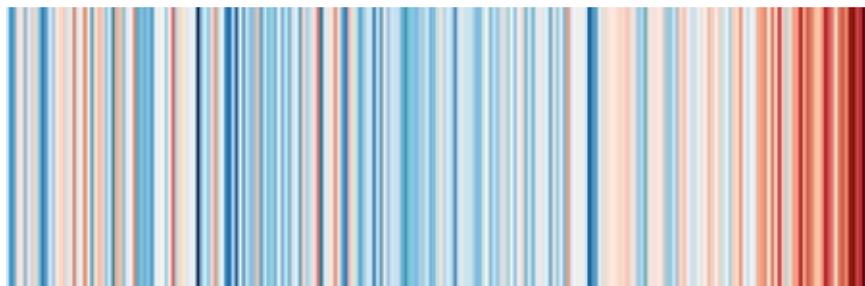




# Klimawandel und Auswirkungen auf die Kulturlandschaft

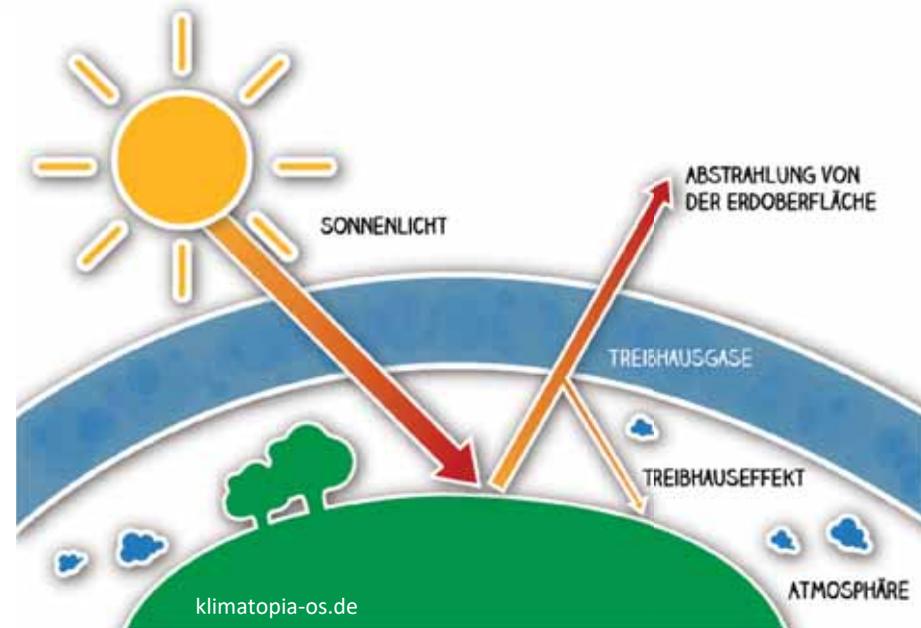
*Fakten mit Fokus auf Österreich und globale Zusammenhänge*



**ZAMG**  
Zentralanstalt für  
Meteorologie und  
Geodynamik

Dr. Marc Olefs, Leiter Abteilung Klimaforschung, ZAMG Wien, [marc.olefs@zamg.ac.at](mailto:marc.olefs@zamg.ac.at)

# Der Treibhauseffekt – was ist das?

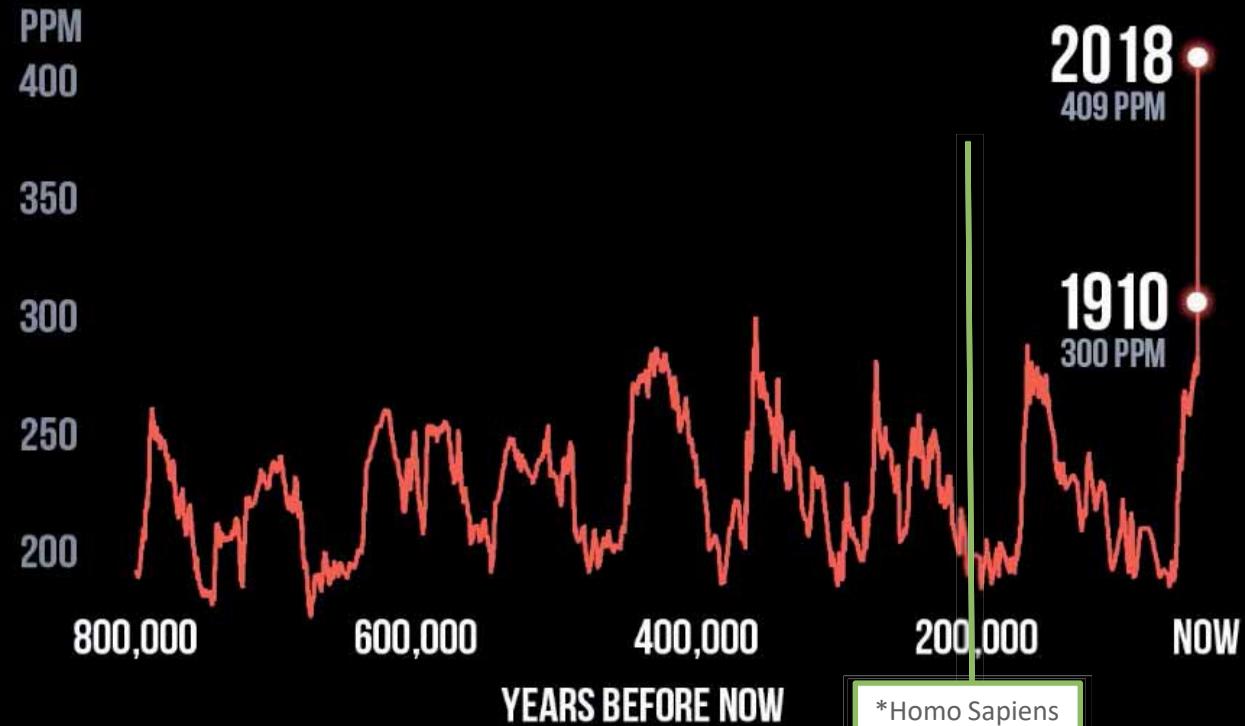


- Treibhausgase (Wasserdampf, CO<sub>2</sub>, Methan,...) lassen Sonnenstrahlung durch aber halten Wärmestrahlung d. Erde zurück -> Wie in einem Gewächshaus
- **Natürlicher Treibhauseffekt:** Wasserdampf, CO<sub>2</sub> & Co. machen Leben auf der Erde erst möglich (+15°C anstatt -18°C)
- **Anthropogener Treibhauseffekt:** durch den Menschen (fossile Verbrennung) zusätzlich emittiertes CO<sub>2</sub> und Methan verstärkt den Treibhauseffekt → Enger Zusammenhang CO<sub>2</sub>-Lufttemperatur

# Eine neue geochronologische Epoche: Das Anthropozän

## CHANGING OUR ATMOSPHERE

800,000 Years of Carbon Dioxide



Source: Luthi et al (2008) (cdiac.ornl.gov) & NOAA ESRL (esrl.noaa.gov)

CLIMATE CENTRAL

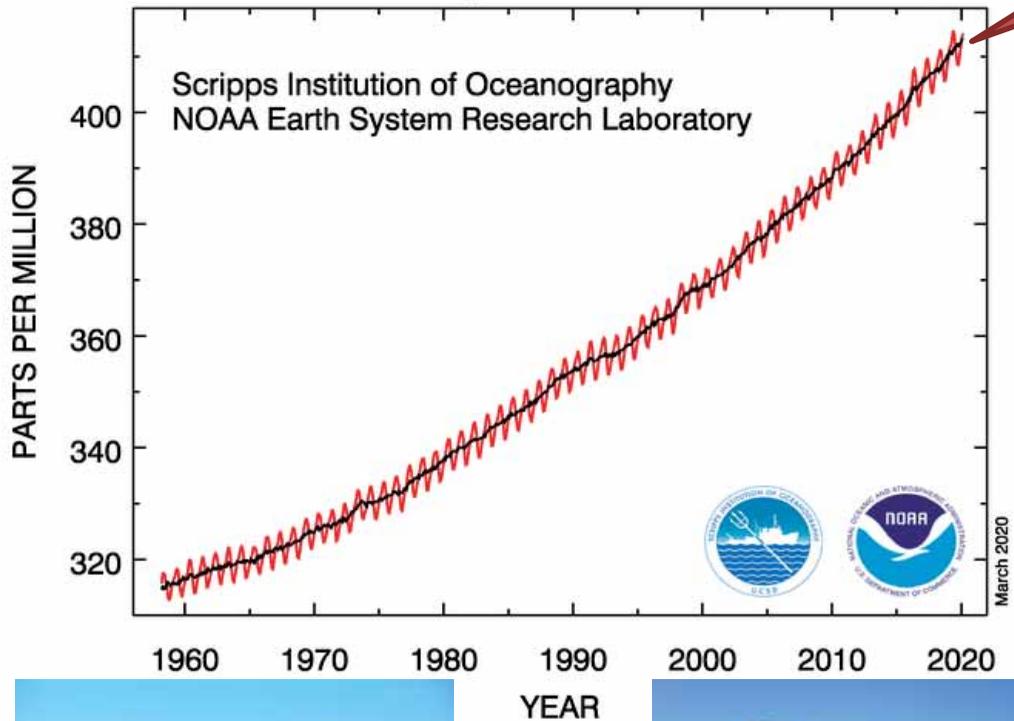
Der CO2 Gehalt der Luft hat schwindelerregende Höhen erreicht

- Noch nie so hoch seit ca. 3 Mio. Jahren (Pliozän - aus Isotopenverhältnis Meeressedimente)
- Frühere Warm- und Kaltzeiten durch Änderungen Erdbahnparameter
- Vor 1850: Temperatur steuert CO2 (wärmere Zeiten = höherer CO2 Gehalt Luft (Ozeane nehmen weniger CO2 auf))
- Ab 1850: CO2 steuert Temperatur
- Der Mensch hat keinen Spürsinn für CO2

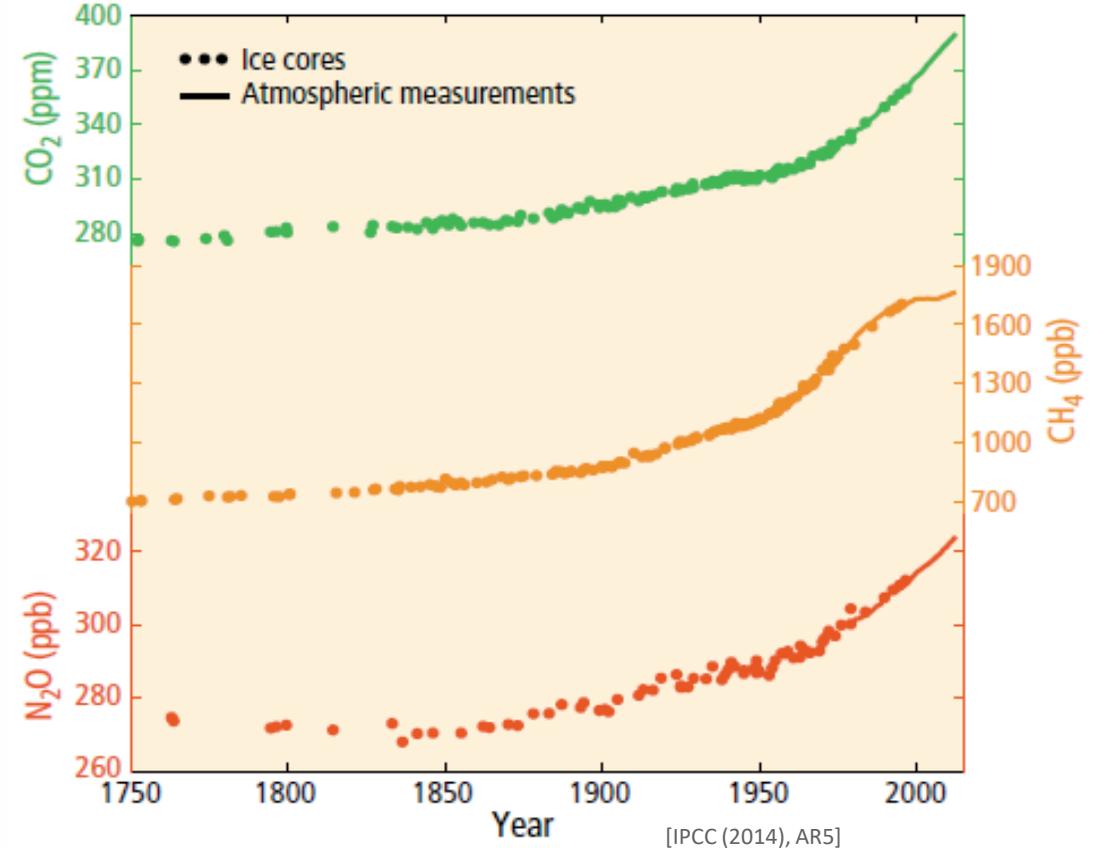
# Klimawirksame Treibhausgase

2020: 414 PPM

### Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



### Globally averaged greenhouse gas concentrations

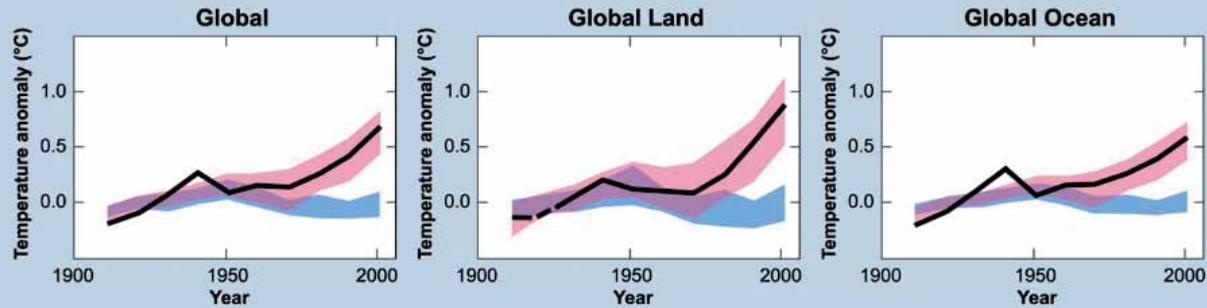
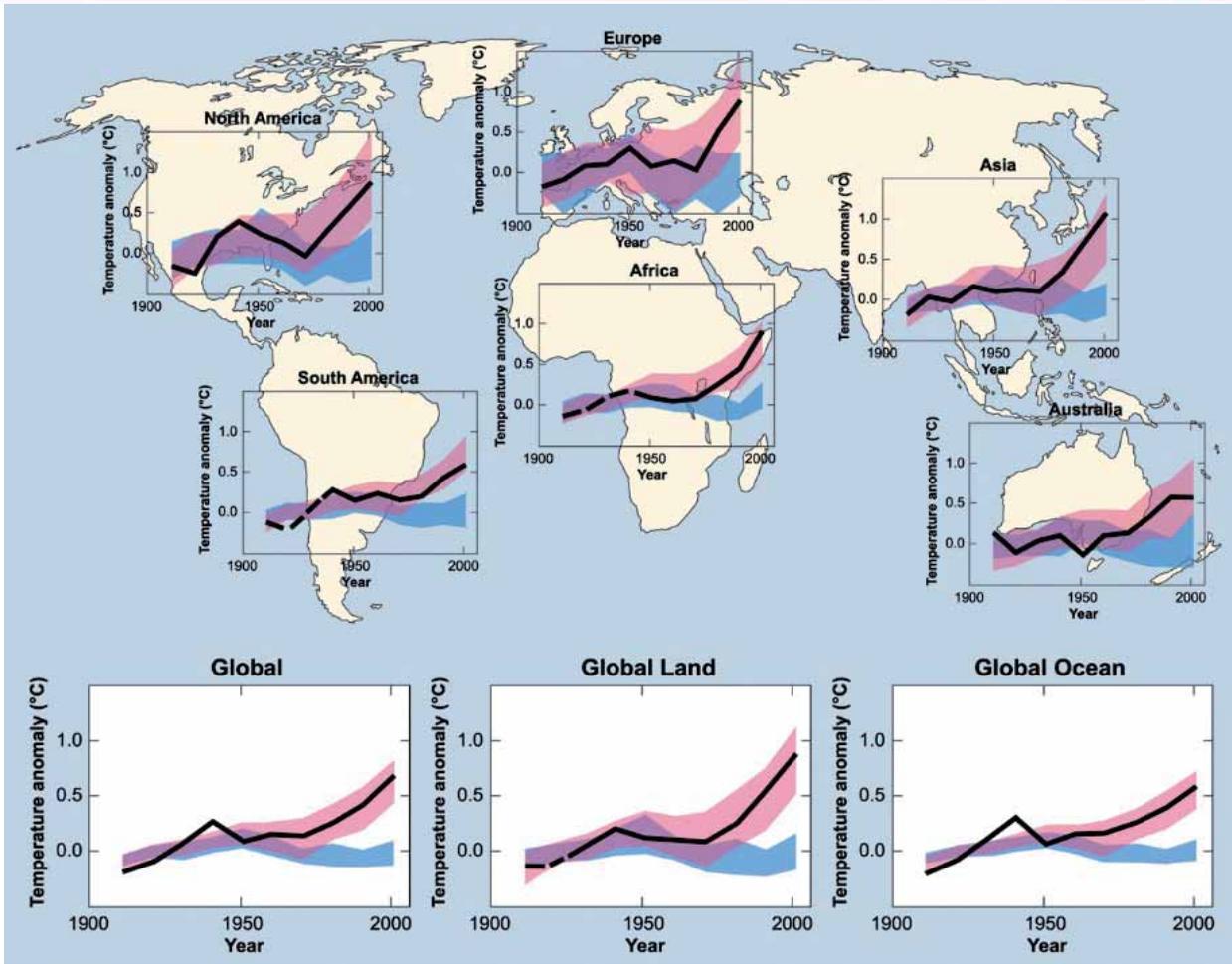


Längste direkte Messreihe CO<sub>2</sub>: Mauna Loa (Hawaii) seit 1958  
CO<sub>2</sub> Konzentration Aug 2020: 414 PPM (parts per million) = 0,04%

# Jahreszyklus CO<sub>2</sub>



# Attribution: Zuordnung der Klimaantriebe



models using only natural forcings      observations      IPCC (2007), AR5  
models using both natural and anthropogenic forcings



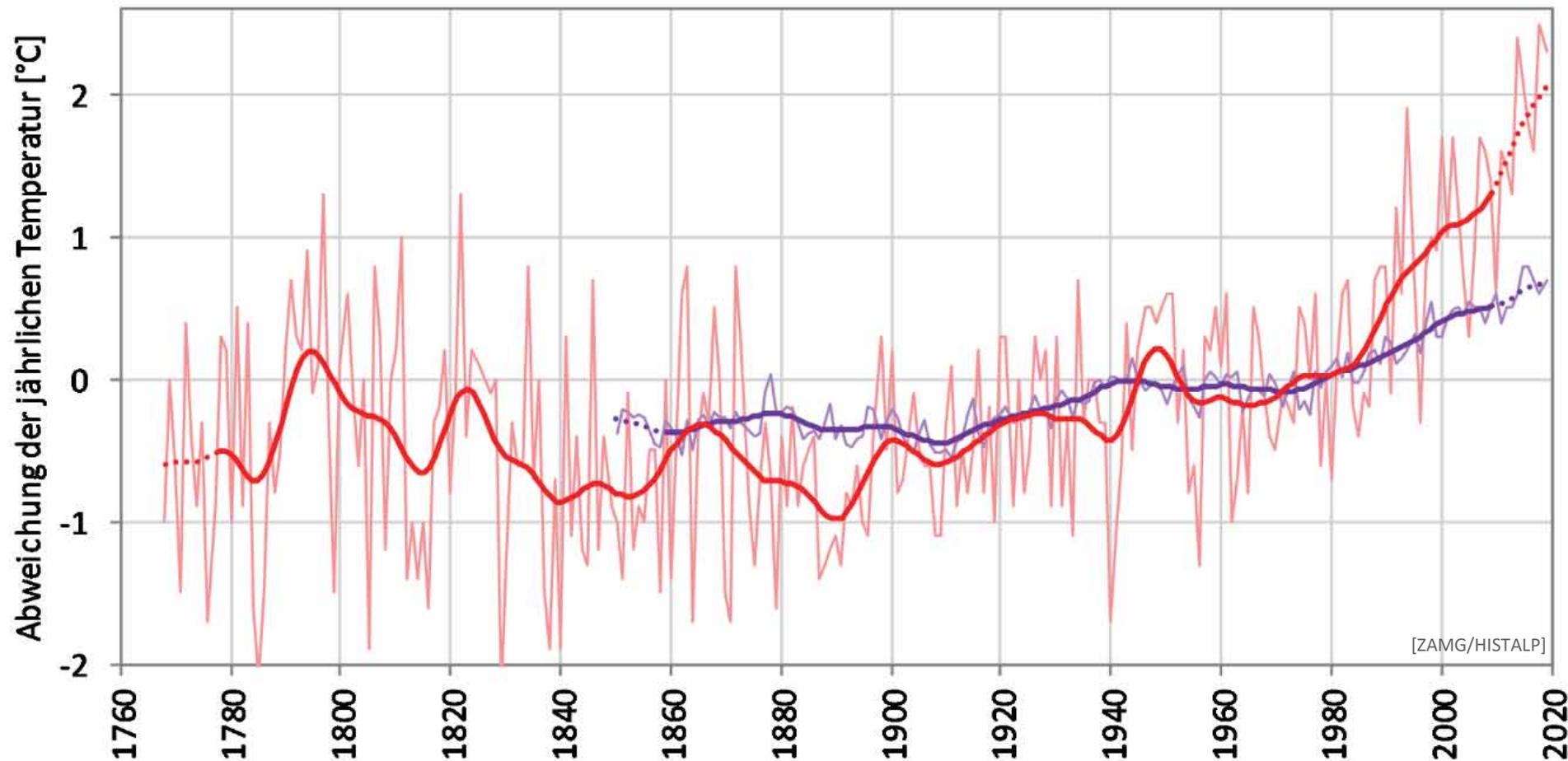
„...extremely probable that more than half of the warming 1950 - 2010 is human Induced (anthropogenic drivers such as GHG's)“  
IPCC, 2014 (5th Assessment report)



Beobachtete Erwärmung (schwarz) nur mit menschlichem Einfluss (rot) erklärbar.

# Direkt gemessene Änderung der Lufttemperatur

Lufttemperatur Österreich und Global 1767-2019 (direkte Messungen)



Österreich  
+1.8°C \*

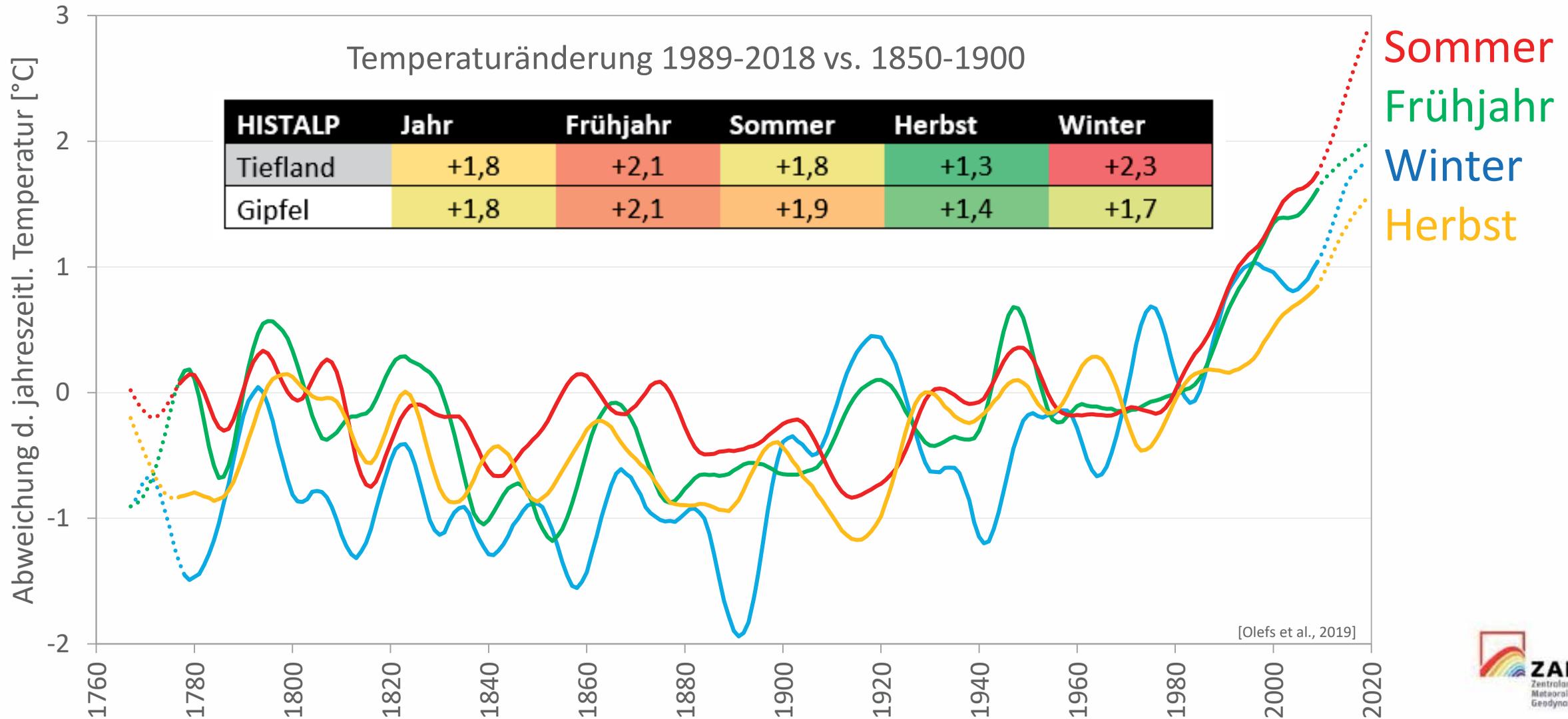
Global  
+0.9°C \*

\*: 1989-2018 vs. 1850-1900



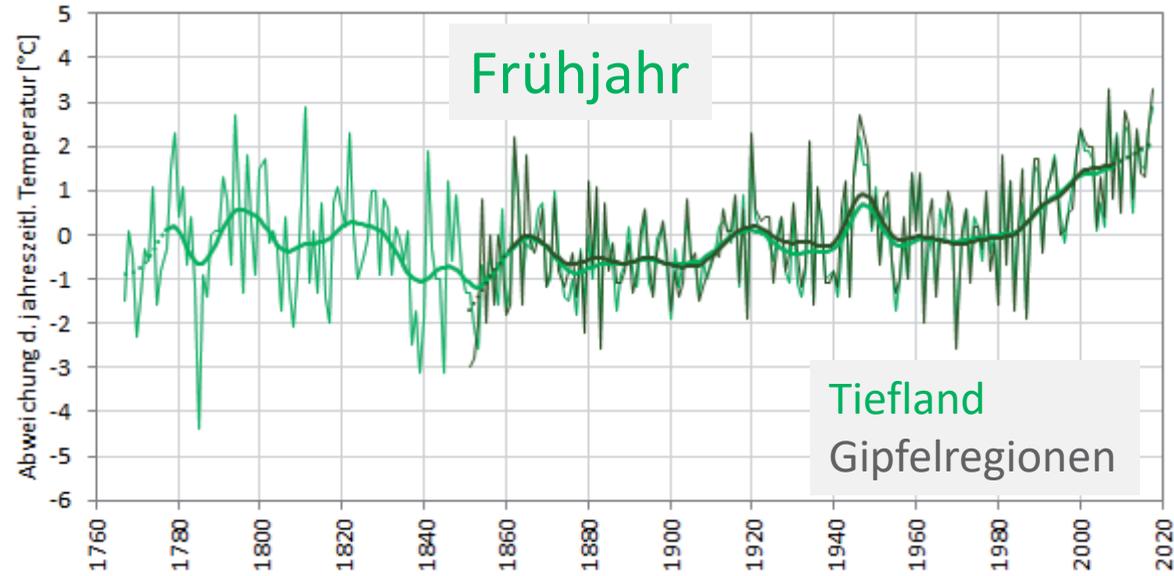
Doppelt so starker Anstieg in Österreich vs. Global  
(Hauptgrund: Landflächen erwärmen sich schneller als Ozeane)

# Saisonale Änderung der Lufttemperatur

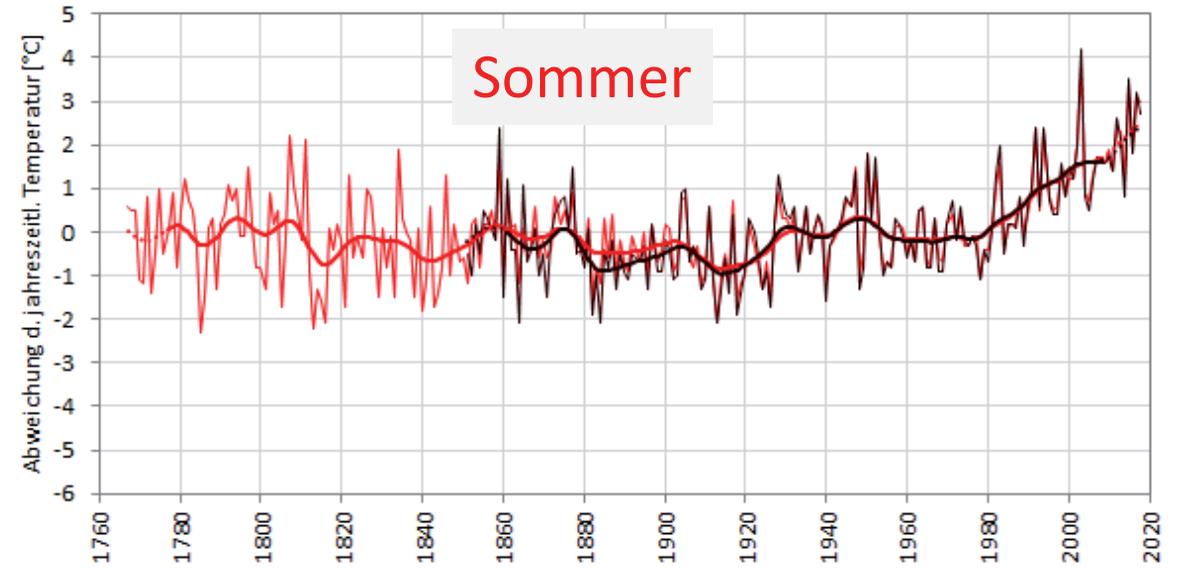


# Saisonale und höhenabhängige Änderung der Lufttemperatur

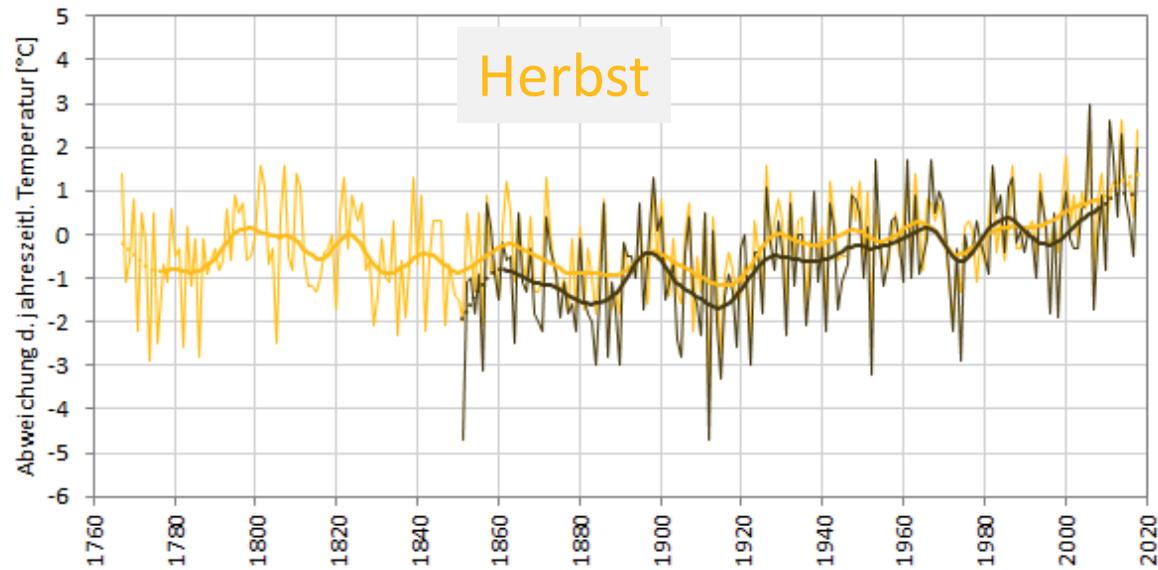
Frühjahr



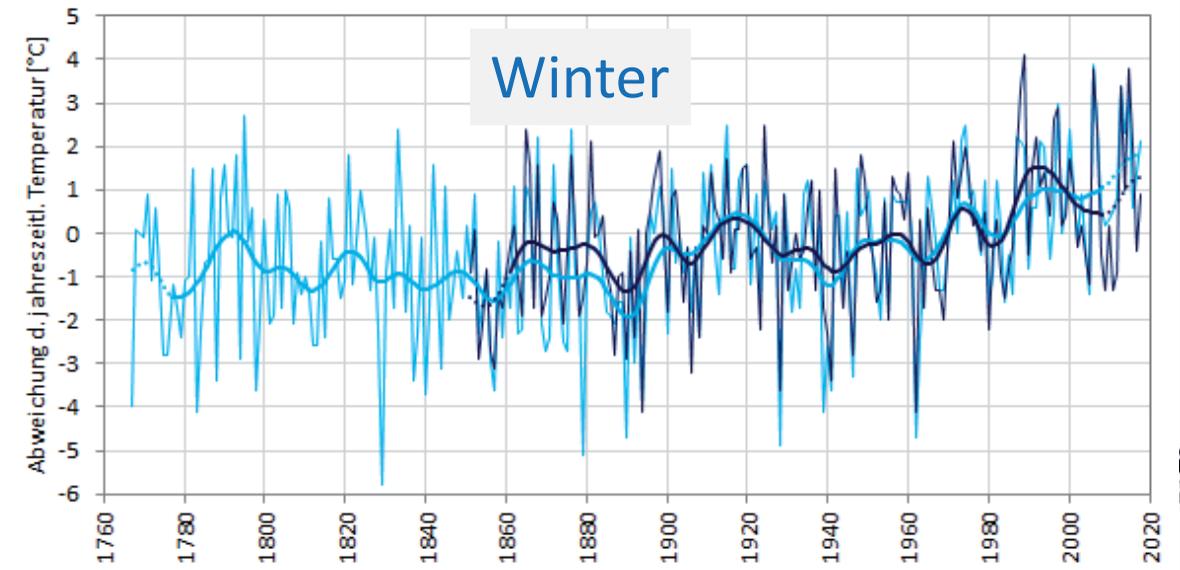
Sommer



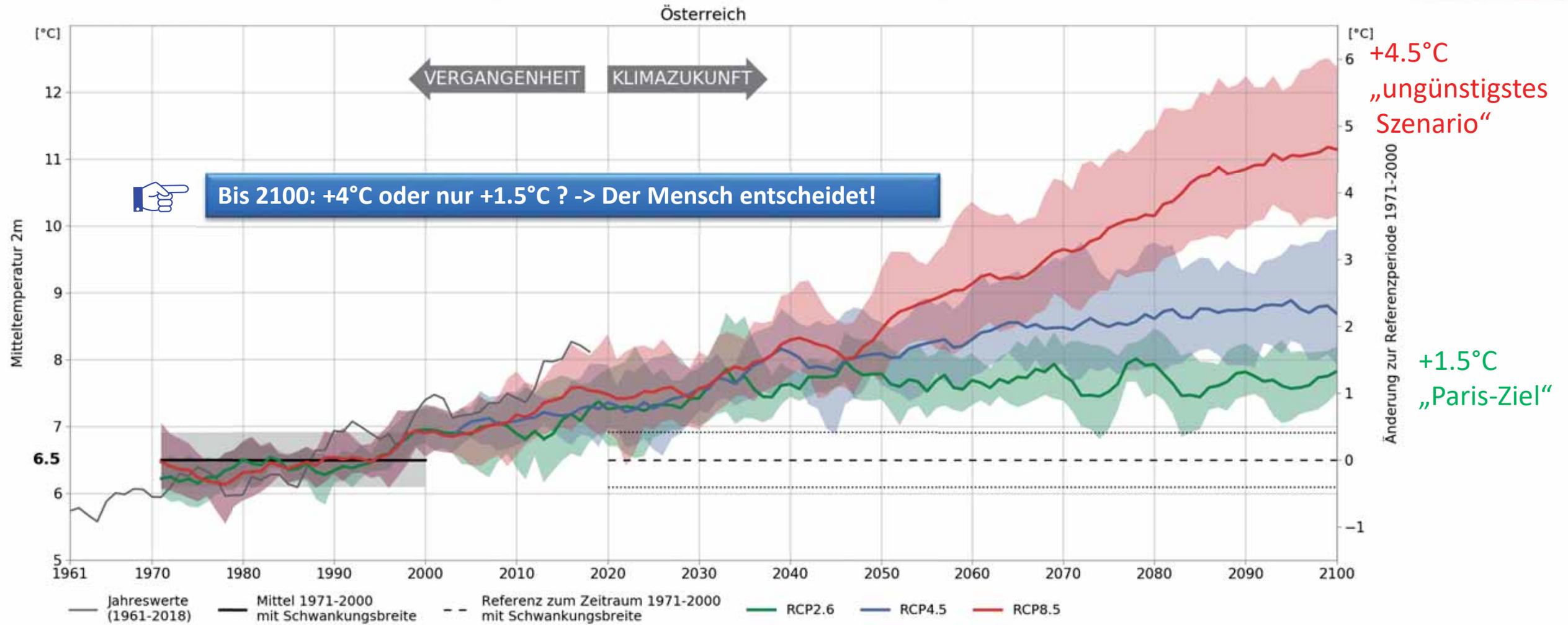
Herbst



Winter

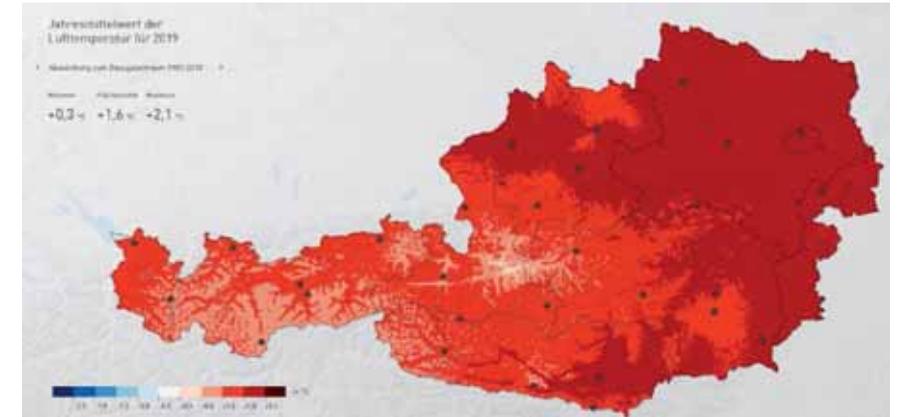


# Temperaturentwicklung Österreich – Vergangenheit und Zukunft



# Temperaturrekorde in Österreich

Lufttemperatur Wien 1775-2019



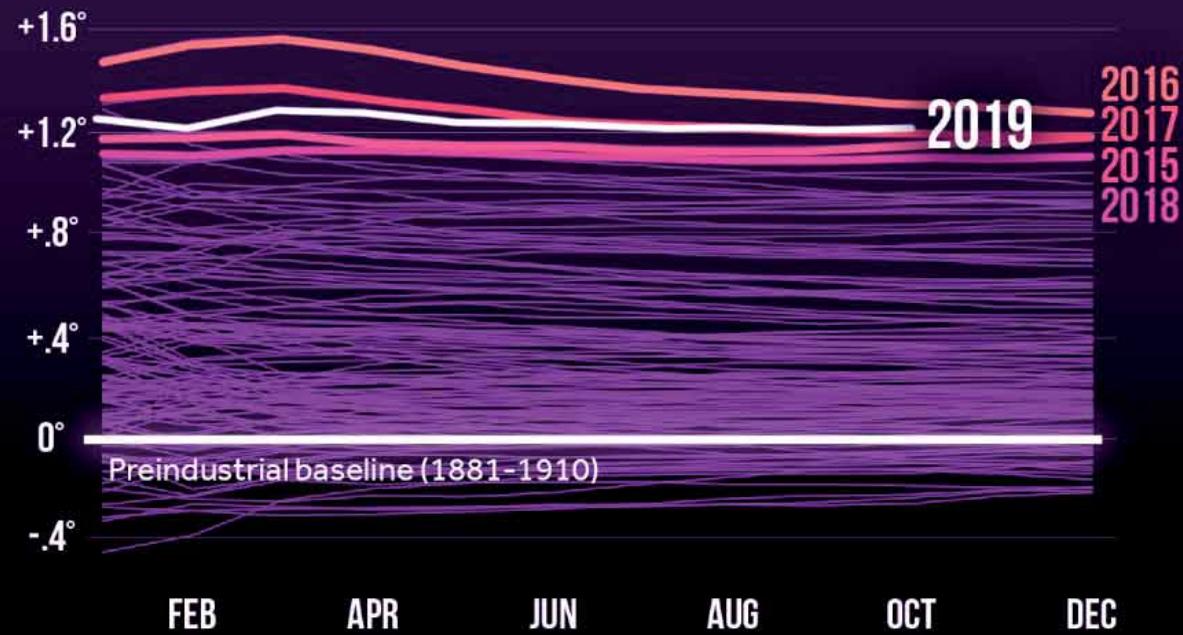
## Fakten aus Österreich

- 2019: drittwärmstes Jahr seit dem Beginn der Messreihe im Jahr 1768 (+1,6°C)
- Unter den 15 wärmsten Jahren der Messgeschichte liegen 14 Jahre seit 1994
- Die 15 wärmsten Jahre der Messgeschichte (HISTALP-Tiefland) sind:  
2018, 2014, 2019, 2015, 1994, 2007, 2016, 2000, 2002, 2008, 2017, 2011, 2012, 2009, 1822



## HOTTEST YEARS

Global Year-to-Date Anomalies (°C) Since 1880



Source: NASA GISS & NOAA NCEI global temperature anomalies averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910). Data as of 11/18/2019

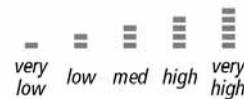
CLIMATE  CENTRAL



## Wichtigste Klimafolgen in Österreich und betroffene Gebiete/Sektoren:

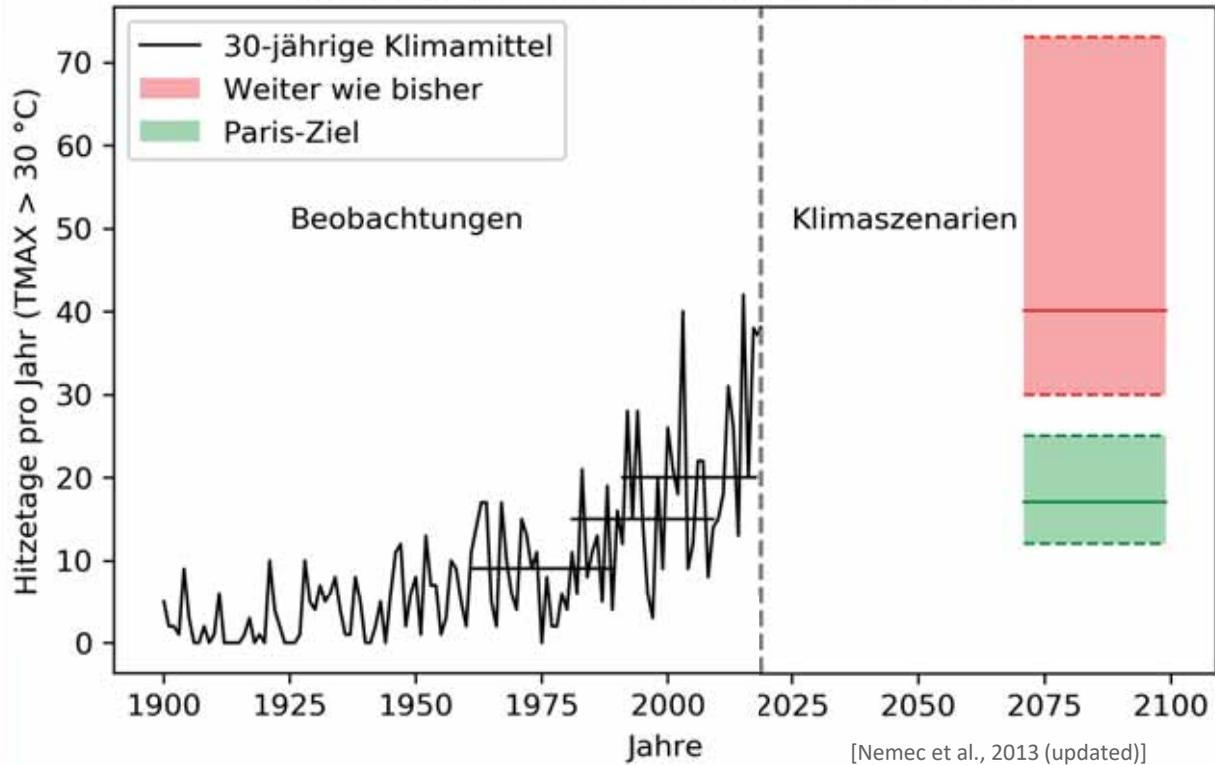
- **Hitze-/Kältebelastung für Menschen nimmt zu/ab** (mehr Heiße Tage und Tropennächte, weniger Frosttage): Flachland, Städte (Hitze), alle Höhenlagen (Frost), Forstwirtschaft (Borkenkäfer, Baumarten), Gesundheit (Hitze, Stechmücken)
- **Kryosphäre nimmt langfristig ab** (Schnee, Permafrost, Gletscher): Tourismus, Alpinismus
- **Trockenheit/Dürre nimmt zu** (hauptsächlich durch erhöhte Verdunstung im Sommer): ins Besondere Flachland, Land- und Forstwirtschaft/Energieerzeugung/Transportwesen
- **Höheres Potential für lokale Starkniederschläge/Gewitter/Hagel/Sturmböen** (Transportwesen, Infrastruktur)
- **Naturgefahren:** höhere Waldbrandgefahr, höheres Potential Hangrutschungen/Muren
- Anzeichen für **erhöhte Persistenz** (Andauer) von Wetterlagen im Sommer (extremere Ereignisse)

level of confidence  
„Belastbarkeit“



# Auswirkungen: Hitze

Hitzetage Wien Hohe Warte 1900 - 2100



## Hitze-Mortalitätsmonitoring der AGES

Schätzung der Hitze-assoziierten Übersterblichkeit inklusive 95% Konfidenzintervall, Österreich, Sommerperioden, 2013-2019

Sommer	Hitze-assoziierte Übersterblichkeit	95% Konfidenzintervall (KI)
2013*	895	773; 1017
2014*	134	33; 234
2015*	1122	961; 1283
2016*	0	-46; 46
2017*	586	343; 830
2018*	766	583; 949
2019**	198	-41; 438

\* Temperaturdaten von 32 Messstationen, die den 40 größten Ortschaften zugeordnet wurden

\*\* Temperaturdaten von 181 Messstationen im gesamten Bundesgebiet

[www.ages.at]



- Mehr, längere und heißere Hitzewellen
- Wärmere Nächte

Klimarisiko mit größter Gesundheitsauswirkung (Sterblichkeit, Produktivität, Wohlbefinden) [SR Health, Haas et al., 2018]

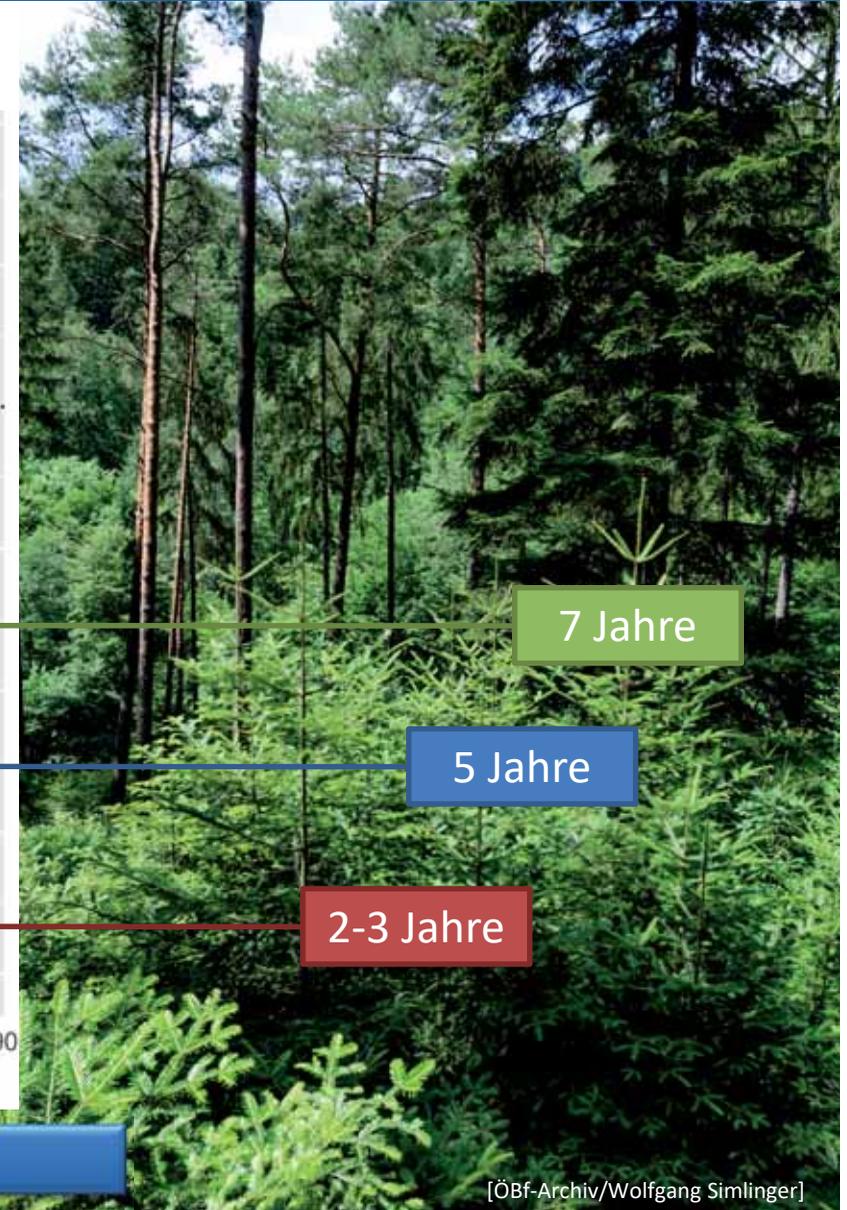
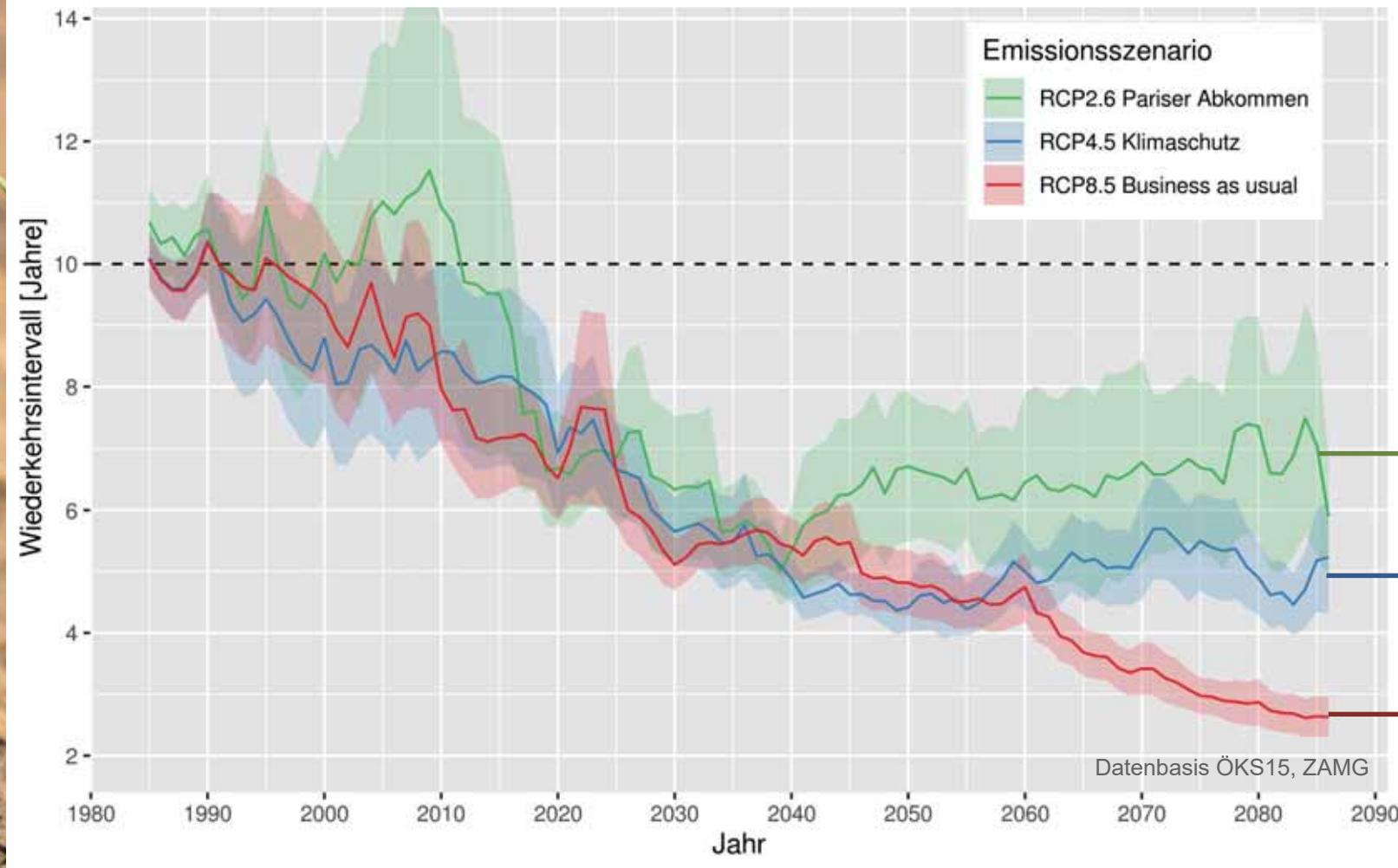
Ohne Klimaschutz wird ein Sommer wie 2018/19 am Ende des Jahrhunderts zu einem mittleren Sommer.



# Auswirkungen: Dürre/Trockenheit

## Zukünftige Jährlichkeiten von sommerlichen Trockenereignissen

Referenz: 10-jähriges Ereignis in der Periode 1971-2000, Region: Weinviertel

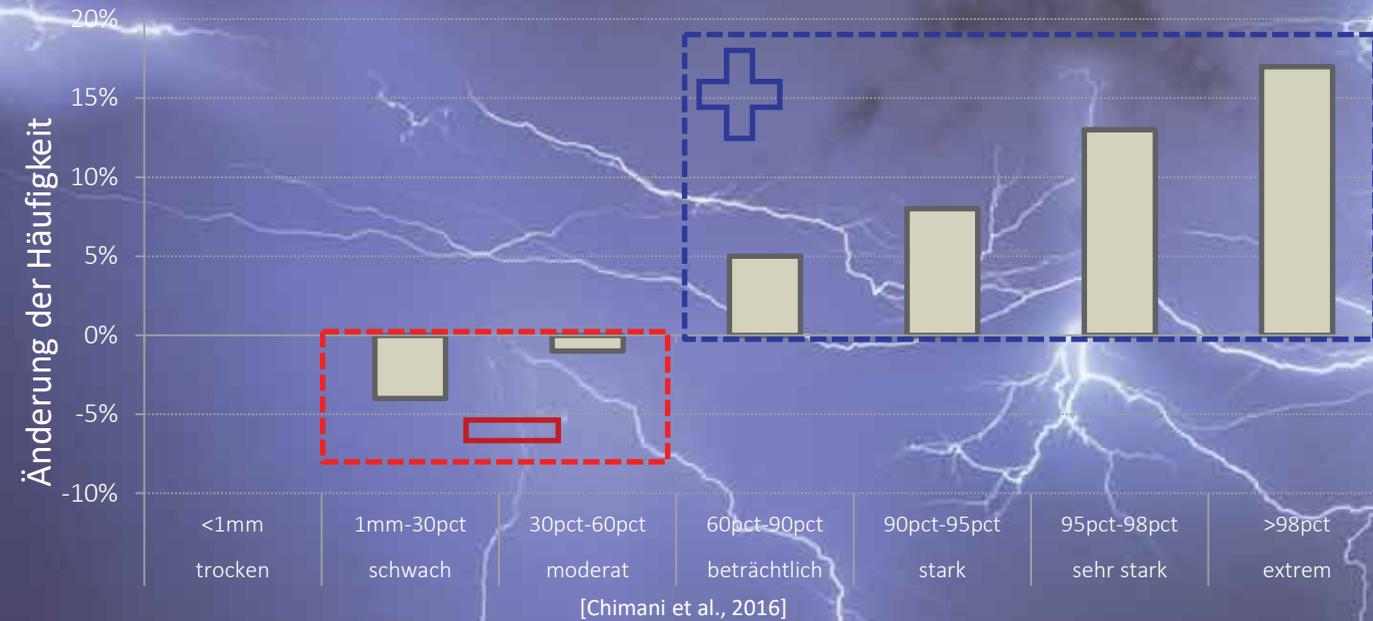


Erwärmung treibt die Verdunstung an, Bodenfeuchte nimmt ab.

[ÖBf-Archiv/Wolfgang Simlinger]

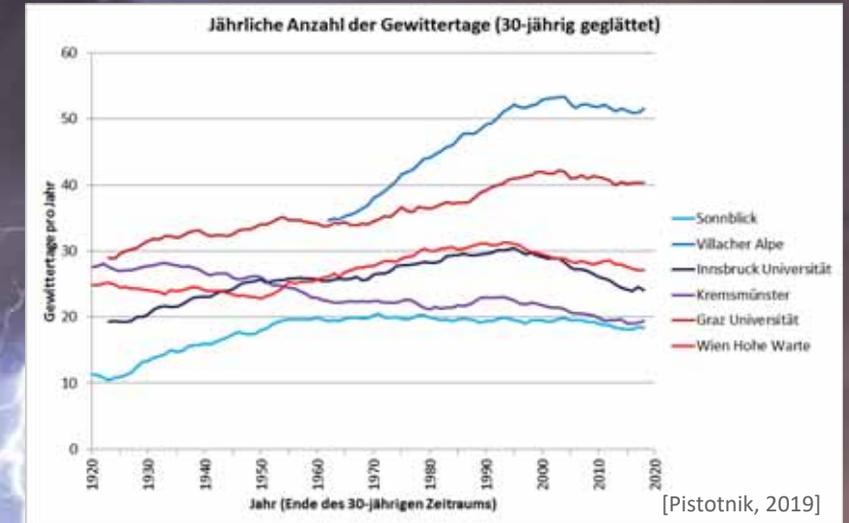
# Auswirkungen: flächige Starkregen und kleinräumige Unwetter

Die Niederschlags-Charakteristik hat sich in den letzten 30 Jahren in Österreich verändert



Schwache bis Moderate Tagesniederschlagssummen

Beträchtliche bis Extreme Tagesniederschlagssummen



## Beobachtete Gewittertage (1920-2018)

- Tendenziell leichte Zunahme
- Aber Schwankungen und keine einheitlichen Signale



Deutliche Zunahme kleinräumiger Unwetter in 2. Hälfte Jahrhundert ohne Klimaschutz

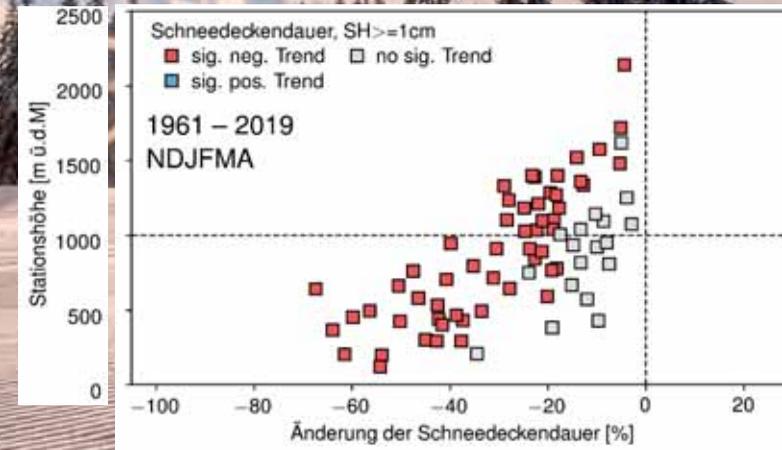
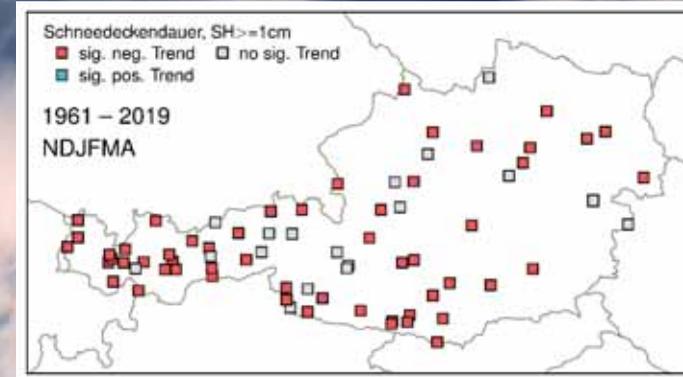
# Auswirkungen: Kryosphäre (Schnee, Gletscher, Permafrost)

## Österreichs größter Gletscher: Die Pasterze



Die österr. Gletscher haben 56% ihrer Fläche seit 1850 verloren.

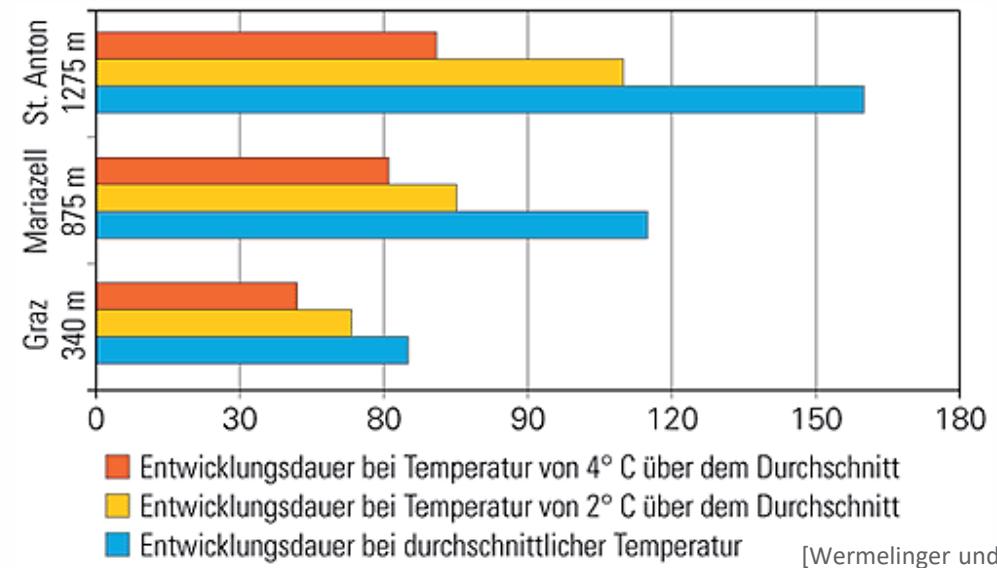
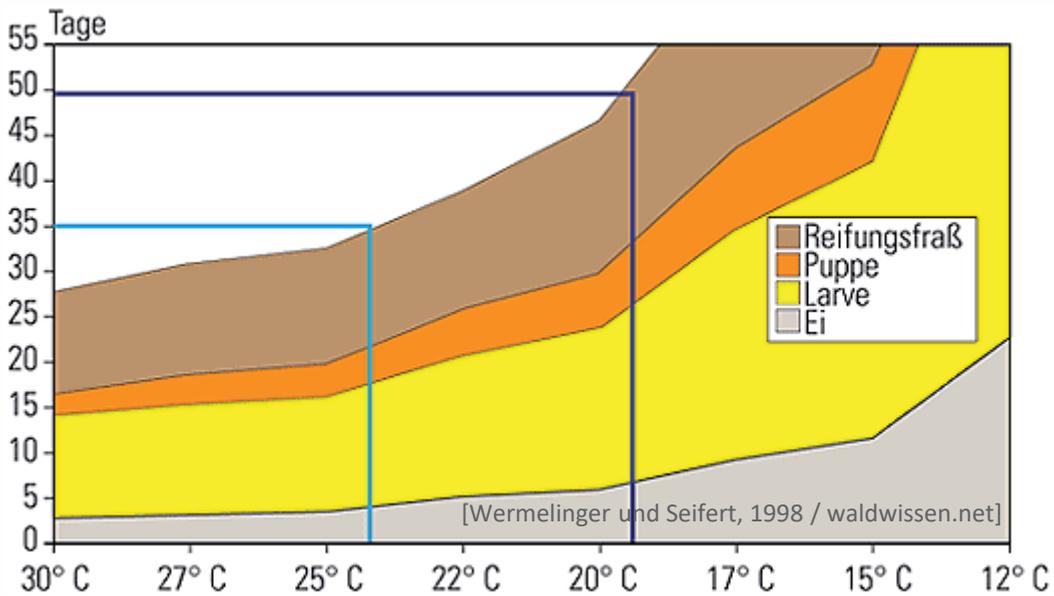
## Die Schneedecke nimmt ab



[Olthoff et al., 2019]

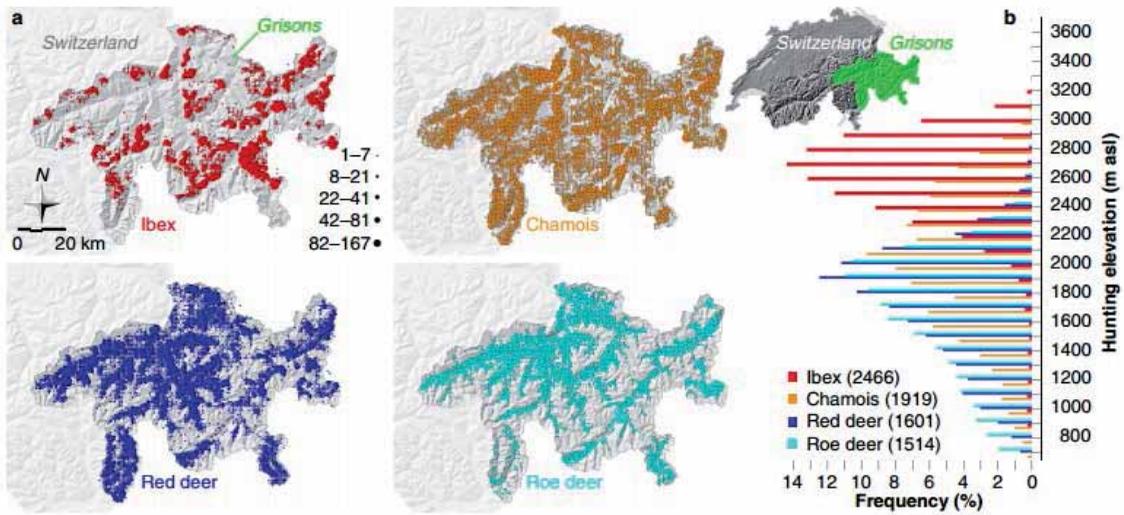
Schneedeckendauer 1961-2019: -20 bis -60 %  
(unterhalb 1000 m a.s.l.)

# Auswirkungen: Wald / Forstwirtschaft



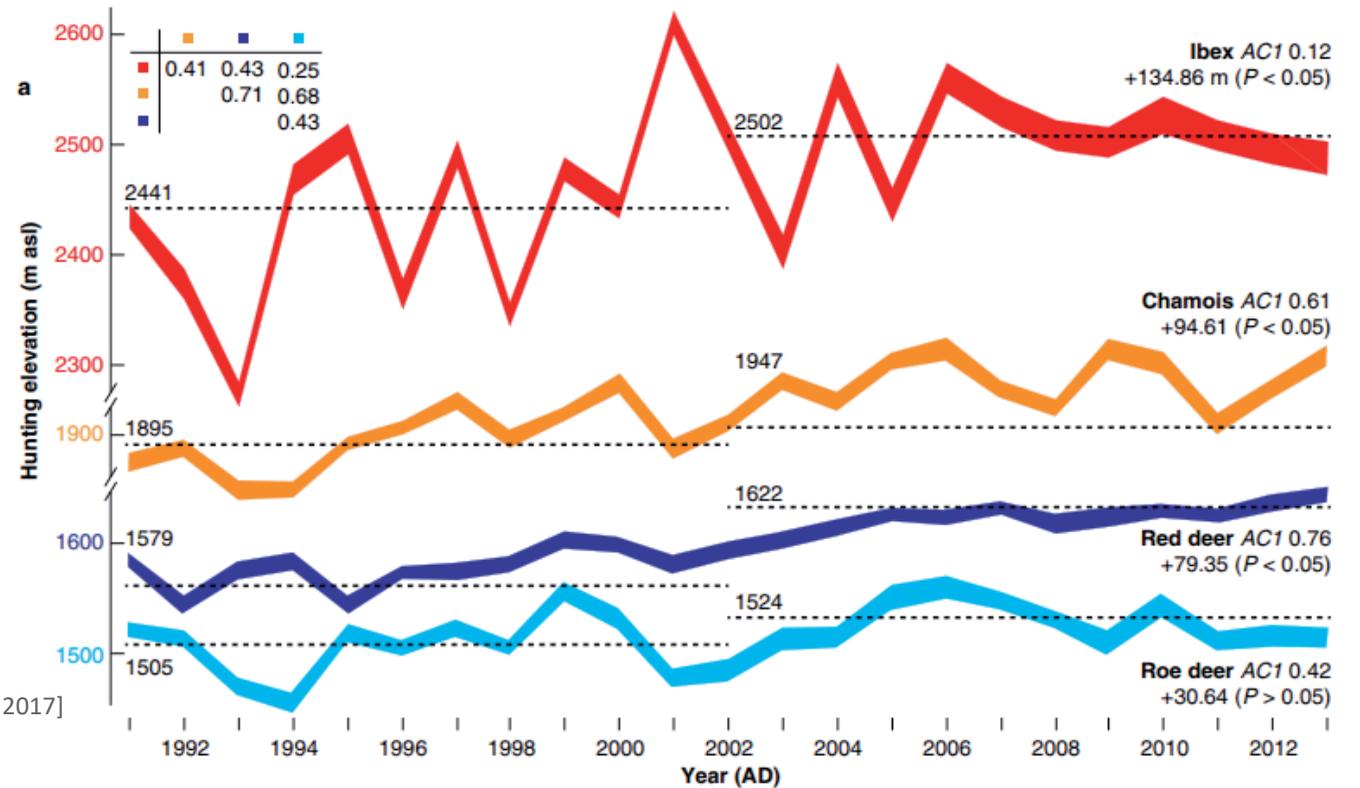
## „Höhenwanderung“ der Berghufterarten

Kanton Grisons (CH), 230 000 Abschüsse, 1991-2013



[Büntgen et al., 2017]

## Entwicklung Jagdhöhe



Klimaerwärmung -> weniger Schnee -> Mehr Vegetation und Futter -> Vorkommen in höheren Lagen -> höherer Abschussort

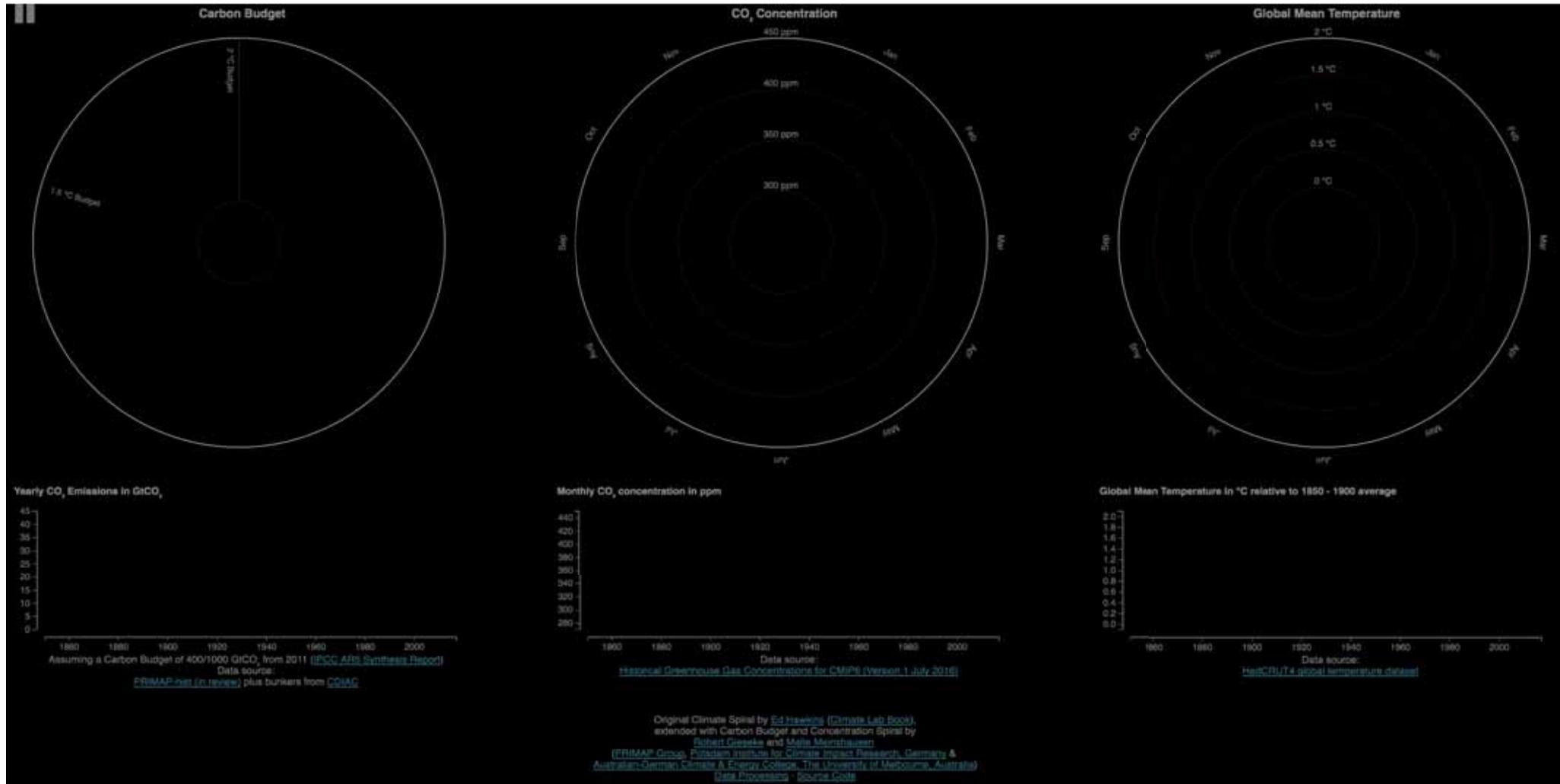
# CO2 Emissionen und Temperatur: Wie viel Zeit haben wir noch?



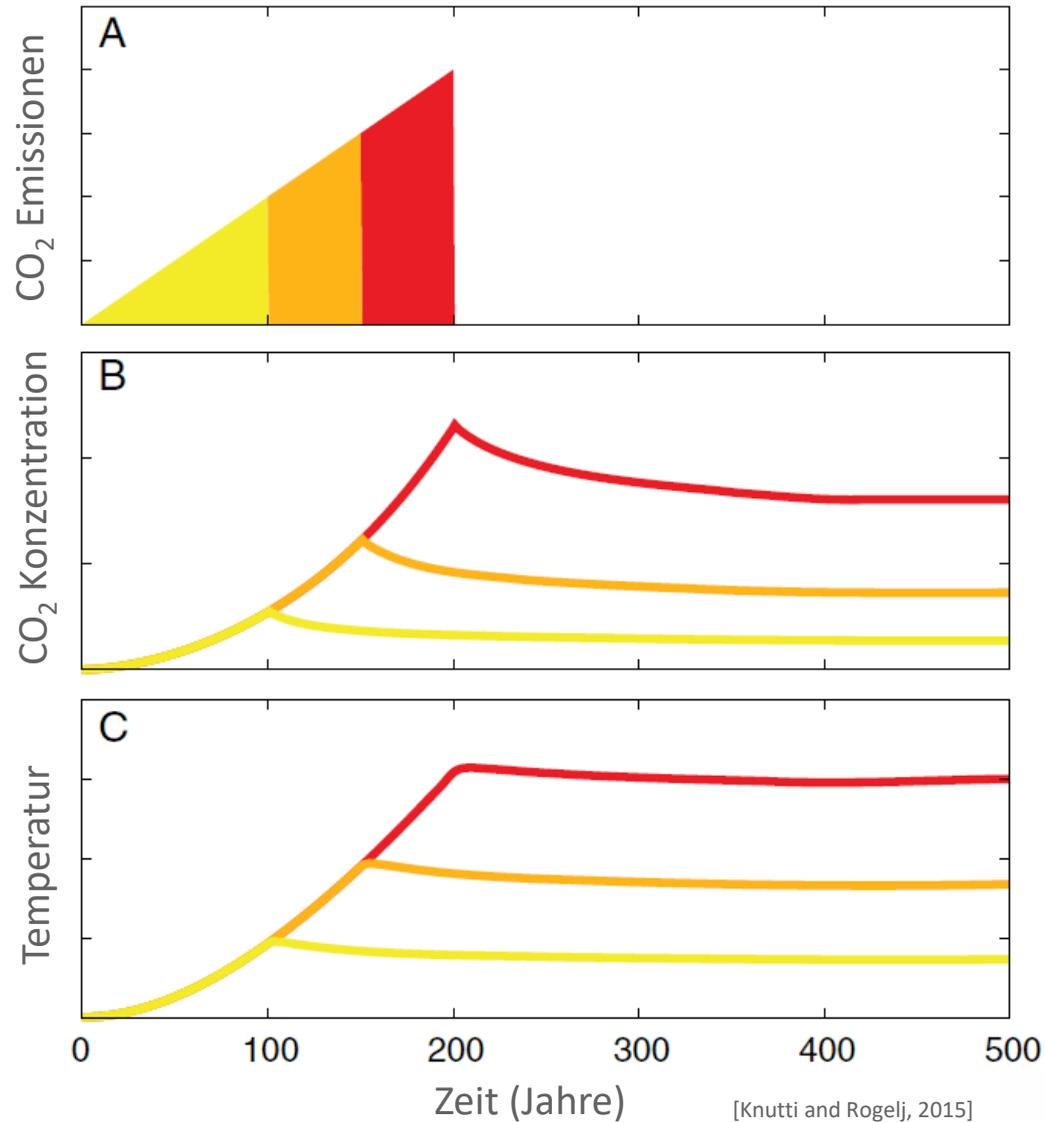
## CO2 Budget

## CO2 Konzentration

## Temperatur global



**1.5°C Ziel: Globales Restbudget von 570 GtCO<sub>2</sub>, 14 Jahre Zeit (bei derzeitigen Emissionen)**



## Bandbreite Verweildauern Atmosphäre:

Aerosolpartikel: Wochen

Hexafluorethan (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>): Tausende von Jahren

CO<sub>2</sub>: ca. 500 Jahre

Sofortiger Stop aller CO<sub>2</sub> Emissionen: Temperatur bliebe für hunderte Jahre konstant.

Anstieg des Meeresspiegels hält mehrere Jahrtausende an.

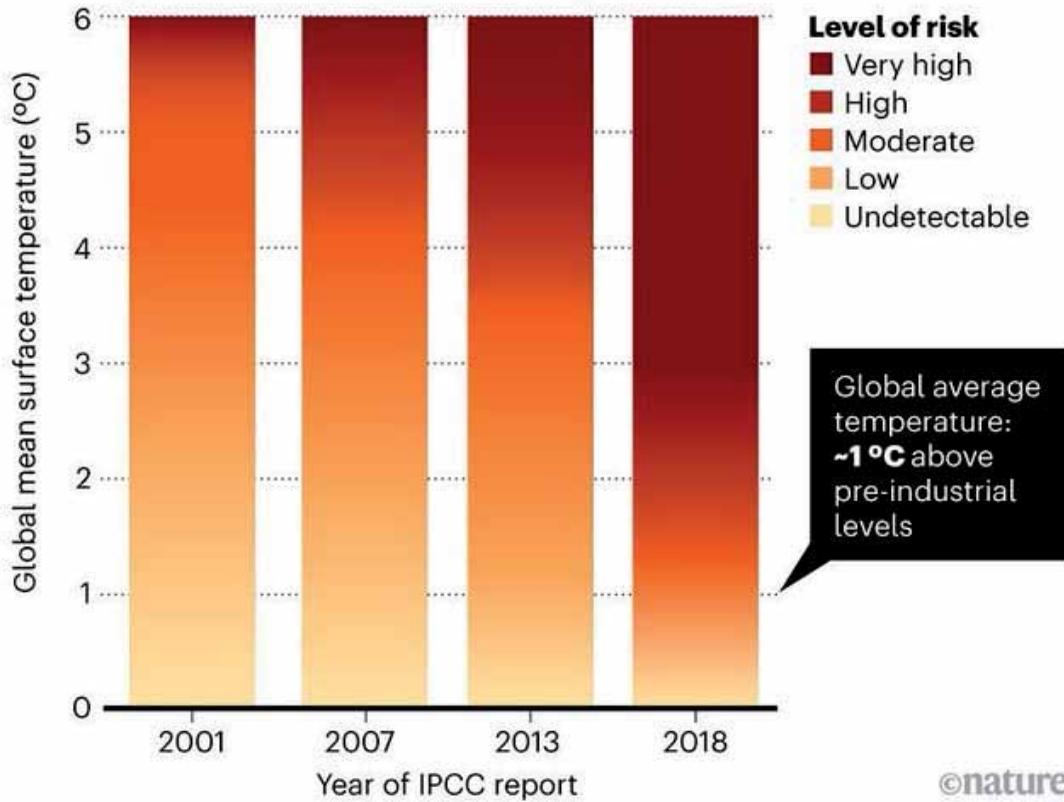


**Globale Erwärmung ist irreversibel (auf Zeitskala der Menschheit) aber weitere Erwärmung ist vor allem durch weitere zukünftige Emissionen bestimmt**

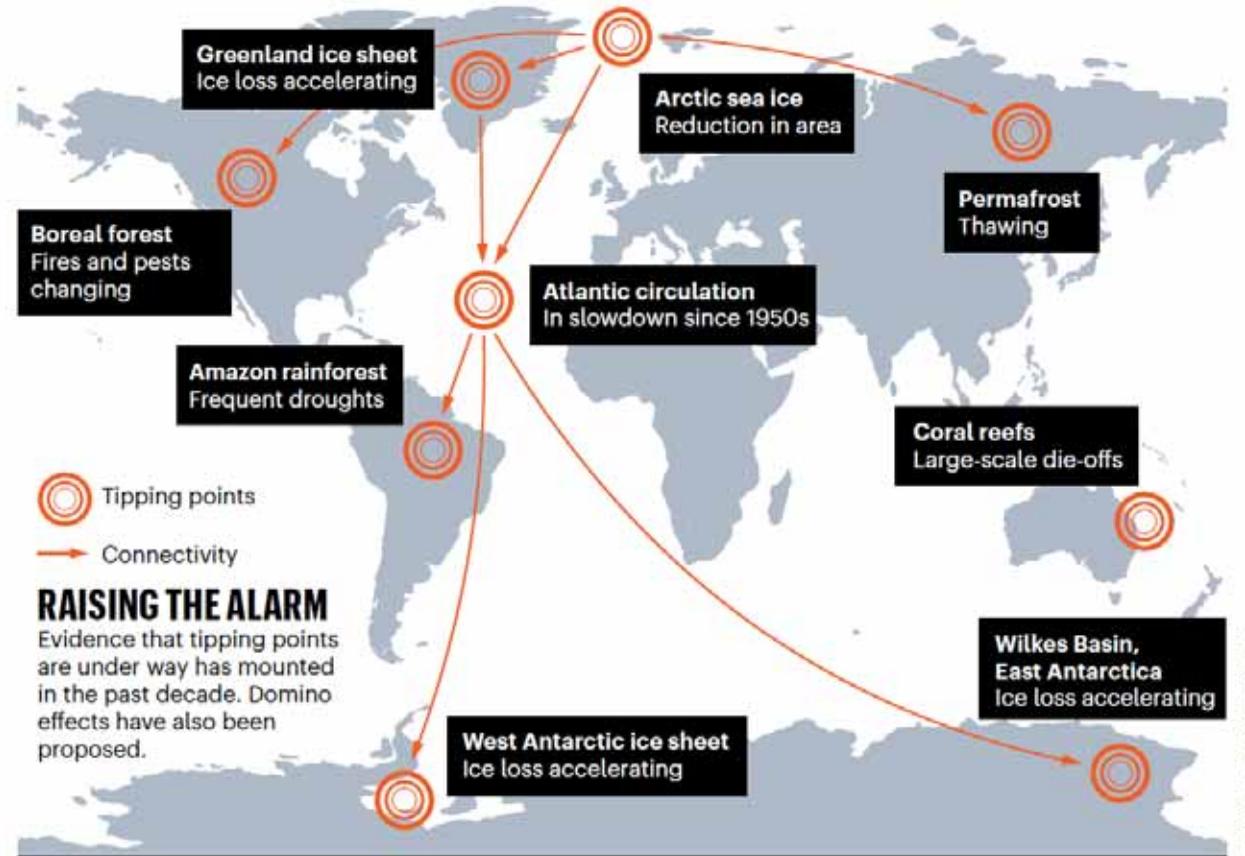
# Kipp-Punkte im Klimasystem

## TOO CLOSE FOR COMFORT

Abrupt and irreversible changes in the climate system have become a higher risk at lower global average temperatures.



Source: IPCC



[Lenton et al., 2019; NATURE]

### FAKT 1

Die Menschheit ist zu DEM Klimaantrieb geworden.  
Irrelevant wo und wann CO2 global emittiert wird, die kumulativen Emissionen bestimmen die Erwärmung

### FAKT 2

Die globale Erwärmung ist irreversible (auf menschlichen Zeitskalen) aber der weitere Grad der Erwärmung ist hauptsächlich durch die weiteren Emissionen bestimmt

### FAKT 3

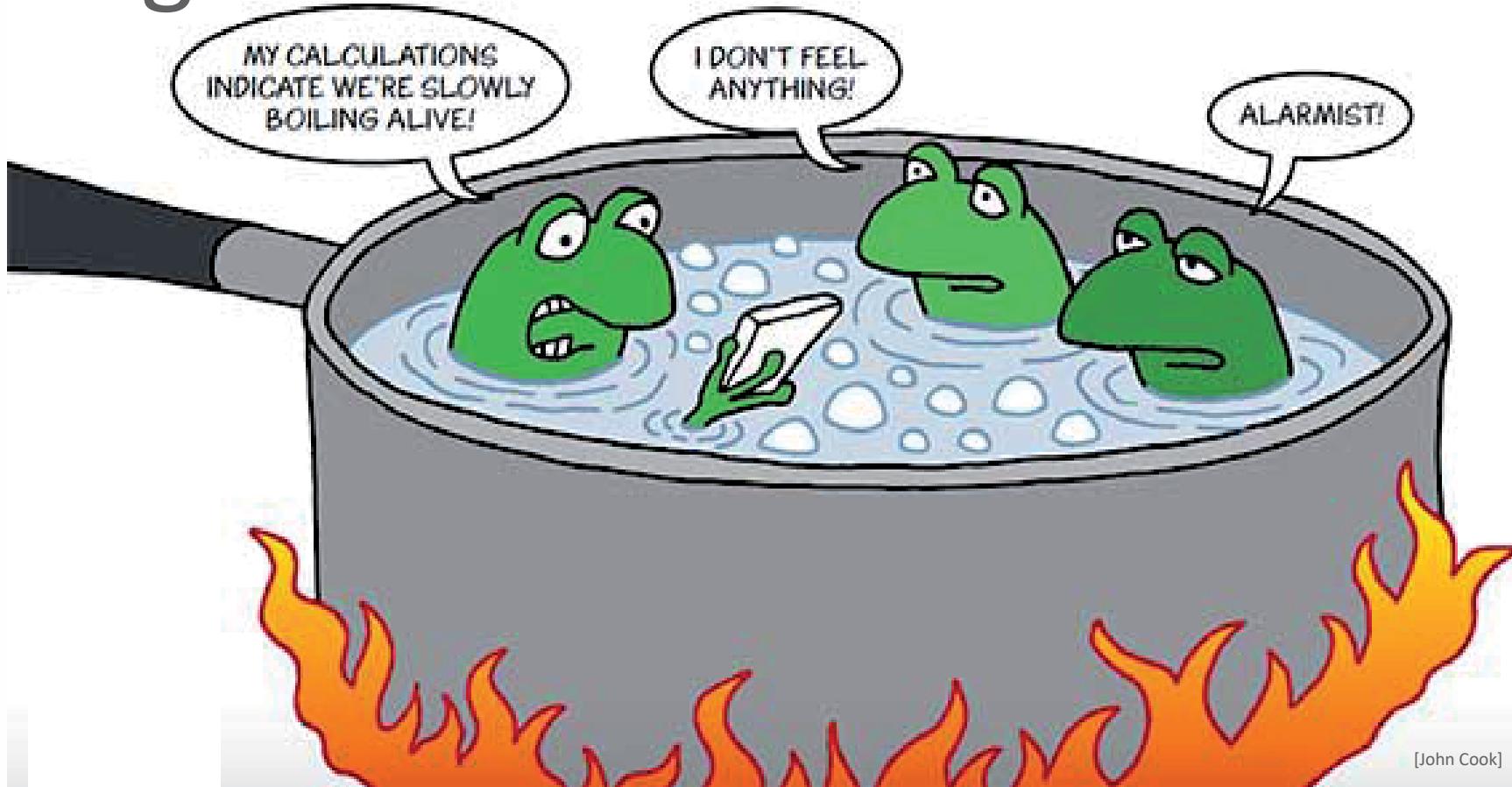
Weitreichende Auswirkungen der menschengemachten Erwärmung sind in vielen Sektoren bereits nachweisbar und führen zu zusätzlicher Gefährdung und steigenden Kosten.

### FAKT 4

Das Ausmaß dieser Klimarisiken (ins Besondere nach 2050) kann durch menschliches Handeln (globaler und rascher Klimaschutz & Anpassung) **massiv** reduziert werden.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

# Fragen?



[marc.olefs@zamg.ac.at](mailto:marc.olefs@zamg.ac.at)

*" Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible. "*

– Antoine de Saint Exupéry, *Citadelle*, 1948

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

## Literatur

### Weiterführend

Informationsportal Klimawandel (ZAMG): <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel>

Aktuelles Klima Österreich (ZAMG): <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell>

Seriöse wissenschaftliche und verständliche Betrachtung des Klimawandels: <https://skepticalscience.com/>

IPCC 1.5° Sonderbericht: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (Englisch)  
[Zusammenfassung für Entscheidungstragende](#) (Deutsch)  
[Zusammenfassung für Lehrerinnen und Lehrer](#) (Deutsch)

### In Präsentation zitiert (sortiert nach Folien)

Saltzman B. (2002): *Dynamical paleoclimatology. Generalized theory of global climate change*. San Diego: Harcourt-Academic Press, 354 Seiten, [ISBN 0126173311](#)

Blakey R.: Library of paleogeography. <http://deeptimemaps.com/global-map-series/>, abgerufen am 13.09.2019

Buntgen, U., L. Greuter, K. Bollmann, H. Jenny, A. Liebold, J. D. Galván, N. C. Stenseth, C. Andrew, and A. Myserud. 2017. Elevational range shifts in four mountain ungulate species from the Swiss Alps. *Ecosphere* 8(4):e01761. [10.1002/ecs2.1761](https://doi.org/10.1002/ecs2.1761)

McKirdy A., Gordon J. und Crofts R. (2007): *Land of mountain and flood. The geology and landforms of Scotland*. Edinburgh: Birlinn, 320 Seiten, [ISBN 9781841586267](#)

Lüthi, D., M. Le Floch, B. Bereiter, T. Blunier, J.-M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, et al. 2008. "High-Resolution Carbon Dioxide Concentration Record 650,000–800,000 Years before Present." *Nature* 453 (7193): 379–82. <https://doi.org/10.1038/nature06949>.

Jouzel, J., V. Masson-Delmotte, O. Cattani, G. Dreyfus, S. Falourd, G. Hoffmann, B. Minster, et al. 2007. "Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years." *Science* 317 (5839): 793. <https://doi.org/10.1126/science.1141038>.

Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K., Datsenko N.M., Karlén W. (2005): Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature* 433, 613–617, [\(PDF-Datei; 0,8 MB\)](#)

Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. (2006): Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes. A new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111, [doi:10.1029/2005JD006548](https://doi.org/10.1029/2005JD006548)

Büntgen U., Frank D.C., Nievergelt D., Esper J. (2006): Summer temperature variations in the European Alps, AD 755–2004. *Journal of Climate* 19, 5606–5623, [doi:10.1175/JCLI3917.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3917.1)

Böhm R., Jones P.D., Hiebl J., Frank D., Brunetti M., Maugeri M. (2010): The early instrumental warm-bias. A solution for long central European temperature series 1760–2007. *Climatic Change* 101, 41–67, [\(PDF-Datei; 1,2 MB\)](#)

Zorita E., von Storch H., Gonz-alez-Rouco F.J., Cubasch U., Luterbacher J., Legutke S., Fischer-Bruns I., Schlese U. (2004): Climate evolution in the last five centuries simulated by an atmosphere-ocean model. Global temperatures, the North Atlantic Oscillation and the Late Maunder Minimum. *Meteorologische Zeitschrift* 13, 271–289,

[doi:10.1127/0941-2948/2004/0013-0271](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2004/0013-0271)

Rogelj, Joeri, Alexander Popp, Katherine V. Calvin, Gunnar Luderer, Johannes Emmerling, David Gernaat, Shinichiro Fujimori, et al. 2018. "Scenarios towards Limiting Global Mean Temperature Increase below 1.5 °C." *Nature Climate Change* 8 (4): 325–32. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3>.

Nemec, J., Gruber, C., Chimani, B. and Auer, I. (2013), Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset. *Int. J. Climatol.*, 33: 1538-1550. [doi:10.1002/joc.3532](https://doi.org/10.1002/joc.3532)

Haslinger, Klaus, Wolfgang Schöner, and Ivonne Anders. 2016. "Future Drought Probabilities in the Greater Alpine Region Based on COSMO-CLM Experiments – Spatial Patterns and Driving Forces." *Meteorologische Zeitschrift* 25 (2): 137–48. <https://doi.org/10.1127/metz/2015/0604>.

Chimani, Barbara, Georg Heinrich, Michael Hofstätter, Markus Kerschbaumer, Stefan Kienberger, Armin Leuprecht, A. Lexer, et al. 2016. "Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien Für Österreich - Daten - Methoden - Klimaanalyse. Projektbericht." *CCCA Data Centre*. <https://data.ccca.ac.at/dataset/a4ec86ca-3eeae-4457-b0c7-78eed6b71c05>.

Olefs, M., Koch, R., Gobiet, A., 2019, Klima und Schnee in Österreich – Beobachtete Vergangenheit und erwartete Zukunft, Fachzeitschrift FdSnow, Heft 53, ISSN 1864-5593 53.

Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., Auer, I., 2017: The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. *Meteorol Z* 26, 115-125.

Knutti, Reto, Maria A. A. Rugenstein, and Gabriele C. Hegerl. 2017. "Beyond Equilibrium Climate Sensitivity." *Nature Geoscience* 10 (September): 727.

Knutti, R. & Rogelj, J. *Climatic Change* (2015) 133: 361. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1340-3>

Gobiet, A., K. Ulreich, M. Hofstätter, A. Podesser, M. Olefs, J. Vergeiner, and G. Zenkl, 2017: Langfristige 43 Entwicklung Hochalpinen Wintertemperaturen. ZAMG-Newsletter 44 ([https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok\\_news/2017/gobiet\\_et\\_al-2017-45\\_hochalpinewintertemperaturen/at\\_download/file](https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_news/2017/gobiet_et_al-2017-45_hochalpinewintertemperaturen/at_download/file)).

WERMELINGER, B., SEIFERT, M., 1998: Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 122(4):185-191.



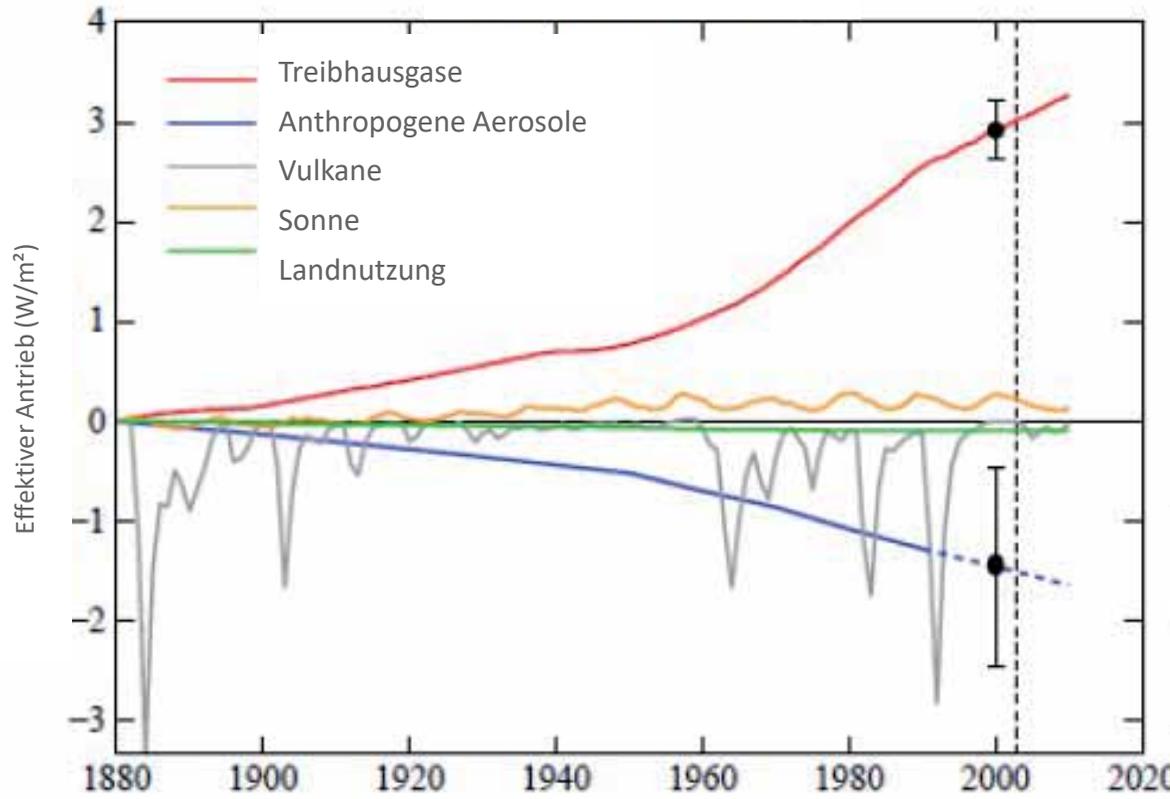
# BACKUP SLIDES



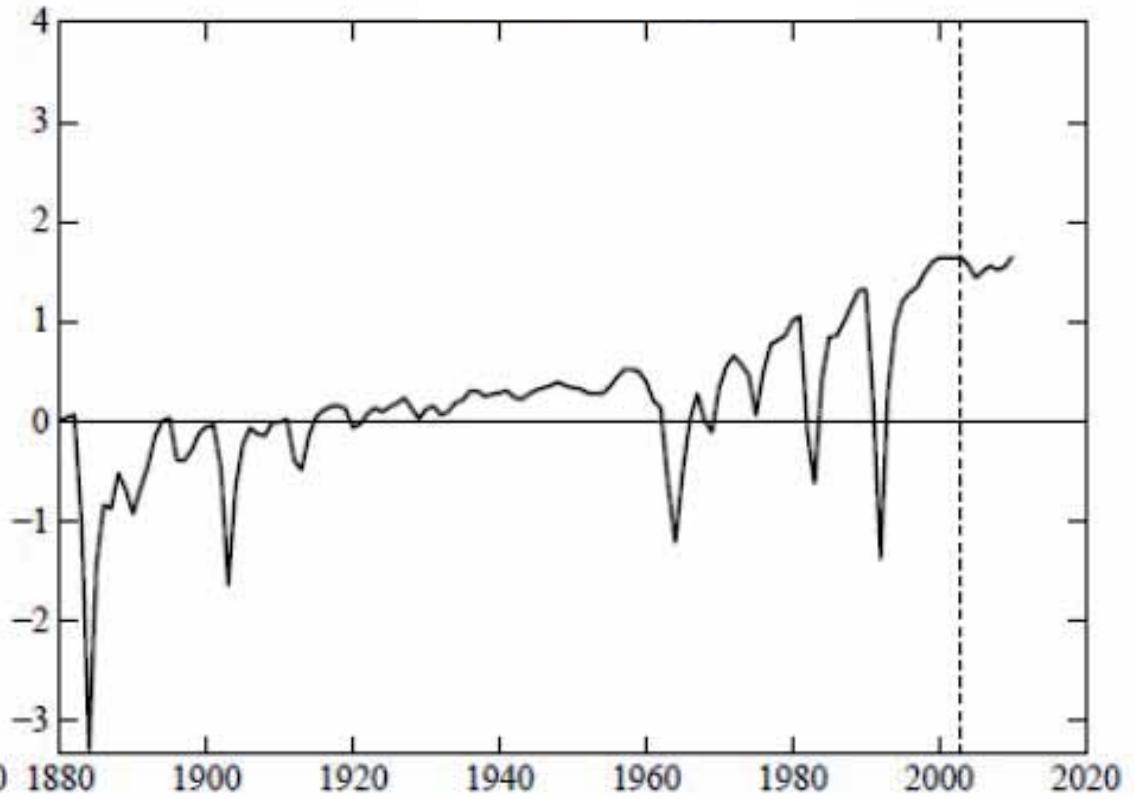
# Attribution



a) Strahlungs-Antrieb



b) Netto-Antrieb



(Hansen et al. 2007)



## **„Das Klima hat sich schon immer verändert“**

Ja, aber auf den Grund (Antrieb) kommt es an! ...und ob sich Mensch und Natur (schnell genug) anpassen können.

## **„0.04% CO<sub>2</sub> können nicht das Weltklima beeinflussen“**

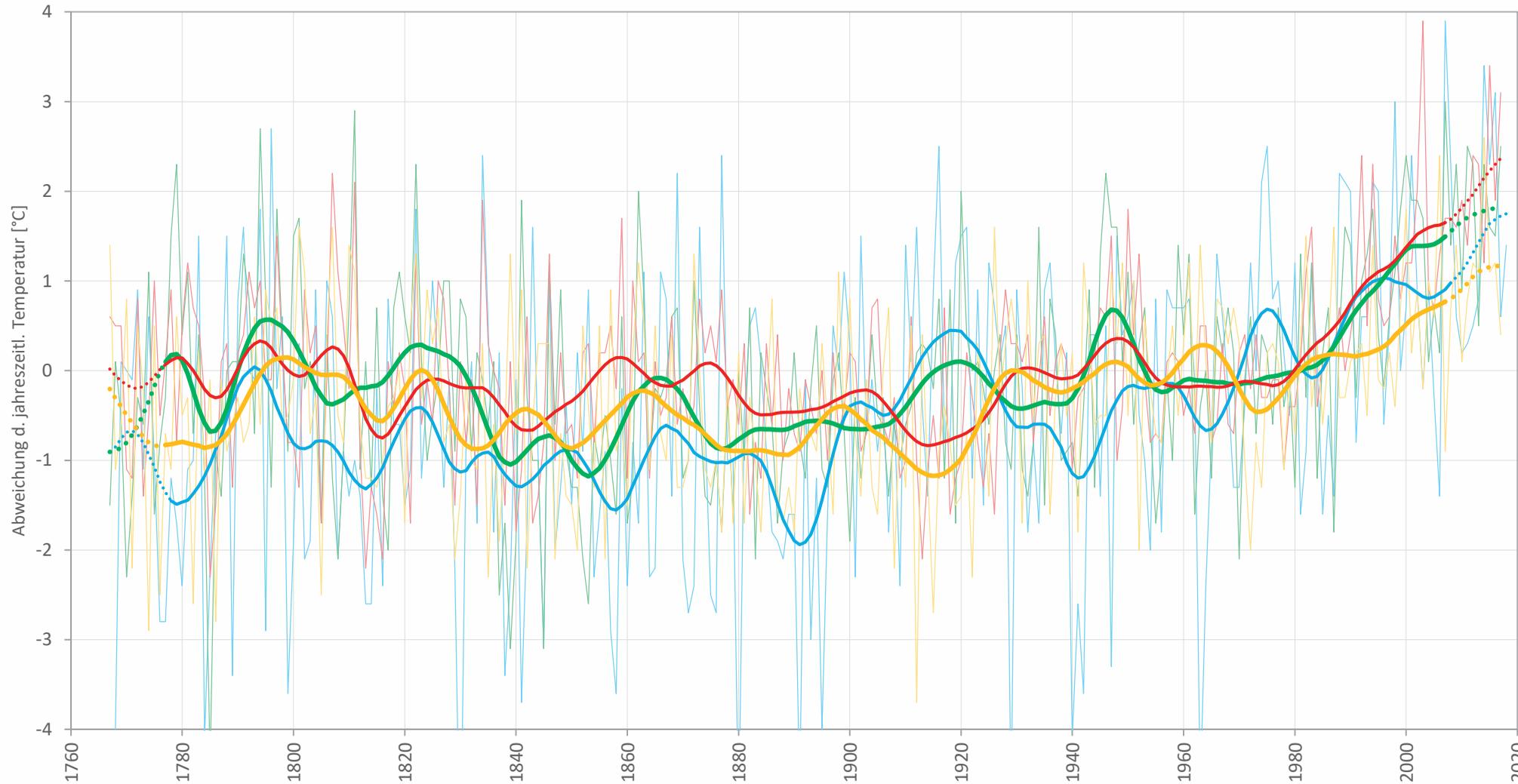
Die Konzentration einer Schmerztablette ist um Faktor 10 geringer (gemessen am Körpergewicht des Menschen), trotzdem wirkt sie. → Konzentration hat nichts mit Wirksamkeit zu tun!

## **„Ist der Klimawandel bereits für jeden spürbar?“**

Immer wieder. Saisonale Temperaturschwankungen von bis zu 8°C verdecken die langfristige Erwärmung von 0.25°C pro Dekade. Aber wenn:

- Kurzfristige natürliche Schwankungen sich mit der langfristigen Klimaerwärmung überlagern entstehen extremere Wettersituationen mit stärkeren Auswirkungen (z.B. verschärfte Hitzewellen mit Übersterblichkeit)
- Grenzwerte überschritten werden kann es zu plötzlichen massiven Problemen kommen (z.B. Borkenkäfer +1 Generation)
- langfristig wird auch die atmosphärische Zirkulation verändert, einmal eingestellte Wetterlagen könnten länger andauern (Forschungsbedarf)...

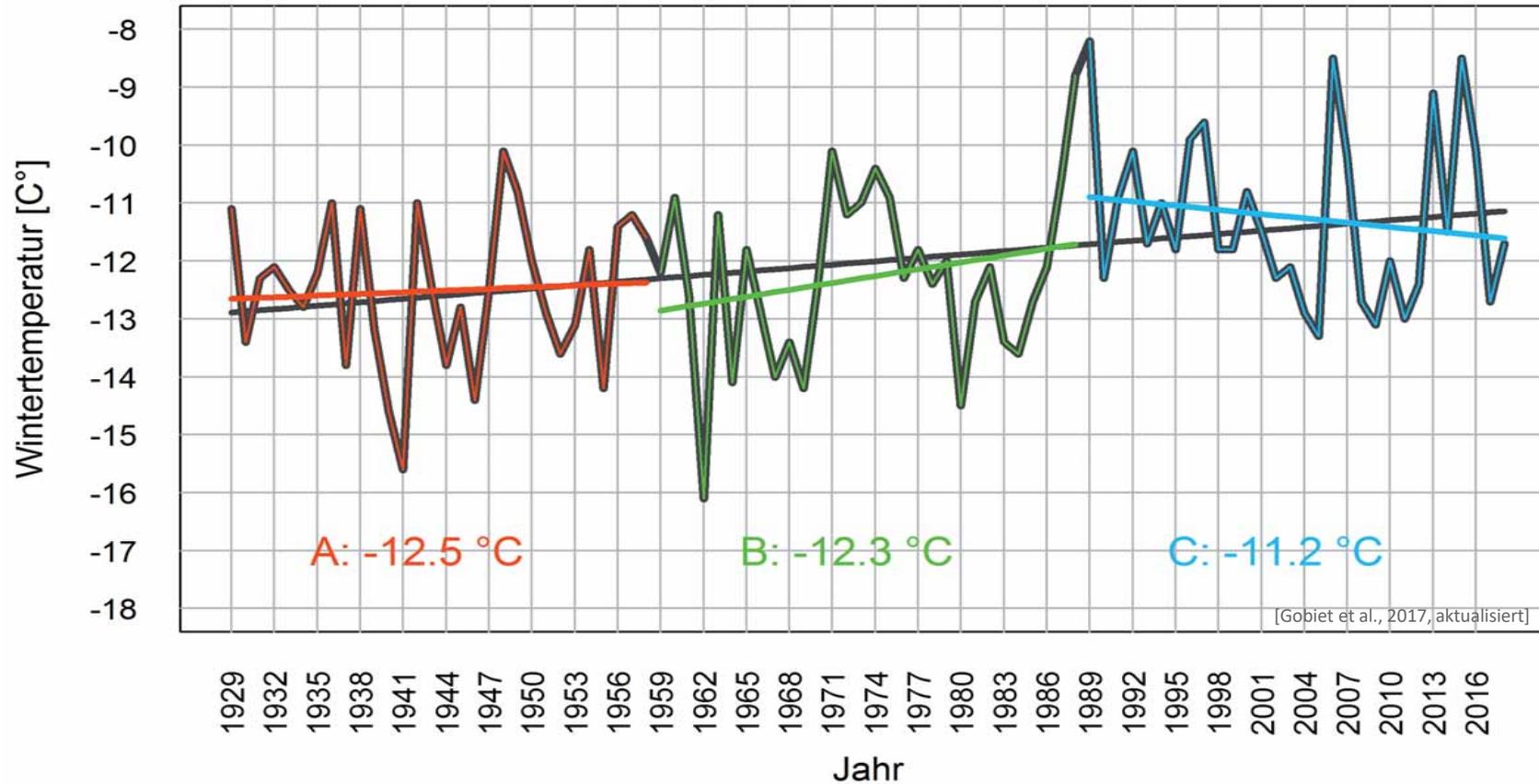
# Observed seasonal temperature changes in Austria (low elevations)



Winter  
Frühjahr  
Sommer  
Herbst



## Wintertemperaturen Sonnblick (3105 m) der letzten 90 Jahre



- Saisonale Schwankungen von bis zu 8°C
- Längere Phasen der Abkühlung (bis zu ca. 30 Jahren)
- Trotzdem langfristige Erwärmung von 0.25°C pro Dekade (+2°C in 90 Jahren).



Natürliche Schwankungen des Klimas stehen nicht im Widerspruch mit der langfristigen menschengemachten Erwärmung!

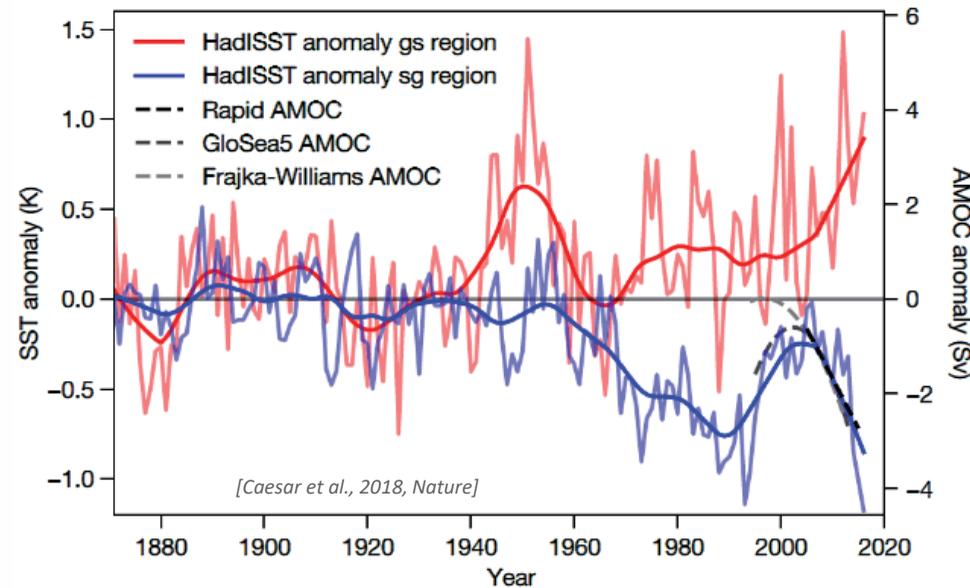
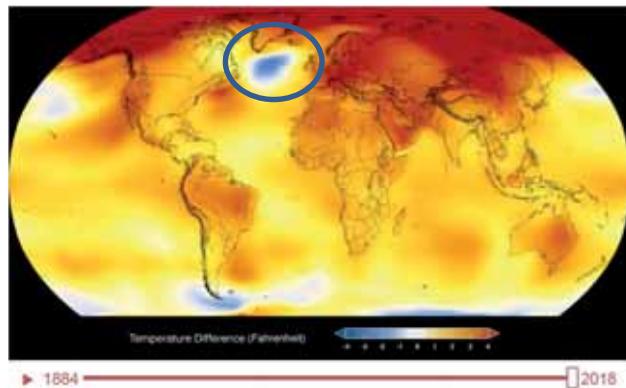
# Die Atlantische Umwälzkulation (AMOC – Golfstromsystem)



- Golfstrom beschert Europa mehrere Grad höhere Temperaturen
- Süßwassereintrag im Nordatlantik: Niederschlag, Flüsse und Eisschmelze
- Golfstrom angetrieben durch versch. Salzgehalt (schwereres Salzwasser sinkt ab)
- Stärkere Eisschmelze (Grönland) durch Erwärmung -> mehr (leichteres) Süßwasser -> Golfstrom verlangsamt sich (Messung: -15% seit 1950) (Klimamodelle sagen das auch)
- Derzeitige Klimamodelle: Weitere Verlangsamung bis 2100

Aber noch große Unsicherheiten

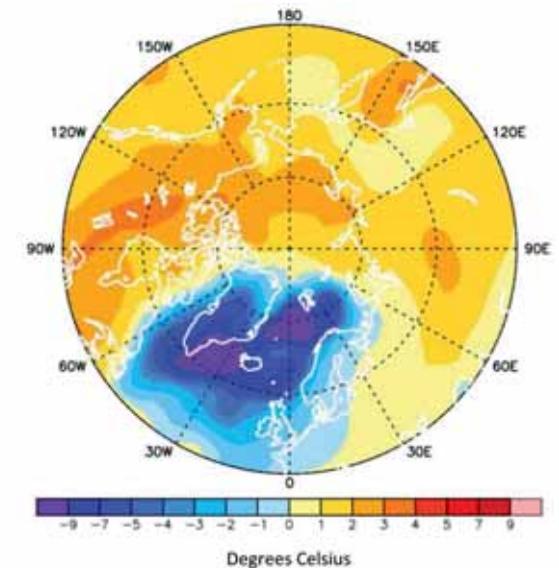
[S. Rahmstorf ([Nature 1997](#)), Creative Commons BY-SA 4.0]



[Caesar et al., 2018, Nature]

Änderung Wintertemperatur  
In Folge kollabiertem Golfstrom, 300 Jahre nach CO<sub>2</sub> Verdopplung

$$1 \text{ Sv} = 10^6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



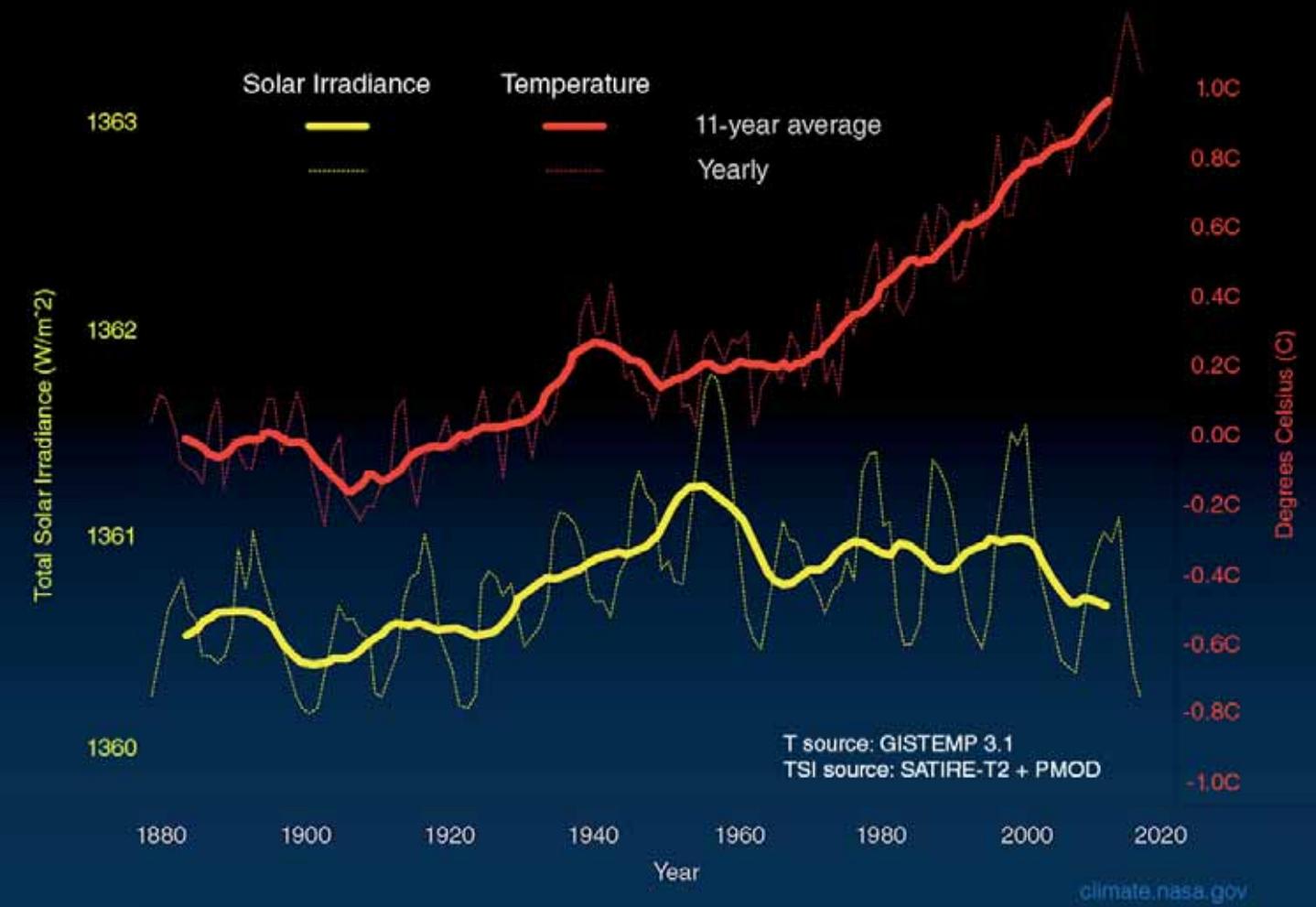
[Liu et al., Science Advances 2016]

# global warming and the sun...



...at the top of the atmosphere (solar activity)

## Temperature vs Solar Activity



- solar irradiance follows the sun's natural 11-year cycle
- no net increase after the 1950ies
- global temperatures have risen markedly since 1960...
- ...in the same time solar activity decreased



**Changing solar activity does not explain recent warming**

# global warming and the sun...



...at the surface (clouds, aerosols)

daily maximum temperatures In Switzerland:

Observed (black lines)

Calculated (red lines) accounting for...

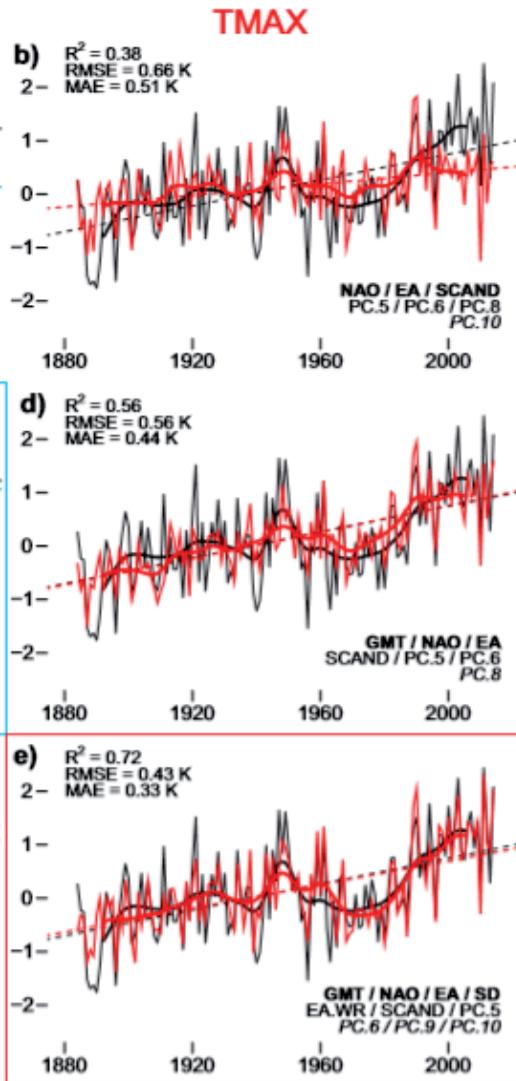
...natural climate variability

...natural climate variability and increasing longterm trend

...natural climate variability and increasing longterm trend and sunshine duration



Increased surface solar radiation due to decreasing aerosols (global brightening) since the 1980ies accounts for only around 20% of the recent warming



[Scherrer and Begert, 2019]