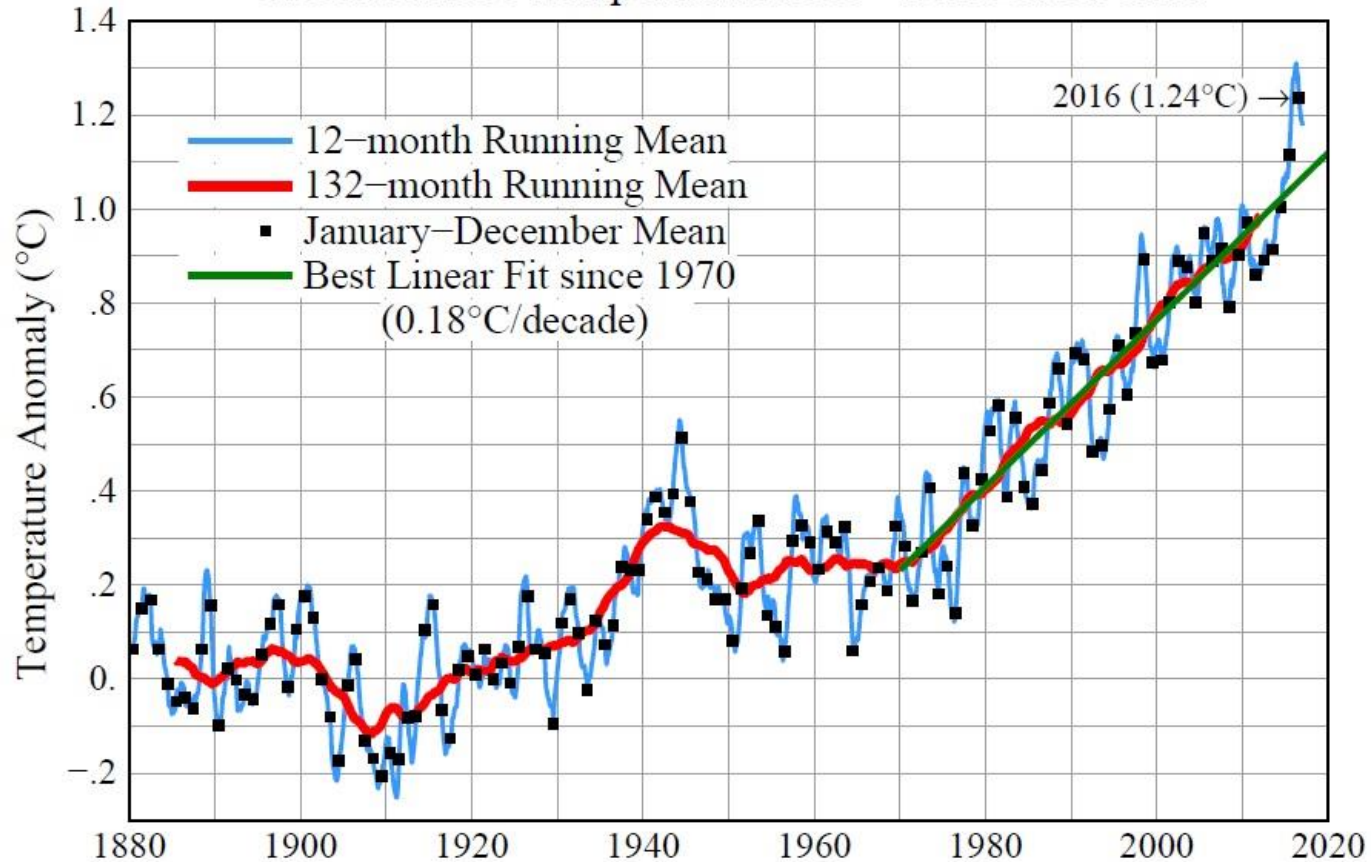
Es folgt: (1a) Wie stark sind **Temperaturen bereits gestiegen** ?

Veränderungen von Lufttemperaturen seit 1881

Datenstand Feb. 2017



Global Surface Temperature: 1880–1920 Base Period



Absoluter Anstieg seit vorindustrieller Periode bis Okt. 2017: 1,1 °C

Ferner aus (grüner) Trendlinie über die letzten 46 Jahre:

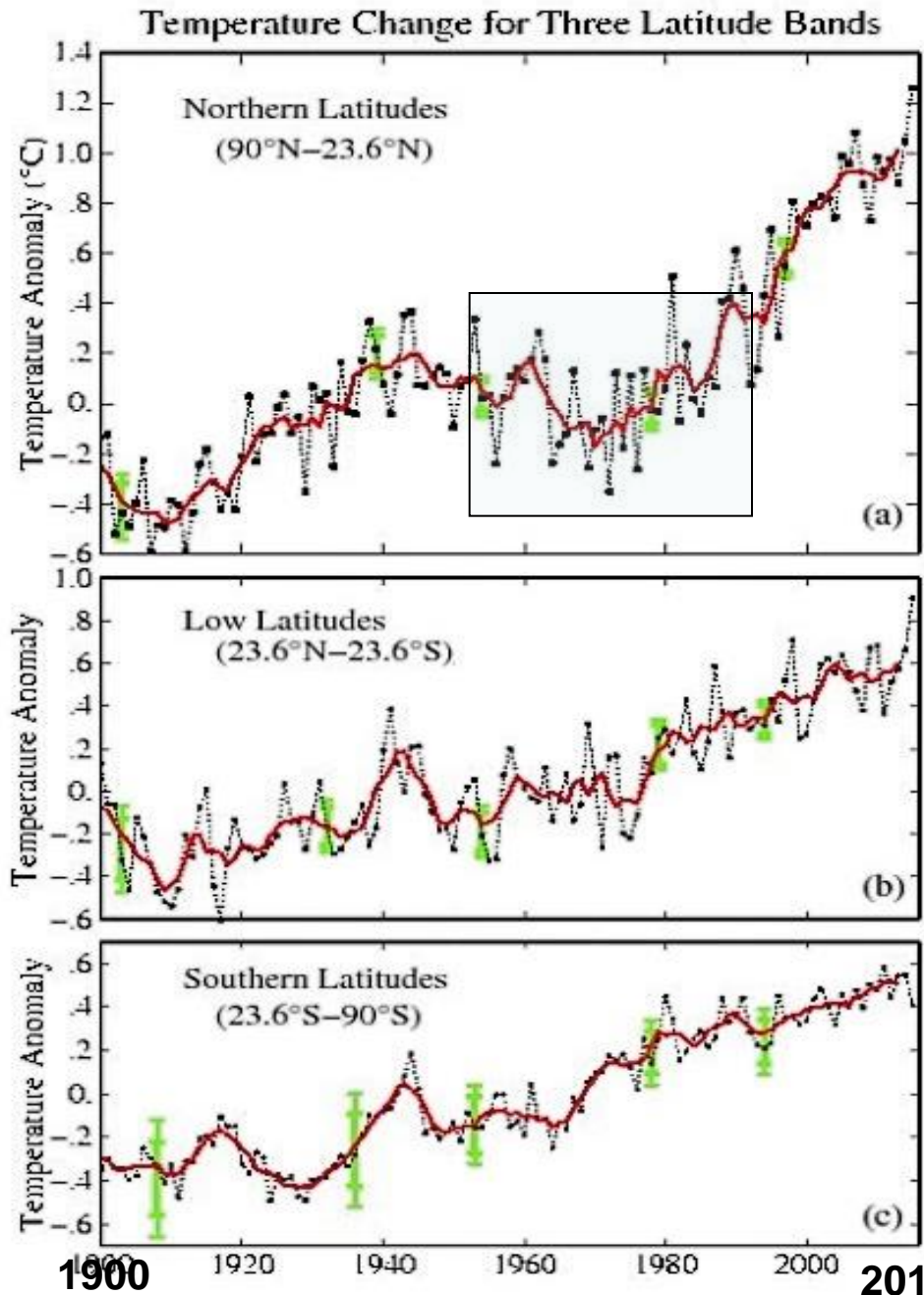
zeitlicher Anstieg von T: 0,18 °C / Dekade

Quelle: NASA/GISS (2017)

nördliche 30%
der Erdoberfläche

äquatoriale 40%
der Erdoberfläche

südliche 30%
der Erdoberfläche



2,0 °C ist Paris-Obergrenze
1,1 °C ist bisher erfolgter Anstieg

**Aber merke: das globale Mittel
erreicht die +2 °C Schranke nach**

$$\frac{(2,0 - 1,1) \text{ °C}}{0,18 \text{ °C / Dek}} = 5,0 \text{ Dekaden}$$

= 50 Jahre (maximal?)

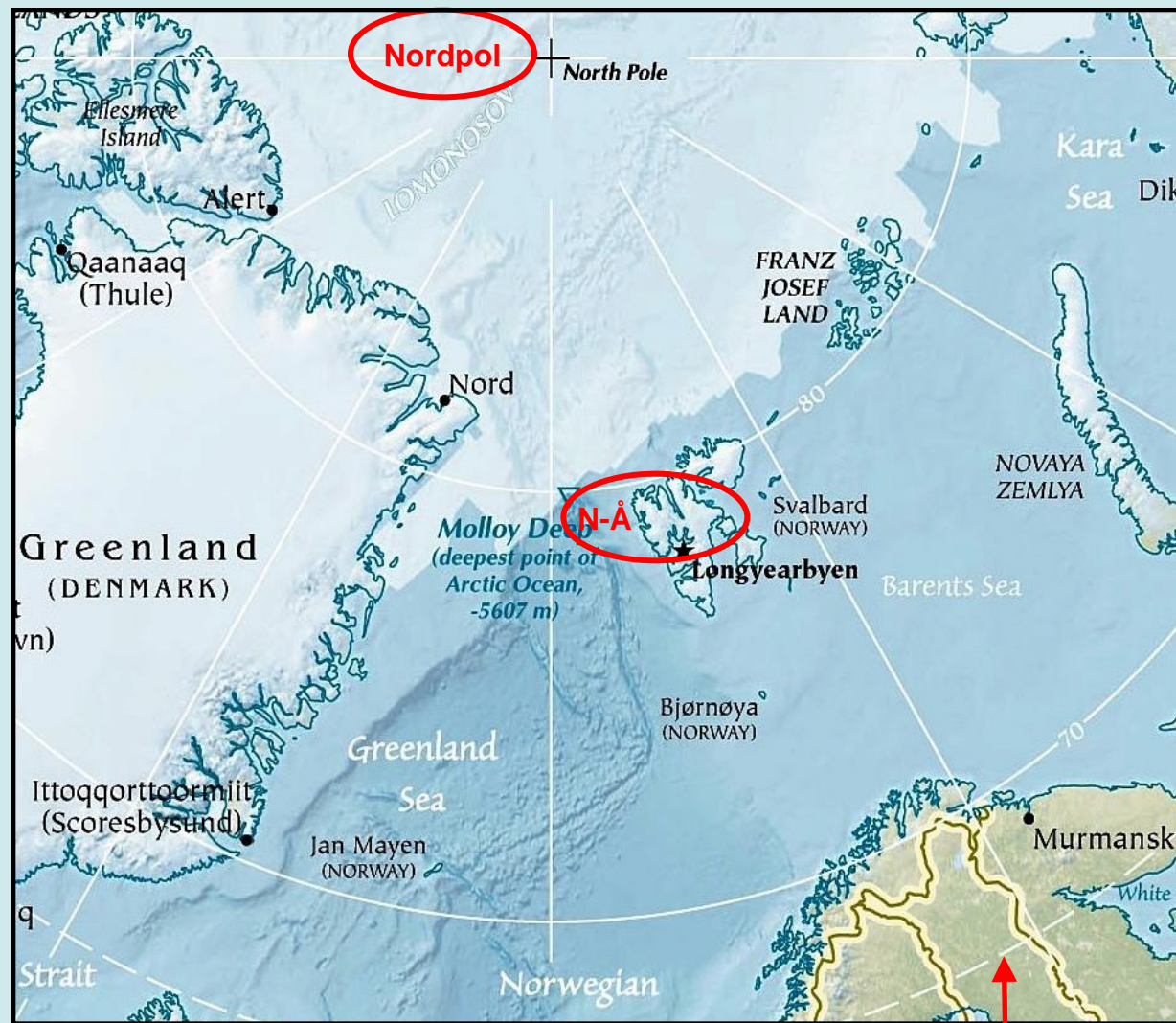
**Welche weitere Änderungen erkennen wir bereits heute
bei etwa $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$?**

(1b) Massives Ansteigen der Temperaturen **in der Arktis**

Geographische Lage der Stationen

**Ny-Ålesund
(79°N)
Longyearbyen
(78°N)**

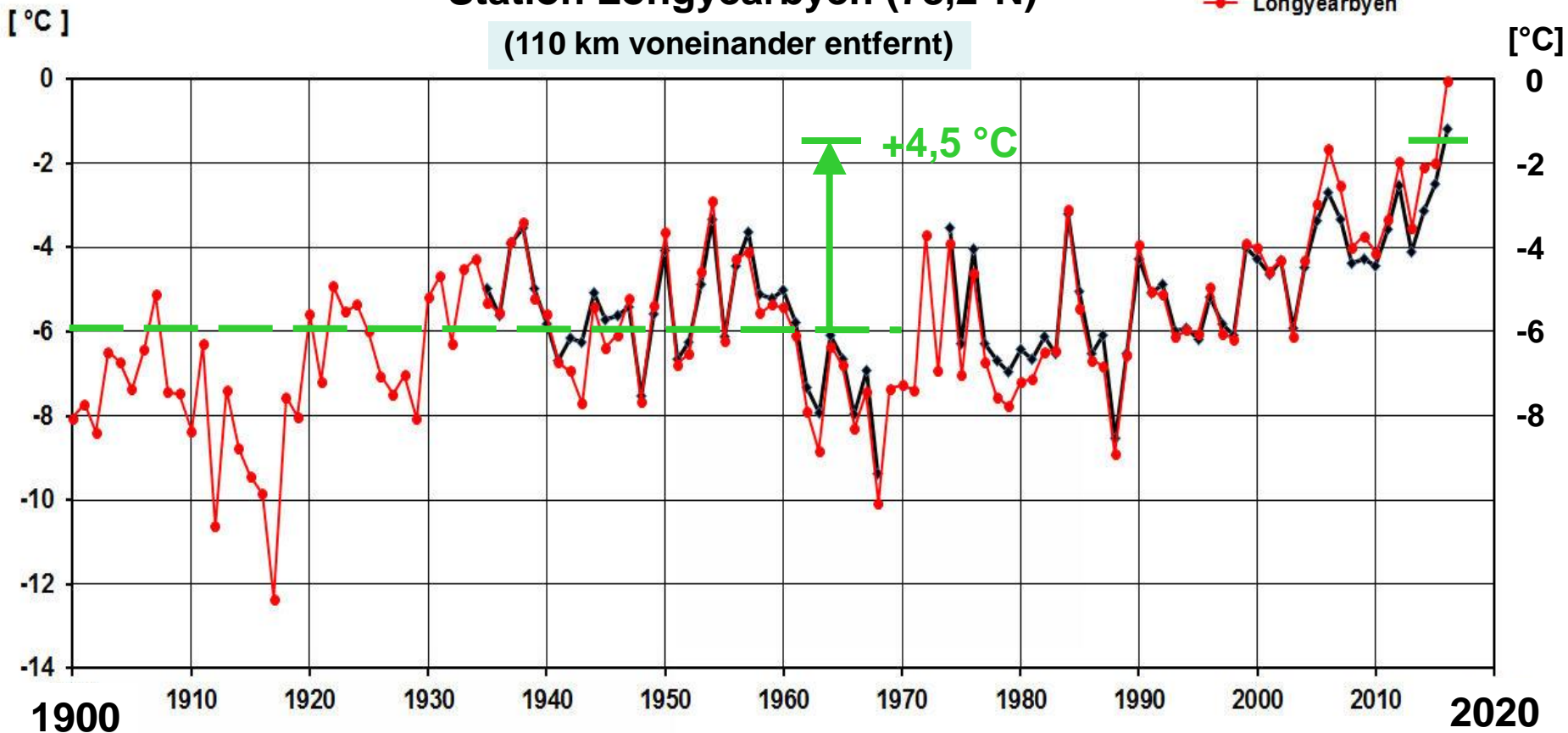
relativ zum Nordpol.



Station Ny-Ålesund (78,9°N) Station Longyearbyen (78,2°N)

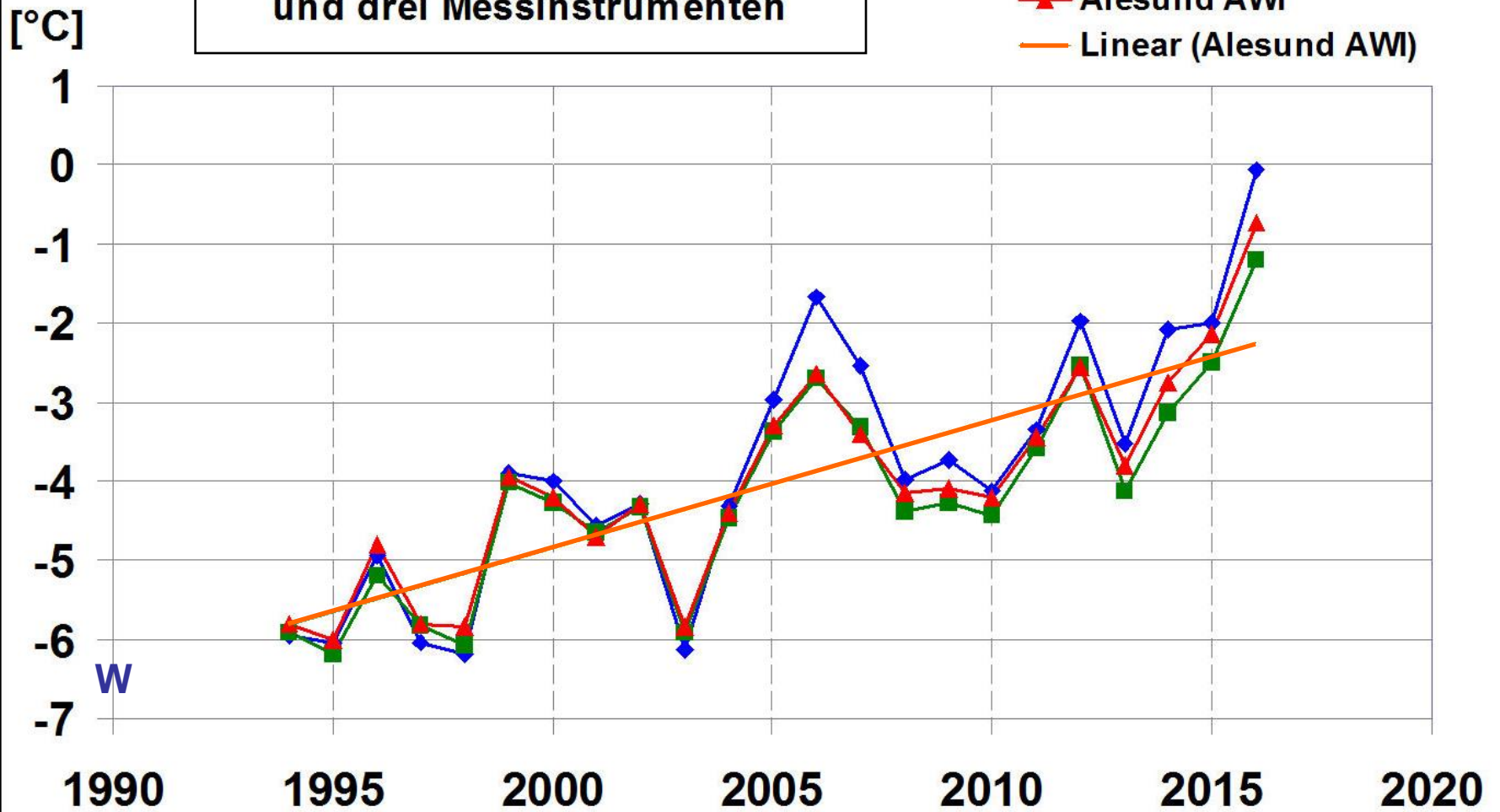
(110 km voneinander entfernt)

— Ny-Ålesund
—● Longyearbyen



Jahresmittel-Temperaturen 1900 - 2016 auf Svalbard

Jahresmittel-Temperaturen von 2 verschiedenen Stationen und drei Messinstrumenten



Neigung der braunenTrendlinie: $(-2,2 \text{ °C} - -5,8 \text{ °C}) / 22 \text{ Jahre} = 1,6 \text{ °C} / \text{Dekade}$

Neueste, beobachtete Temperatur-Erhöhungen

Parameter Zeitpunkt Temp.erhöhung Datenquelle
 über den vor-ind. Wert

Globales Mittel über Land + See		„Erlaubte“ Obergrenze 2,0 °C	UN-Konferenz in Paris (COP21)
Globales Mittel über Land + See	Ende 2016 Istwerte	1,1 °C 1,1 °C	UK Met Office NASA GISS
Stadt Bonn	Ende 2016	2,0 °C	Stadt Bonn
Deutschland Schweiz	Ende 2016 Ende 2016	1,5 °C 1,5 °C + 0,3 °C	(DWD) AdW Schweiz (2016)
3 Mess-Stationen auf Spitzbergen	Ende 2016	4,5 ± 0,5 °C	Norwegisches Umweltamt, AWI
Mittel über Arktis 64°N bis 90°N	Ende 2016	4 °C	NASA GISS

**Welche weitere Änderungen erkennen wir bereits heute
bei etwa $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$?**

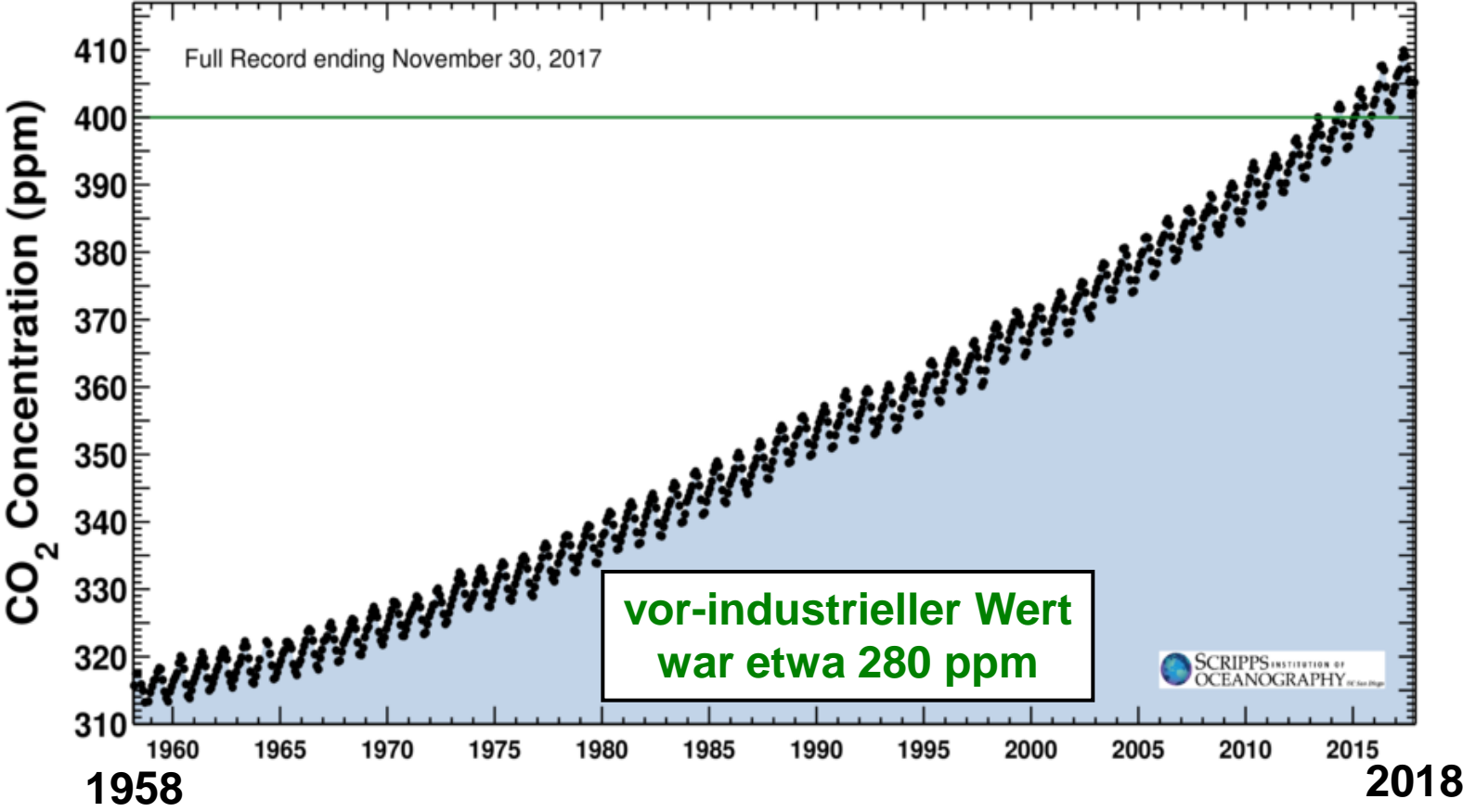
(1c) massive Erhöhung des CO_2 -Gehalts der Atmosphäre

Messungen des CO₂-Gehalts der Atmosphäre „über“ Hawaii in 3400 m Höhe

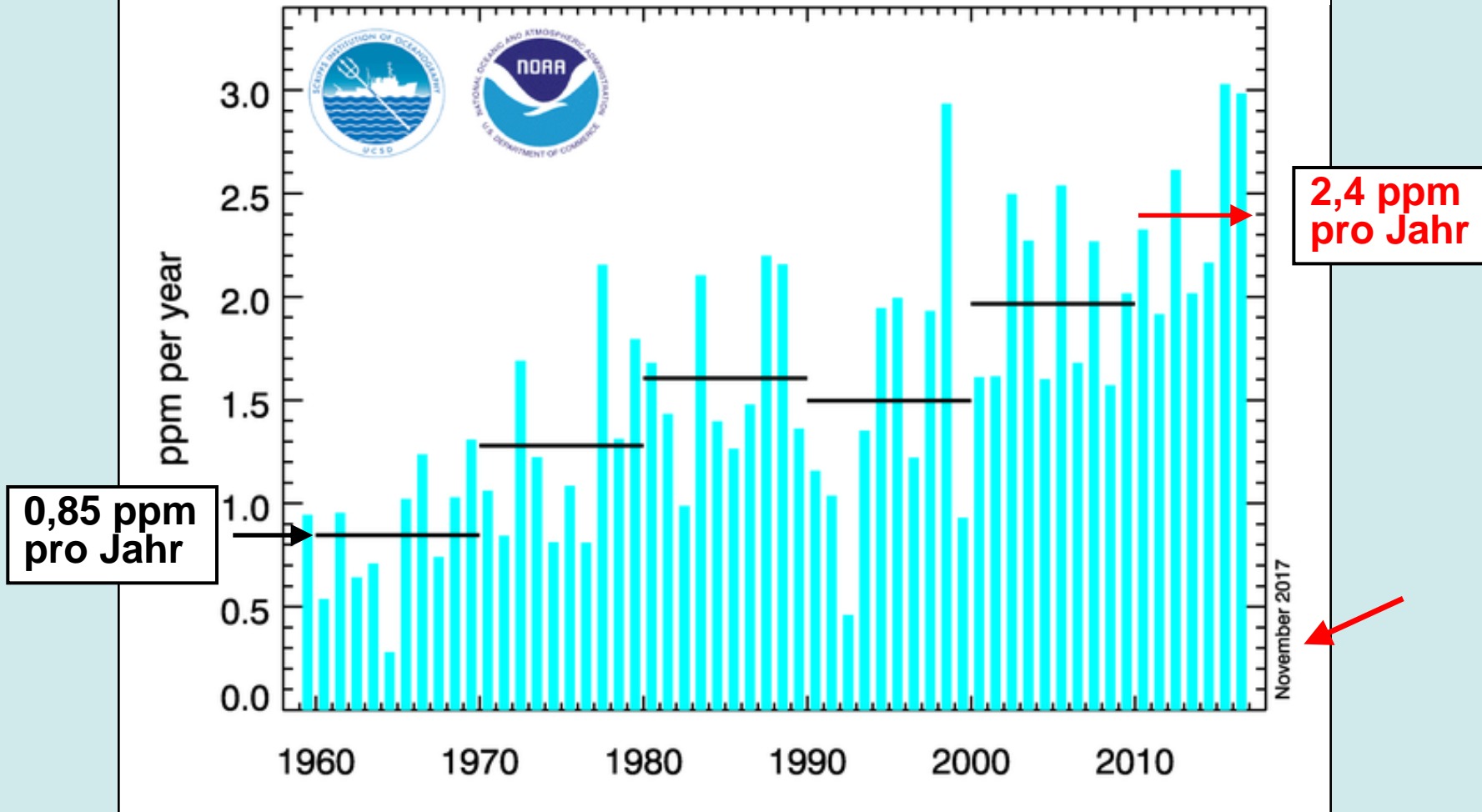
Latest CO₂ reading
November 30, 2017

406.58 ppm

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory

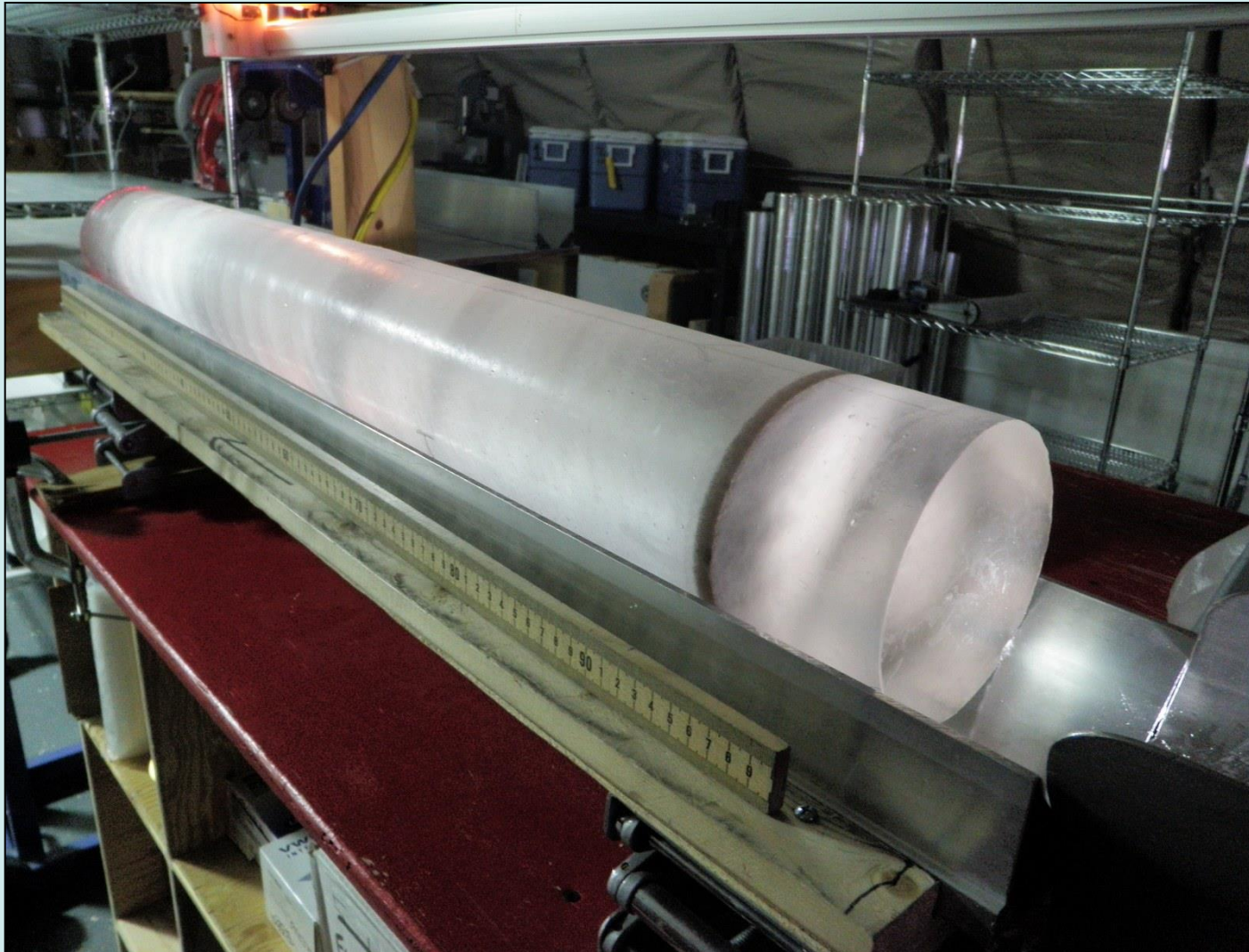


Anstieg der CO₂-Häufigkeit pro Jahr über Hawaii



Quelle: Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego

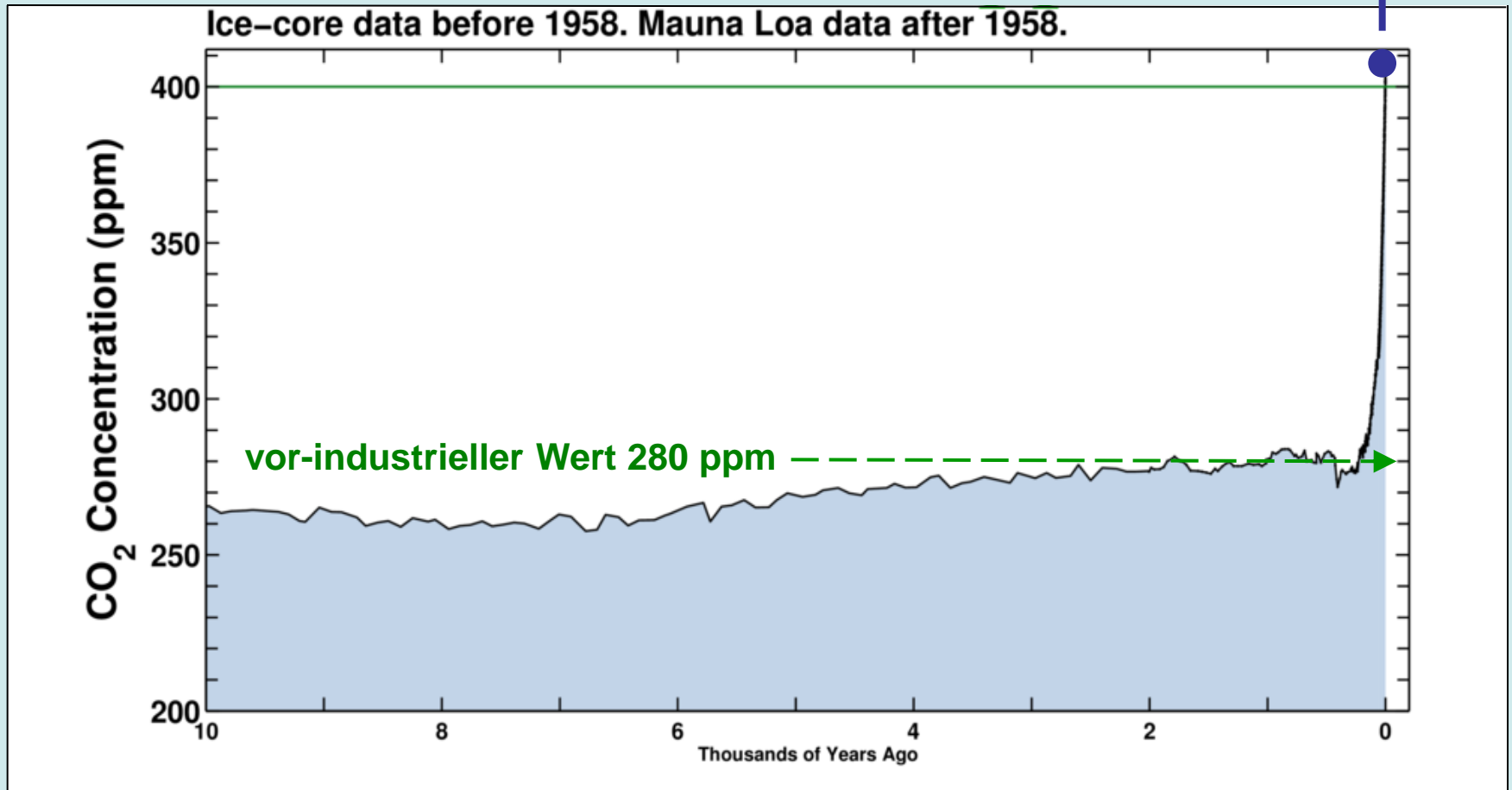
**3 m langer Eisbohrkern,
gewonnen bei dem Projekt „West Antarctic Ice Sheet Divide“**



CO₂-Gehalt der Erdatmosphäre in den vergangenen 10.000 Jahren

1. Dez. 2017:
407 ppm !

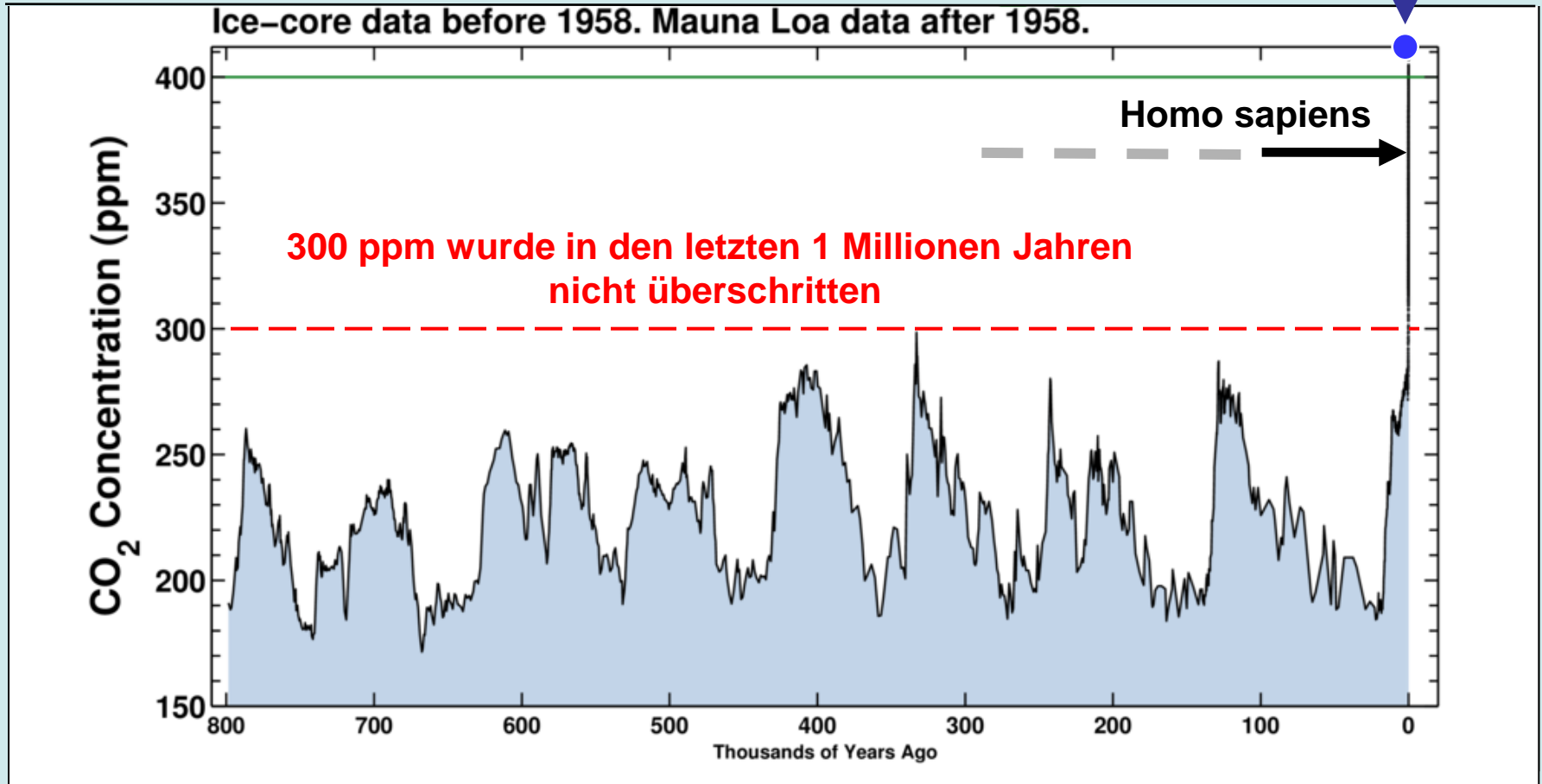
+45%



← 10.000 Jahre rückwärts →

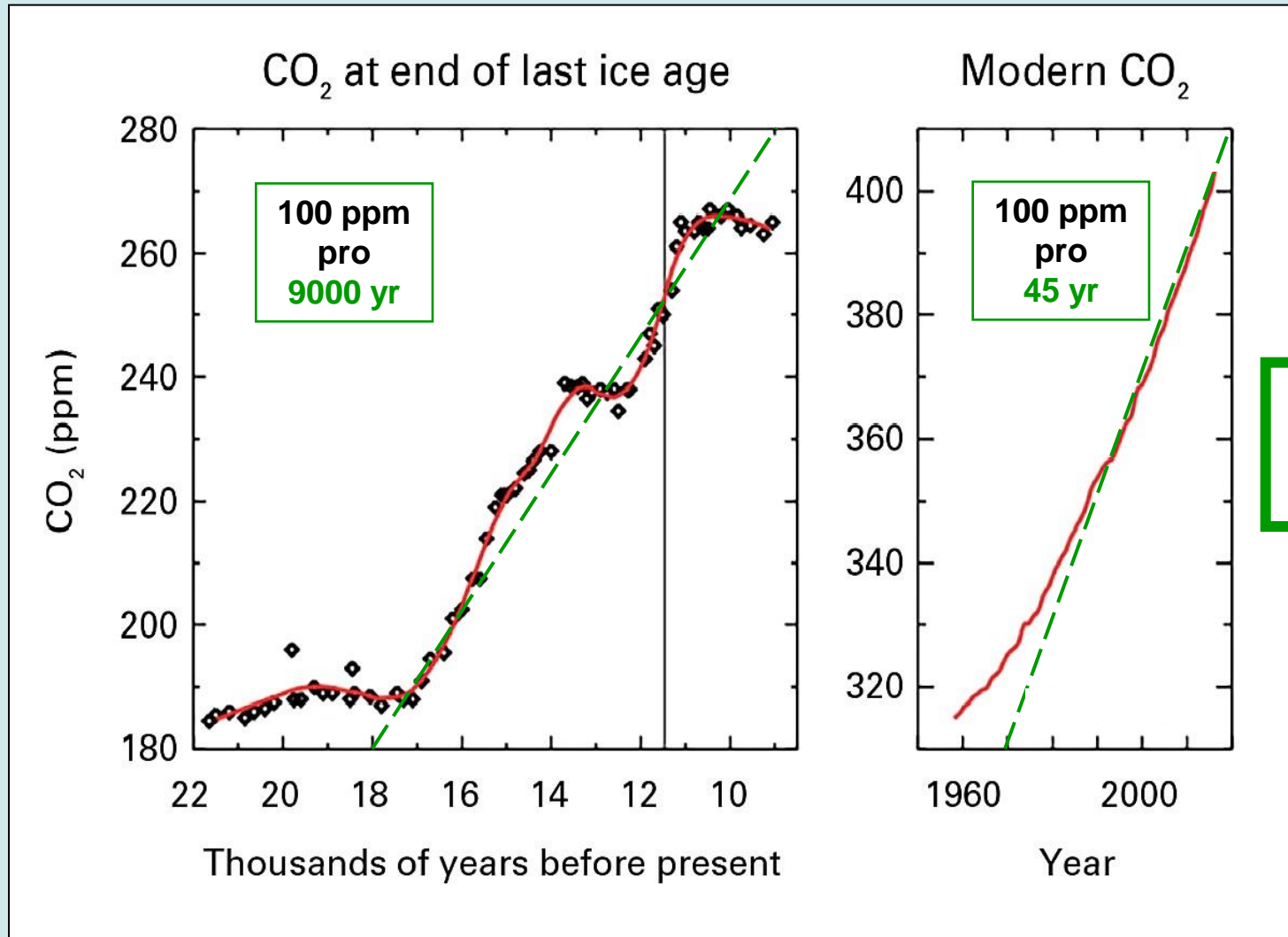
CO₂-Gehalt der Erdatmosphäre in den vergangenen 800.000 Jahren

1. Dez. 2017:
407 ppm !

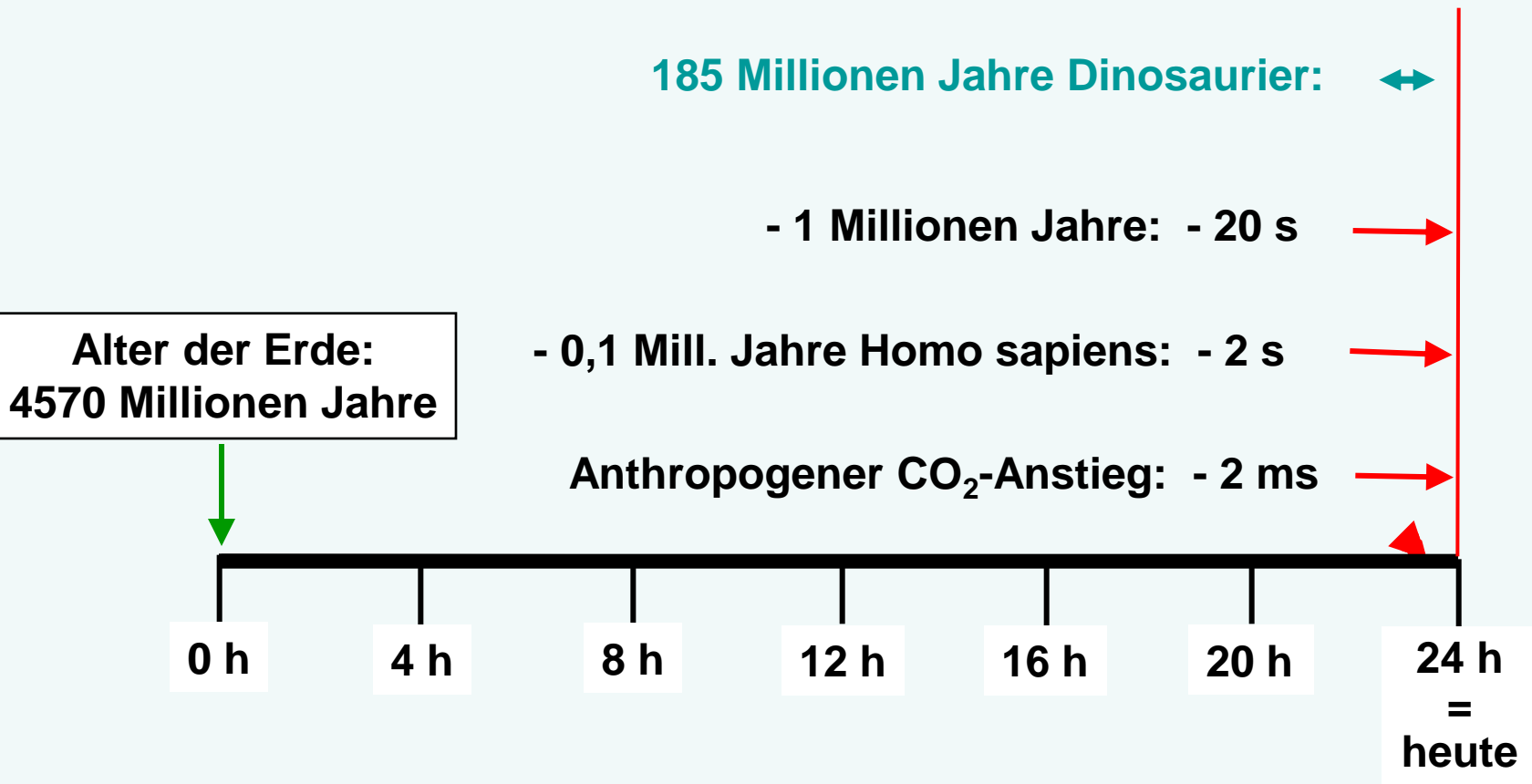


← 800.000 Jahre rückwärts ←

Geschwindigkeit des CO₂-Anstiegs „früher“ und heute [WMO, Okt. 2017]



Das Erdalter verglichen mit der Länge eines Tages

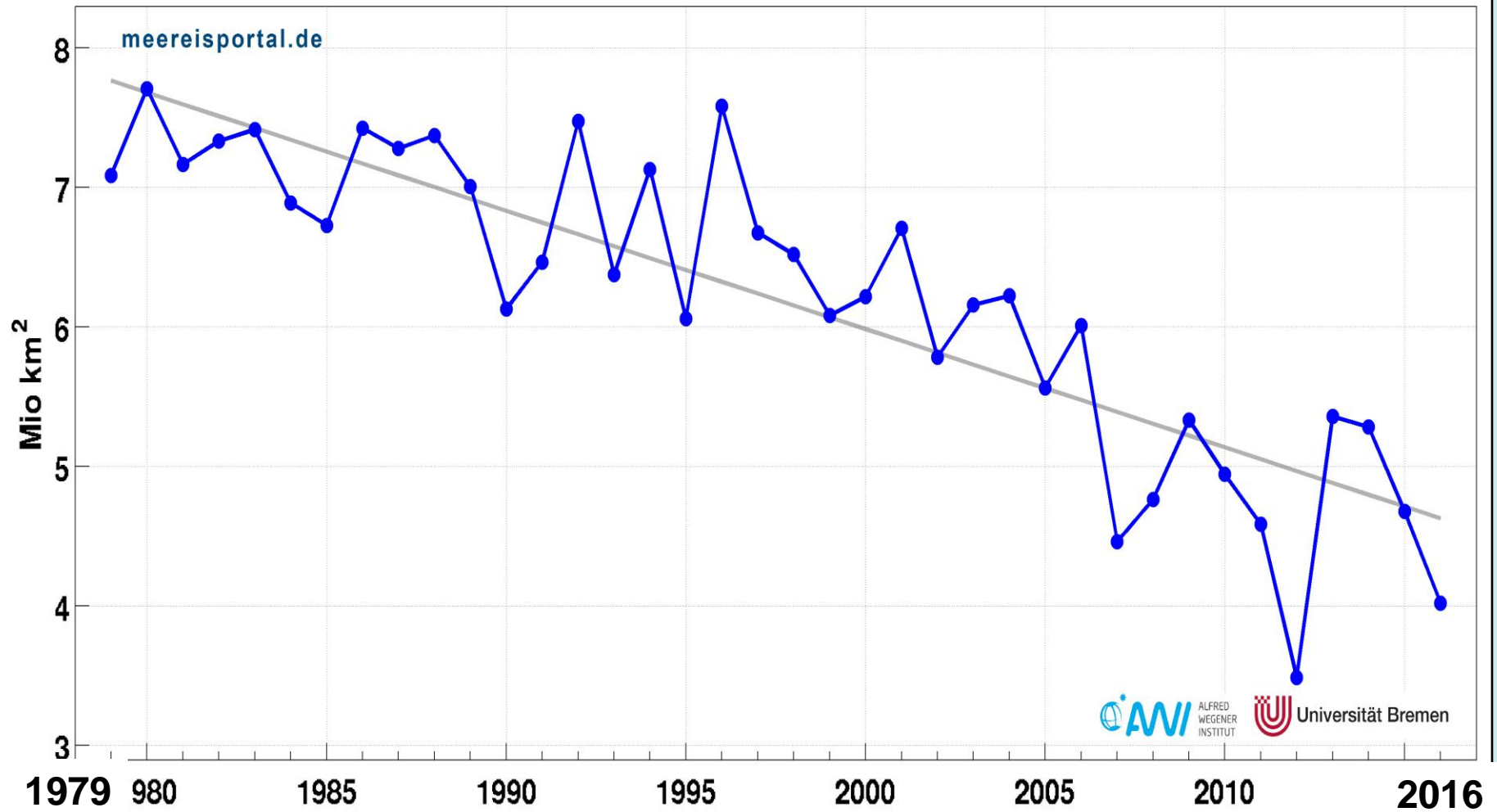


Welche weiteren Änderungen erkennen wir bereits heute bei etwa $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$?

(2) Rückgang der Kryosphäre

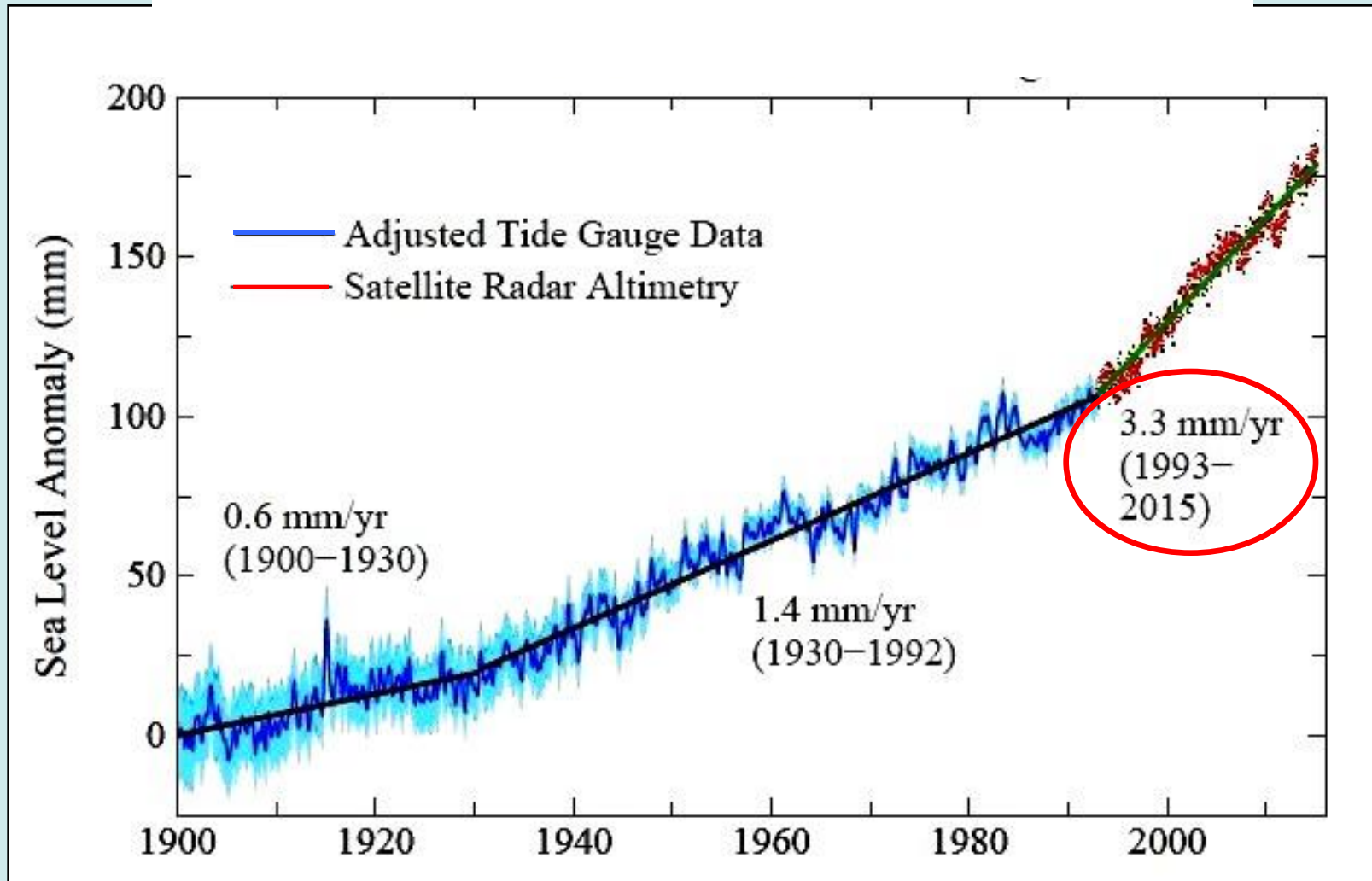
- z.B.**
- Rückgang des arktisches Meereises,**
 - Abschmelzen von Gletscher,**
 - Abschmelzen der großen Eisschilde,**
 - Grönland-Eisschild**
 - Westantarktische Eisschild**
 - Ostantarktisches Eisschild**

September-Mittel der Meereisausdehnung in der Arktis von 1979-2016



Abnahme um 40% in 37 Jahren !

Global gemittelter Anstieg der Meeresoberfläche



Quelle: Hansen, J., et al., ACP Discuss.,15, 20059-20179, 2015.

Hier die wichtigsten Prozesse,
die zur globalen Erhöhung des Meeresspiegels beitragen.

Gut bekannt ist die **absolute Rate der Zunahme:**

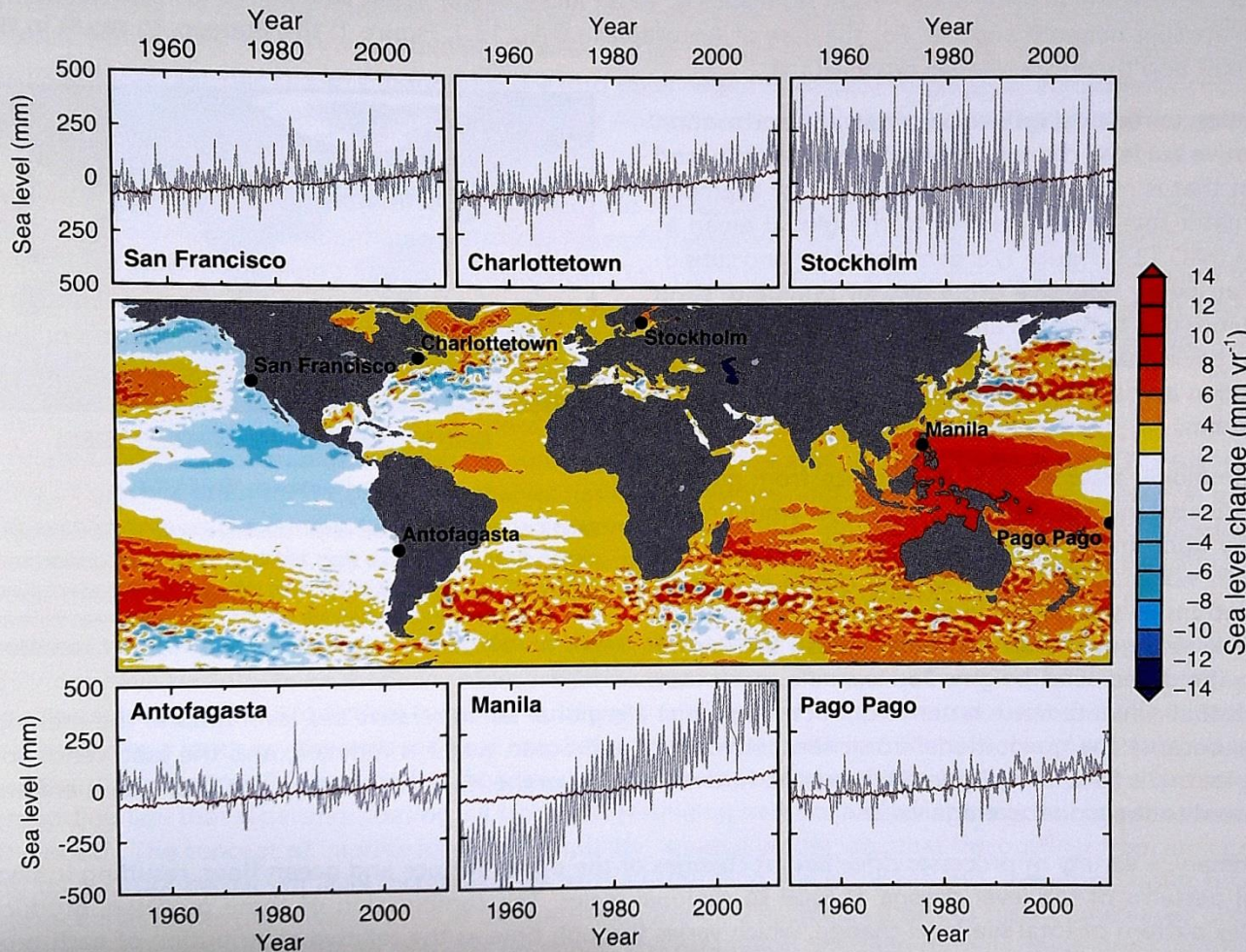
3,3 mm / y .

Die derzeitigen prozentualen Anteile der jeweiligen Prozesse
sind aber bisher noch stark "in der Diskussion".

Persönlicher "best guess":

Abschmelzen von Gletschern	7 %
Abschmelzen der großen Eisschilde:	
Grönland-Eisschild	26 %
Antarktische Eisschild(e)	17 %
Wärmeausdehnung des Meereswassers	50 %

Derzeit beobachtete Erhöhungsrates: **3,3 mm / y = 100%**



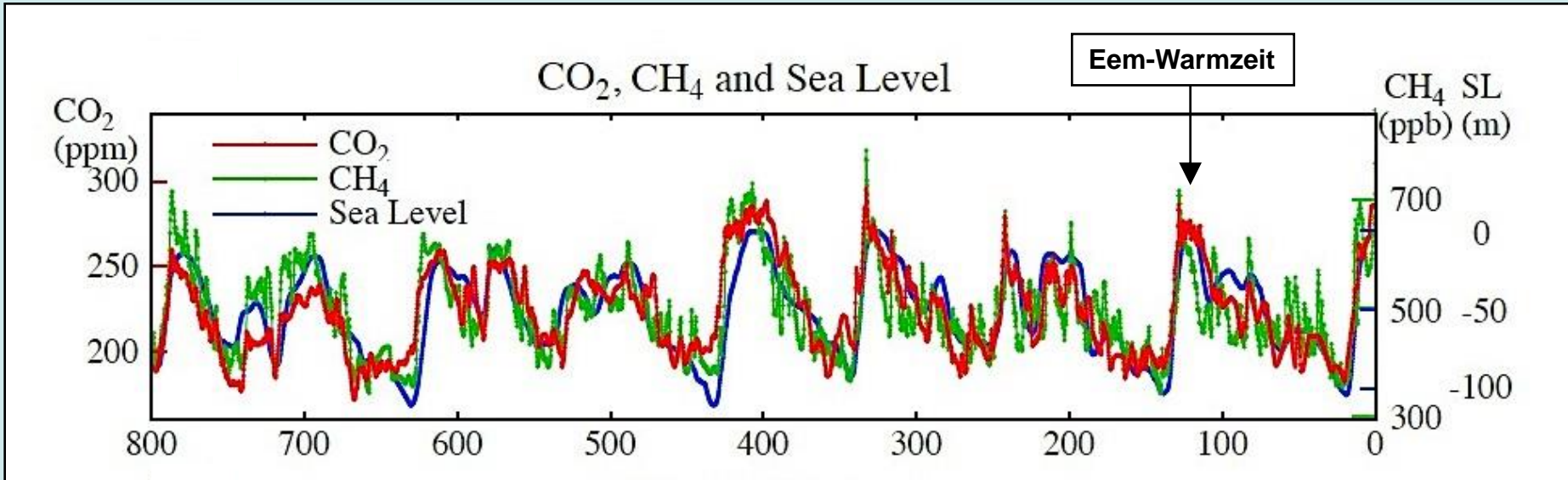
Orts-abhängige Rate des Anstiegs des Meeresspiegels,

gemessen von 1950 bis
2012 mit Satelliten-
Radars.

Die **schwarzen**,
ansteigenden Linien in
den 6 Bildmitten zeigen
den **global** gemittelten
Anstiegs des
Meeresspiegels.

Quelle: 5th IPCC Assessment Report, Working Group I, FAQ 13.1 (2015)

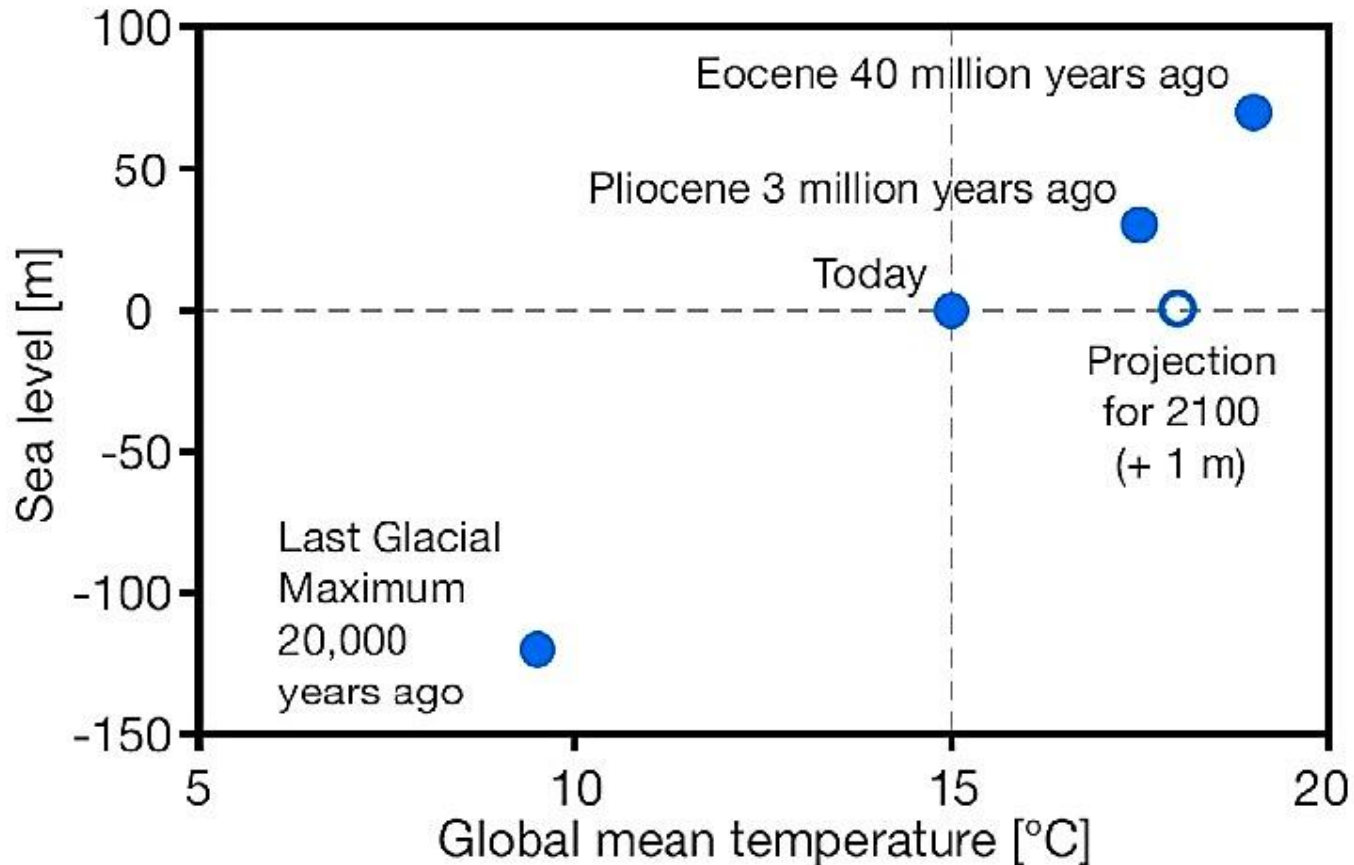
**Änderungen des CO₂-Gehalts der Atm. (rot)
und der Höhe des Meeresspiegels (blau)
in der vergangenen 800 000 Jahren**



**Ergebnis: im Ablauf der Eiszeiten haben der
CO₂-Gehalt der Atmosphäre um etwa **100 ppm**
und die Höhe des Meeresspiegels um etwa **100 m** variiert.**

Quelle: Lacis et al., Tellus B, **65**, 19734 (2013)

Past Sea Level vs. Temperature



(Source: WBGU after David Archer 2006)

Ergebnis: etwa 20 m Anstieg pro 1 °C Temp.erhöhung

Aus den beiden vorangegangenen Folien lässt sich ableiten, dass über die vergangenen 800.000 Jahre und damit über 8 eingebettete Eiszeiten folgender ungefährender Zusammenhang zwischen den **Änderungen**

der globalen Temperatur $\Delta T(g)$

dem atmosphärischen CO₂-Gehalt ΔCO_2

und der Höhe des Meeresspiegels Δz

bestanden hat:

$$\Delta T(g) = +1 \text{ °C} \quad \text{bei} \quad \Delta CO_2 = + 20 \text{ ppm} \quad \text{bei} \quad \Delta z = +20 \text{ m.}$$

Die Beobachtungen zeigen dabei Fälle sowohl für ein primäre Änderung der Temperatur als auch eine solche für den CO₂-Gehalt.

Nach einer (externen) Störung des so beschriebenen Gleichgewichts der drei Parameter dauert die Neu-Einstellung des Gleichgewichts aber einige hundert Jahre,- hauptsächlich wegen der großen thermischen und dynamischen Trägheit der Weltmeere.

Zeitskalen für das mittelfristige Auftreten größerer Schäden durch Klimawandel

Zustand / Prozess	gegenwärtige Änderungsrate	Schwelle für deutliche Schäden (pers. Einschätzung)	Dauer bis zum Erreichen der Schwelle
Häufigkeit von CO ₂ : derzeit 410 ppm	+ 24 ppm / Dekade	langzeitig 350 ppm	bereits überschritten
ΔT(Luft) seit 1900 : Svalbard + 4,5 °C global + 1,1 °C	+ 1,6 °C / Dekade + 0,18 °C / Dekade	+ 2,0 °C + 1,5 °C	bereits überschritten ~ 20 Jahre
Änderung arktisches Meereis im Sommer, bisher : - 40 %	- 10% / Dekade	- 25%	bereits überschritten
Änderung der Höhe des Meeresspiegels	Europa +3,3 cm/Dek West-Paz.+9 cm/Dek	0,5 m	150 Jahre 50 Jahre
Absterben west- pazifischer Korallenriffe	- 10% / Dekade	- 25%	bereits überschritten

Schlusswort:

Meine Damen und Herren, ich habe Ihnen bisher fast ausschließlich wissenschaftliche Beobachtungen und Tatsachen präsentiert. Zu diesen Tatsachen gehört die Aussage, daß der beobachtete Anstieg des CO₂-Gehalts Menschen-gemacht ist. Zu diesen Tatsachen gehört auch, dass bereits bei der bisher "mäßigen" Erhöhung der mittleren Lufttemperatur um etwa 1 °C einige der erwarteten Klimaänderungen schneller und damit intensiver als vorhergesagt eingetreten sind. Einige wenige entwickeln sich dabei bereits Besorgnis-erregend schnell, wie z.B. massive Veränderungen im arktischen Klimasystem.

Verlassen wir für einige Momente die doch noch recht attraktive Gegenwart und erlauben uns einen Blick in die Zukunft,- genauer gesagt meinen sehr persönlichen und daher durchaus diskutablen Blick. Der zweite Ein-Grad-Schritt zu höheren globalen Temperaturen - nach dem Pariser Übereinkommen noch zugelassen - wird uns in eine Welt führen, die voller zusätzlicher Probleme mit globalen Ausmaßen ist.

Die Crux unseres Klima-Problems liegt m.E. aber primär nicht in der Temperatur-erhöhung, sondern dem anthropogen verursachten und geophysikalisch gesehen **"explosiven" Anwachsen der CO₂-Häufigkeit**. Auch wenn es der Menschheit gelänge, den CO₂-Anstieg in naher Zukunft zu stoppen, so läge der dann erreichte CO₂-Gehalt wahrscheinlich im Bereich von 500 ppm. Beim Eintreten eines solchen Zustands erwarte ich längerfristig massive Klima-Veränderungen auf der Erde (siehe Folie #36). Dabei sehe ich persönlich keinerlei Möglichkeiten für die Menschheit, dieses CO₂ aktiv und in relevantem Umfang wieder aus der Atmosphäre entfernen zu können.

Also müssen wir den CO₂-Anstieg bremsen, bremsen und noch mal bremsen, zugleich aber auch das Wachstum der Menschheit !

"Blue marble"
Foto von
Apollo 17
(1972)

