

# **Prognostizierte Veränderungen des Klimas: Globale Risiken und Auswirkungen**



## Inhaltsverzeichnis

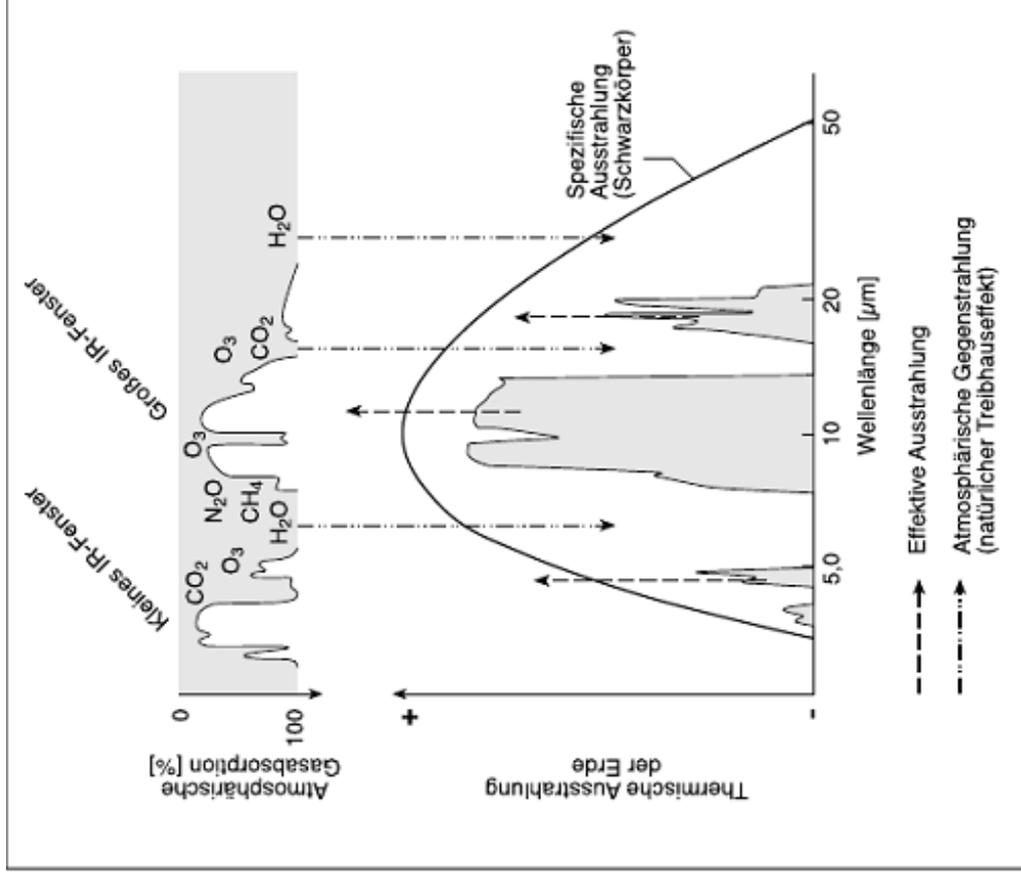
1. **Einstiegsfrage: Warum verändert eine erhöhte Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre das Klima?**
2. **Entwicklung der physikalischen Seite des Klimawandels**
  - 2.1 **Prozesse in der Atmosphäre**
  - 2.2 **Landoberflächen**
  - 2.3 **Kryosphäre**
  - 2.4 **Ozean**
3. **Ausblick**
4. **Zusammenfassung**

## Quellenverzeichnis

# 1. Warum verändert eine erhöhte Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre das Klima?

Globale Wirkung bzw.  
Strahlungsleistung:

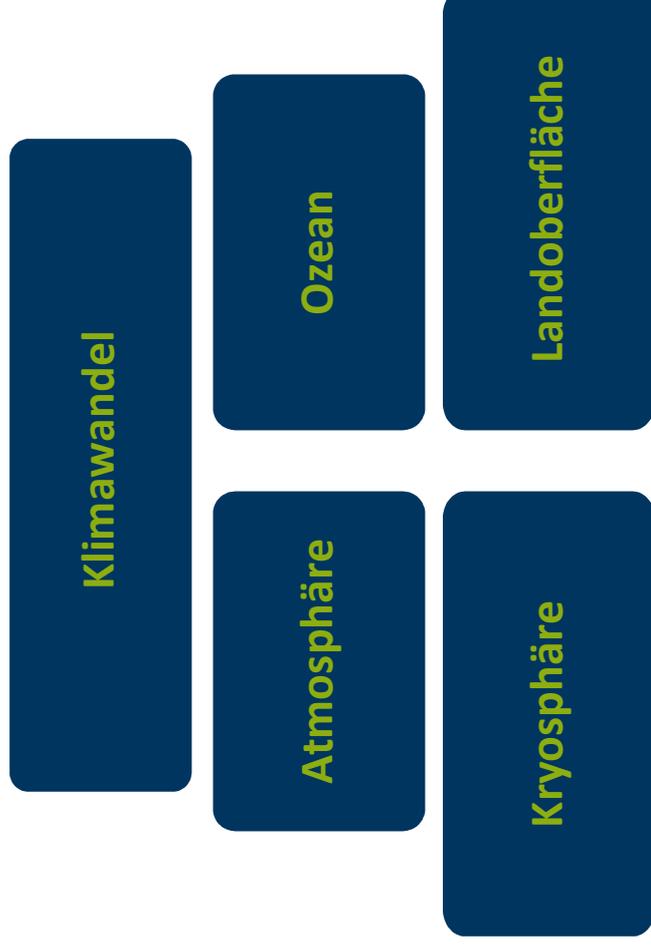
- $-18^{\circ}\text{C} + 33^{\circ}\text{C} = 15^{\circ}\text{C}$



- Je mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, desto höher ist die Konzentration in der Atmosphäre
- Das führt zu einer erhöhten Absorption den langwelligen terrestrischen Strahlung und einer Erwärmung der Atmosphäre
- Klimavariabilität vs. Klimawandel

## 2. Entwicklung der physikalischen Seite des Klimawandels

- Der Klimawandel wirkt sich auf vier makroskalige Größen im Klimasystem aus

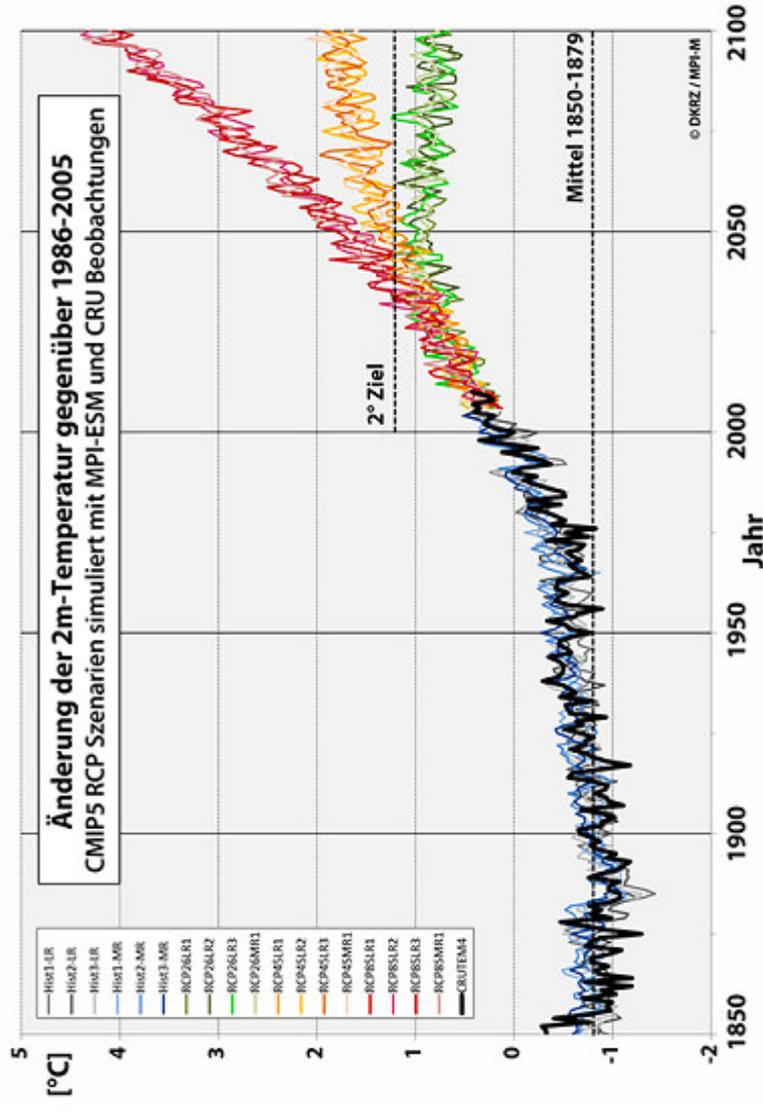


## 2.1 Prozesse in der Atmosphäre

- Wettergeschehen spielt sich in der Troposphäre ab: Wichtige Größen sind Druck, Temperatur, Wind und die Komponenten des Wasserkreislaufs
- Steigende Emissionen führen zu einem Strahlungsantrieb in der Atmosphäre und zur Verschlechterung der Luftqualität des Lokalklimas
- Durch die Veränderung der physikalischen Gegebenheiten wird auch das Wettergeschehen beeinflusst

## Klimaprojektionen - IPCC RCP 2013

- Bei dem 2°C Ziel könnten anthropogene Störungen im Klimasystem verhindert werden
- Bis 2100 mittlerer globaler Temperaturanstieg zwischen 1,8°C und 4°C
- RCP 2,6: unter 2°C
- RCP 4,5: ca. 2,6°C
- RCP 8,5: über 4°C



IPCC 2013

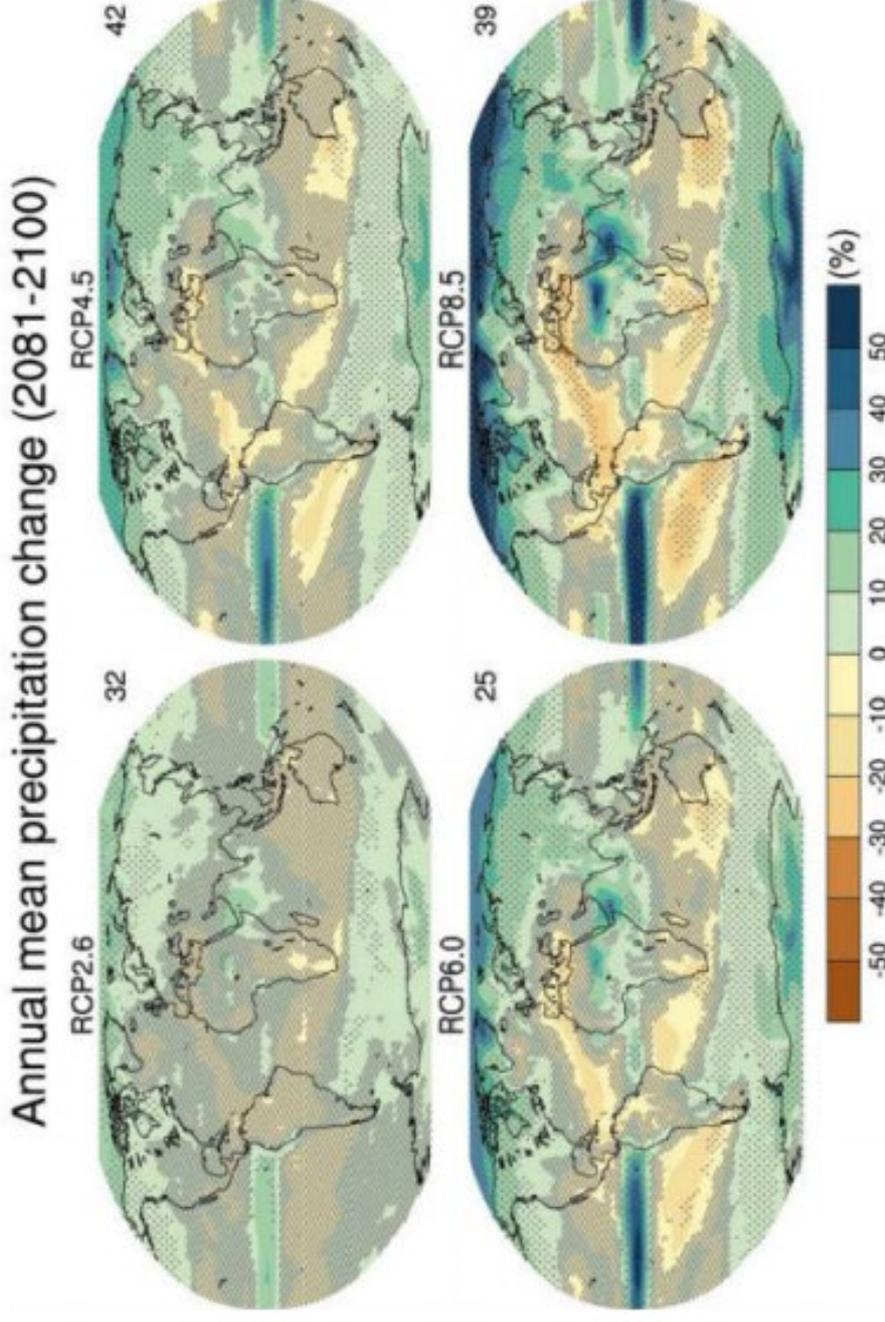
## CO<sup>2</sup> Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten

- China, Europa und die USA verantworten 55% der weltweiten CO<sup>2</sup>-Emissionen
- In China und Indien werden die Treibhausgaskonzentrationen weiter steigen, in den Industrieländern sinken
- CO<sup>2</sup>-Emissionen pro Kopf in Australien am höchsten
- Aktuelle Prognosen rechnen mit dem Ausstoß von 52-54 Gigatonnen CO<sup>2</sup>-Äquivalenten bis 2020 (44 Gigatonnen zum Erreichen des 2° C Ziels)

## Luftqualität bei steigenden Treibhausgasemissionen

- In Ländern wie Deutschland vernachlässigbar, da Emissionen sinken
- Durch Extremwetterereignissen wie Trockenheit entsteht eher Problem der Ozonbelastung
- In Indien und China verschlechtert sich die Luftqualität weiter
- Resultierender Feinstaub schädigt die Schleimhaut, Atemwege und das Herz- Kreislaufsystem

## Veränderung der globalen Niederschlagsereignisse

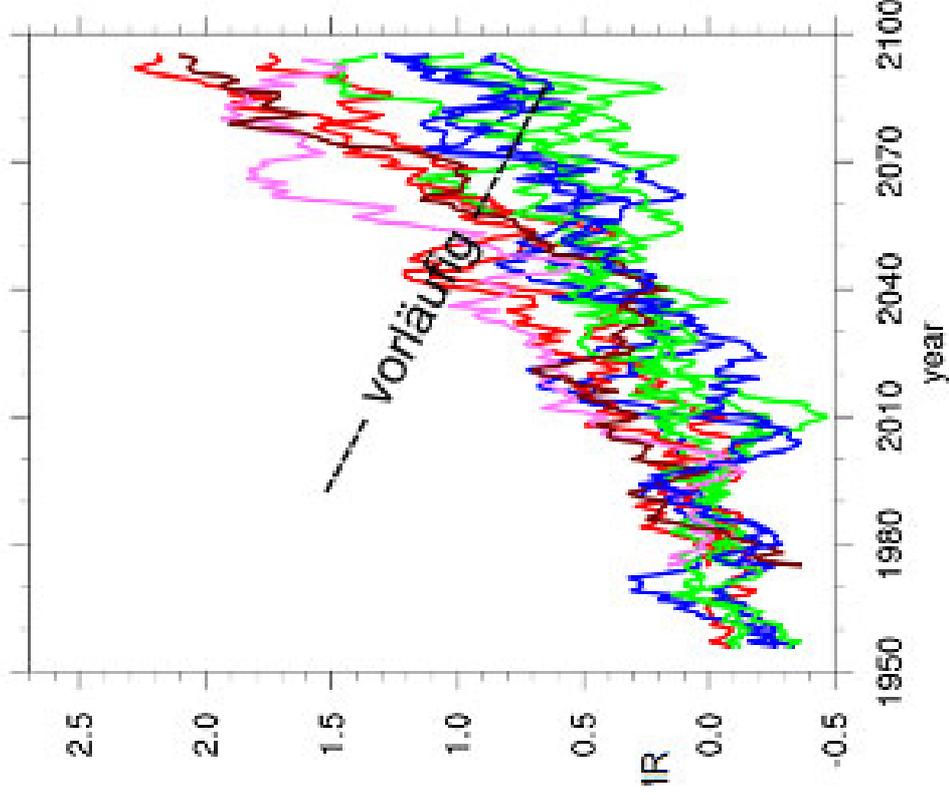


IPCC 2013

„wet gets wetter, dry gets drier“ (Held und Soden 2006)

## Zunahme von extremen Wetterereignissen: Niederschlag

Anstieg von Starkregen heute schon zu beobachten



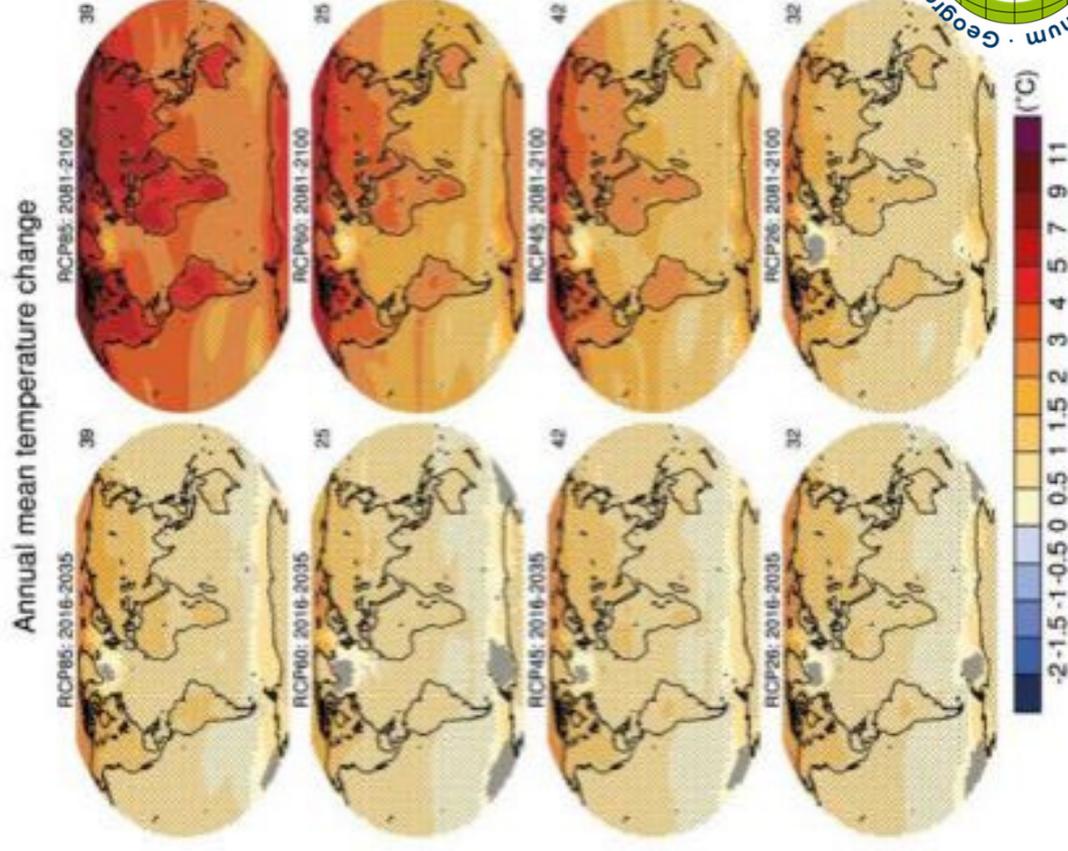
Modellberechnungen des DWD in Essen: Starkregentage bei RCP 8,5

## Auswirkungen erhöhter Niederschläge und Starkregen

- Überschwemmungen schädigen die Infrastruktur vor allem in Entwicklungsländern
- Anstieg von Krankheiten und Unterernährung ist aktuell schon verantwortlich für jährlich 150000 Menschen pro Jahr
- Zunahme/Abnahme der Niederschläge vor allem in Entwicklungsländern mit geringster Anpassungsfähigkeit (z.B. Indien)
- Entwickelte Länder in hohen und mittleren Breiten profitieren von einer Erwärmung bis 2°C und erhöhten Niederschlägen
- Starkregentage steigen an und führen in Städten mit hoher Versiegelung zu mehr Hochwasser: Klimaanpassungsstrategien?

## 2.2 Temperaturentwicklung über den Landoberflächen

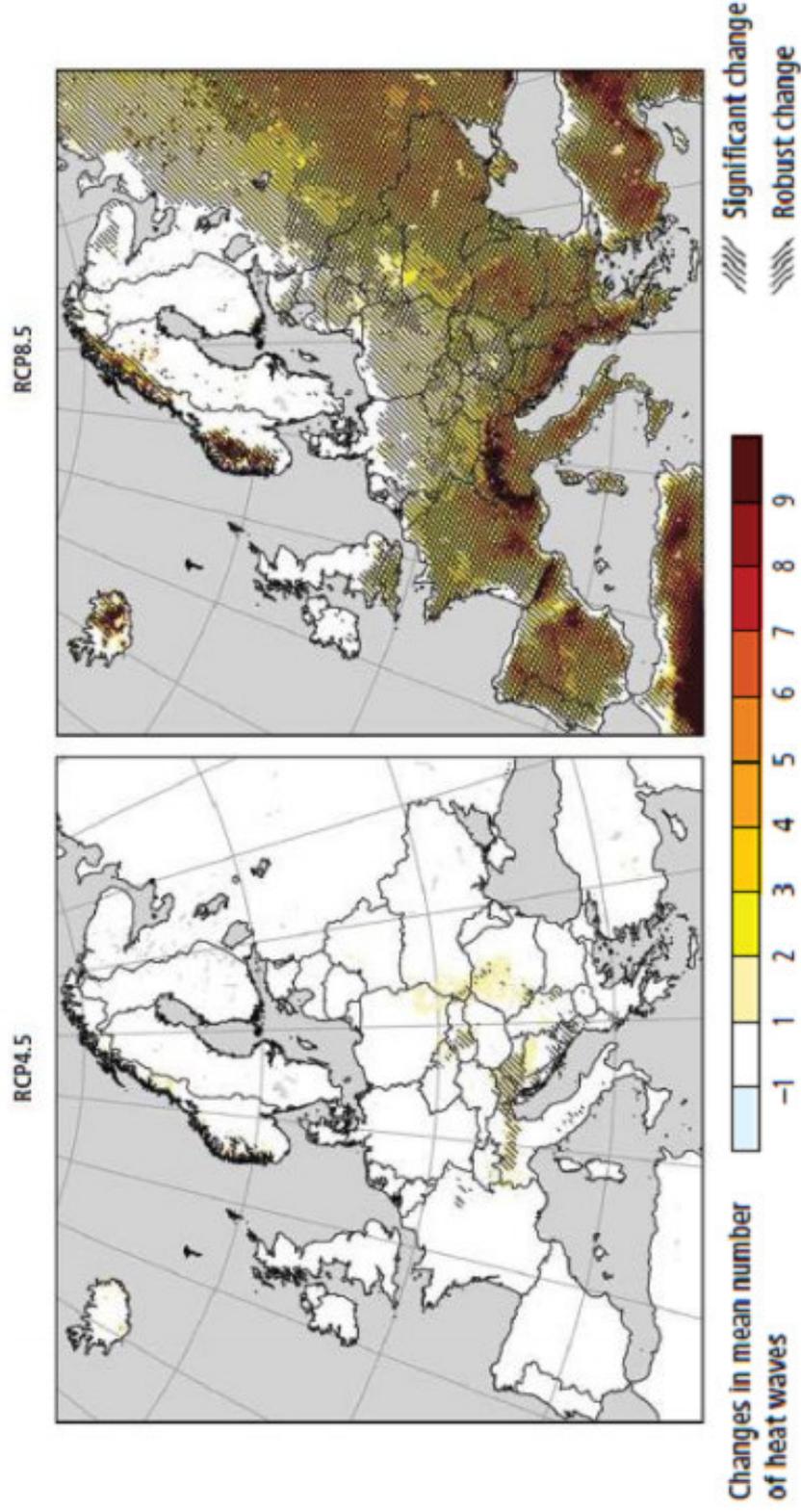
- Insbesondere Landmassen und hohe nördliche Breiten betroffen
- Temperatur so hoch wie im letzten Interglazial: Grönlandeis schmilzt vollkommen ab



## Globale Risiken über Landoberflächen

- Erderwärmung zeigt sich auf Landoberflächen unterschiedlich stark
- Durch Extremwetter werden Dürren häufiger, Bsp. Südwesten der USA
- Nordverlagerung der Tiefdruckgebiete führt zu Dürreperioden im Winter und Waldsterben in Höhenlagen der Wüsten
- Nettoverluste in der Nahrungsmittelproduktion wird bei einer globalen Erwärmung von über 2-3°C erwartet
- Entwicklungsländer werden sich durch Disparitäten mehr zum Problem entwickeln

# Extremwetterereignisse: Hitzewellen



## Wärmebelastung in Städten

- Anzahl der Sommertage und und heißen Tagen wird in Zukunft steigen
- Bsp. Köln: Sommertage +30-70% (+11-17 Tage), heiße Tage +60-150% (5-12 Tage)
- Wärmeineleffekte in der Stadt werden sich verschärfen und ein Gesundheitsrisiko vor allem für ältere Menschen darstellen
- Ausgetrocknete Böden senken die Anpassungsfähigkeit des Bodens vor Starkregenereignissen

---


$$M - W - [Q_H(T_w, v) + Q^*(T_{mrt}, v)] -$$

$$[Q_L(e, v) + Q_{sw}(e, v)] - Q_{Re}(T_a, e) \pm S = 0$$

Wärmebilanz des menschlichen Körpers

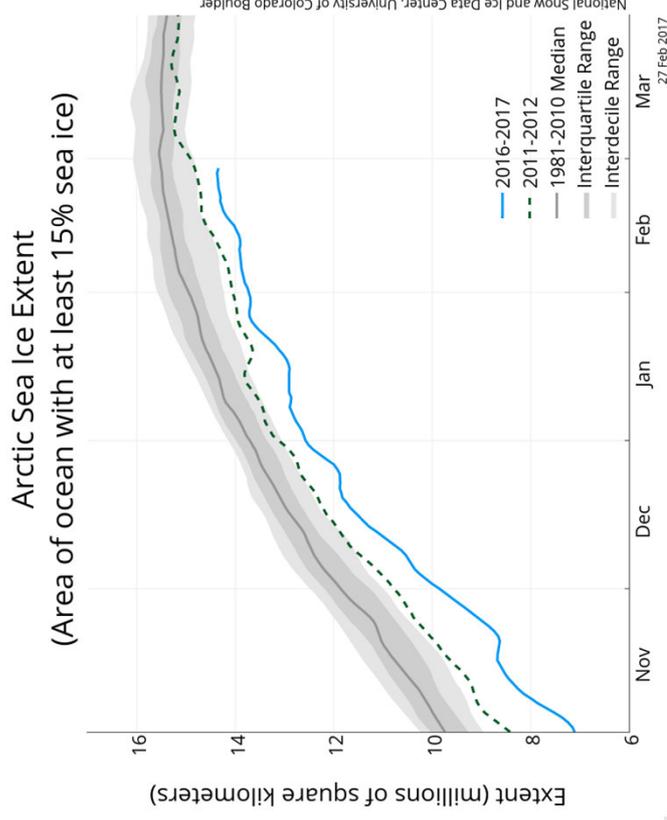
## Auswirkungen der Lufttemperaturen auf den Menschen

Gefühlte Temperatur (°C)	Thermisches Empfinden	Gesundheitliche Gefährdung
über 38	sehr heiß	sehr hoch
32 bis 38	heiß	hoch
26 bis 32	warm	mittel
20 bis 26	leicht warm	gering

## 2.3 Kryosphäre: Verschwindet das Eis in der Arktis?

- Momentan macht die große Eissschmelze im Sommer auf den Klimawandel aufmerksam
- Auch im Winter tritt ein beachtlicher Eisverlust auf

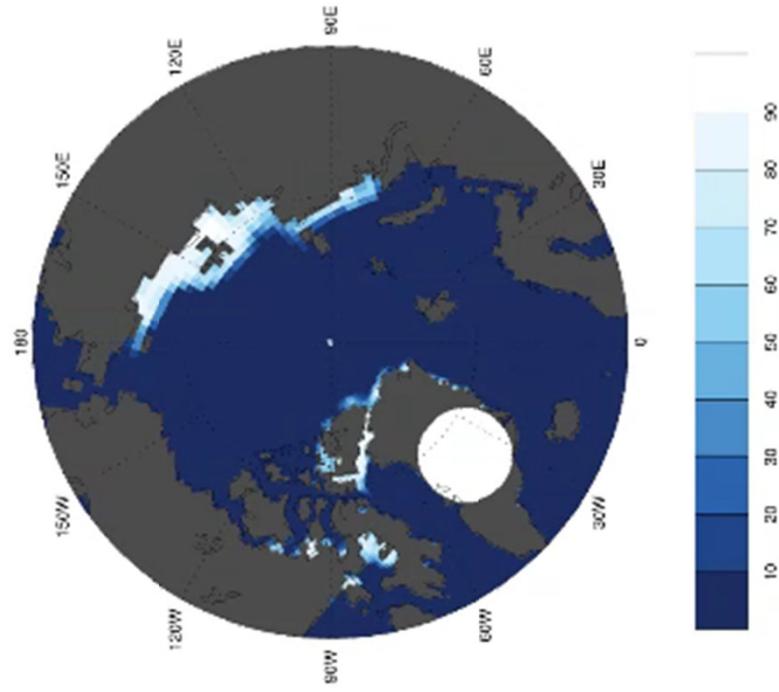
### Rekordminimum der arktischen Eisbedeckung im Winter



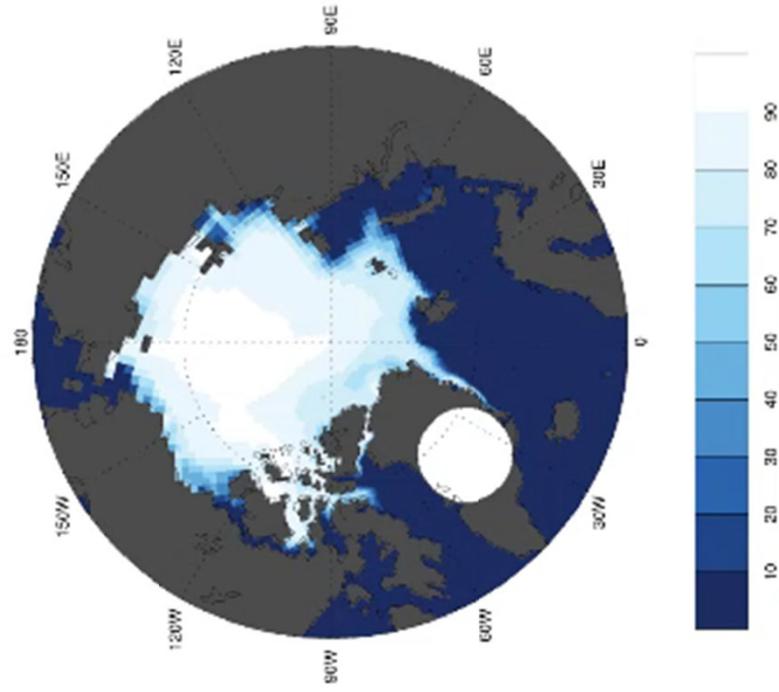
## Zukünftige Prognosen der Eisbedeckung

- Aktuelle Studien untersuchen die Frage nach dem „Kipp-Punkt“ an dem das Meereis abrupt verschwindet
- Prognose: nach kompletten Verlust des Meereises im Sommer bildet sich Meereis im Winter so lange bis der arktische Winter zu mild wird
  - 2°C Erwärmung kann zum kompletten Eisverlust im Sommer führen
  - Von saisonaler zu dauerhafter eisfreier Arktis schneller als von dauerhafter zu saisonaler eisbedeckter Arktis
- Verschiedene Zukunftsszenarien zeigen Eisverlust als reversibel und irreversibel
- Klimawandel läuft schneller ab als bisher bekannte Frühwarnsignale

March 2170



September 1895

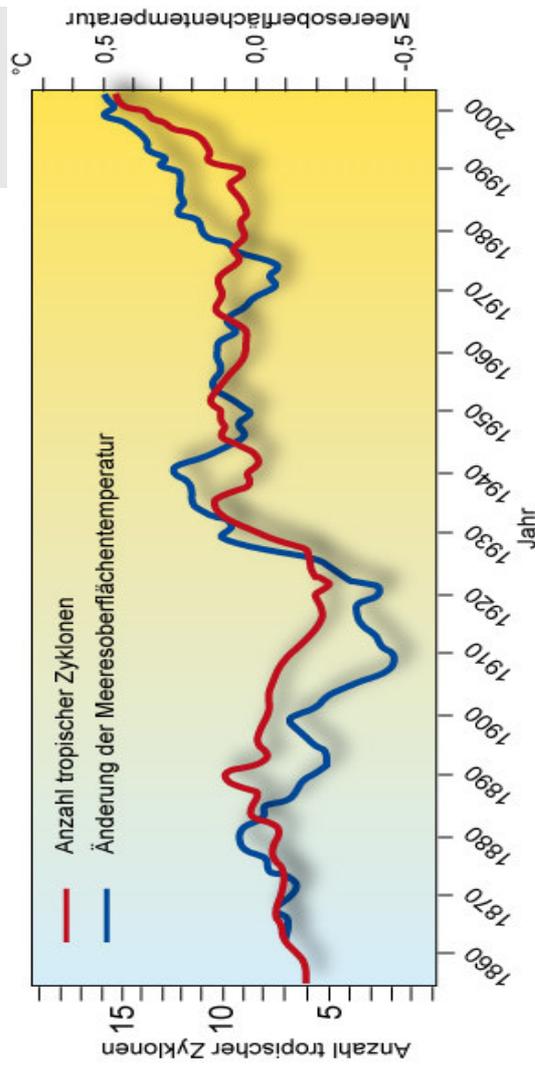


## 2.4 Prognosen über die Entwicklung des Ozeans

- Ozean wird sich nicht so stark erwärmen wie Landoberflächen, aber Wärme länger speichern (nachhaltige Erwärmung)
- Aktuell mehr als 3mm pro Jahr durch die Ausdehnung des erwärmten Wassers und der Gletscherschmelze
- NASA-Forschungen besagen in 100-200 Jahren einen Anstieg von >1m
- Erwärmung führt zu einer Verstärkung von tropischen Zyklonen und zu einem veränderten Ozean-Atmosphären Zirkulationssystem
- Intensität wird ansteigen

## Tropische Zyklone

- Unklarer Zusammenhang
- WMO ist sich unsicher über Veränderungen
- Kann auch natürlicher Ursache sein
- Prognose: Tropische Zyklone werden abnehmen, aber Intensität zunehmen



nach Holland, G.J., & P. J. Webster 2007

## El Niño-Southern Oscillation: ENSO-Phänomen

- Modellprojektionen: globale Erwärmung verändert globale Muster, die für ENSO wichtige Faktoren darstellen
  - Hadley- und Walkerzirkulation werden abgeschwächt
  - Damit Schwächung der Passate
  - relative Erwärmung der ostpazifischen Meeresoberflächentemperatur
  - Höhere Niederschläge die Folge

## Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs und der Ozeanerwärmung

- Nicht der Meeresspiegel an sich wird in der Zukunft bedrohlich sein, sondern der „Landschwund“
- Viele Inselstaaten und Großstädte wie Singapur und Tokio drohen überschwemmt zu werden
- In Deutschland z.B. Bau von höheren Deichen erforderlich
- Meeresspiegelanstieg und erhöhte Wassertemperatur schädigen Korallenriffe
- Tropische Zyklone werden durch steigende Intensität öfter Schäden verursachen: Anpassungsmaßnahmen notwendig?

### 3. Ausblick: Singuläre Klimaänderungen

- Zusammenbruch der thermohalinen Zirkulation (bei ca. 4-5°C)
- „Runaway“ Treibhauseffekt: durch Erwärmung und Eisschmelze werden Methanhydrate freigesetzt, positive Rückkopplung
- Zerfall des Westantarktischen Eisschildes: bei möglicherweise schon 2°C Erwärmung, Meeresspiegelanstieg von 4-6m (jedoch zw. 400-2400 Jahren)
- Gefährdung des Grönlandeises: irreversibler Meeresspiegelanstieg von 7m (bei etwa 3°C)
- Große Unsicherheit bei der Abschätzung der Schwellenwerte

## 4. Zusammenfassung

- Zwischen den Klimagrößen treten Wechselwirkungen auf
- Große Unsicherheit über zukünftige Entwicklung, Prognosen nur über Modellrechnungen möglich
- Globale Erwärmung und steigende Treibhausgasemissionen vor allem in Asien führt zu Luftverschmutzung und Wärmebelastung in Städten
- Zunahmen von Extremwetter führen zu Überschwemmungen und Dürren
- Meeresspiegelanstieg durch Meereis- und Gletscherschmelze, sowie durch Ausdehnung gefährden Gebiete knapp über dem Meeresspiegel
- Erwärmung führt zu einer Veränderung der Zirkulationssysteme, wodurch z.B. tropischen Zyklone an Intensität zunehmen und die Passatwinde abnehmen

**Vielen Dank für Eure Aufmerksamkeit!**

## Quellenverzeichnis

- Barthélémy, A.; Humml, S. (2015): Meeresspiegelanstieg trifft vor allem diese Stadt. <https://www.welt.de/gesundheit/article148587763/Meeresspiegelanstieg-trifft-vor-allem-diese-Stadt.html>[10.04.2017]
- Brasseur, G. et al. (Hg) (2017): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin Heidelberg
- Buchal, C.; Schönwiese, C-D. (2012): Klima. Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeit. 2. Aufl, Gütersloh
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hg) (2015): Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Berlin
- Cook, J.; Farmer G. (2013): Climate Change Science: A Modern Synthesis. Volume 1 – The Physical Climate. Dordrecht
- Halbig, G. (2015):Vortrag der aktuellen Arbeiten der DWD-Niederlassung Essen. Essen
- HBS (Hg) (o. J.): El Niño und der anthropogene Treibhauseffekt.<http://bildungsserver.hamburg.de/ozean-und-klima/4337340/enso-treibhauseffekt-artikel/>[15.4.2017]
- HBS (Hg) (o. J.): Tropische Wirbelstürme und die globale Erwärmung. <http://bildungsserver.hamburg.de/wetterextreme-klimawandel/3062906/tropische-wirbelstuerme-zwei/>[15.04.2017]

IPCC (Hg) (2013): Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Stockholm

Max-Planck-Institut für Meteorologie (2017): Kann arktisches Meereis im Winter plötzlich verschwinden? <https://www.mpimet.mpg.de/kommunikation/aktuelles/im-fokus/arktisches-meereis/>[10.04.2017]

Schönwiese, C-D. (1995): Klimaänderungen. Berlin

Spiegel (Hg) (2015): Forscher befürchten starken Anstieg des Meeresspiegels. <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/nasa-forscher-befuerchten-deutlichen-anstieg-des-meeresspiegels-a-1050045.html>[10.04.2017]

Spray, S. (2002): Global Climate Change. Lanham

DWD (Hg) (o. J.): Tropische Wirbelstürme. [http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/global/tropwirbelstuerme/tropwirbelstuerme\\_artikel.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/global/tropwirbelstuerme/tropwirbelstuerme_artikel.html)[15.04.2017]

Umweltbundesamt (Hg) (2013): Zu erwartende Klimaänderungen bis 2100. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/zu-erwartende-klimaaenderungen-bis-2100>[09.04.2017]

Wakonigg, H. (2007): Klima im Wandel. Wien