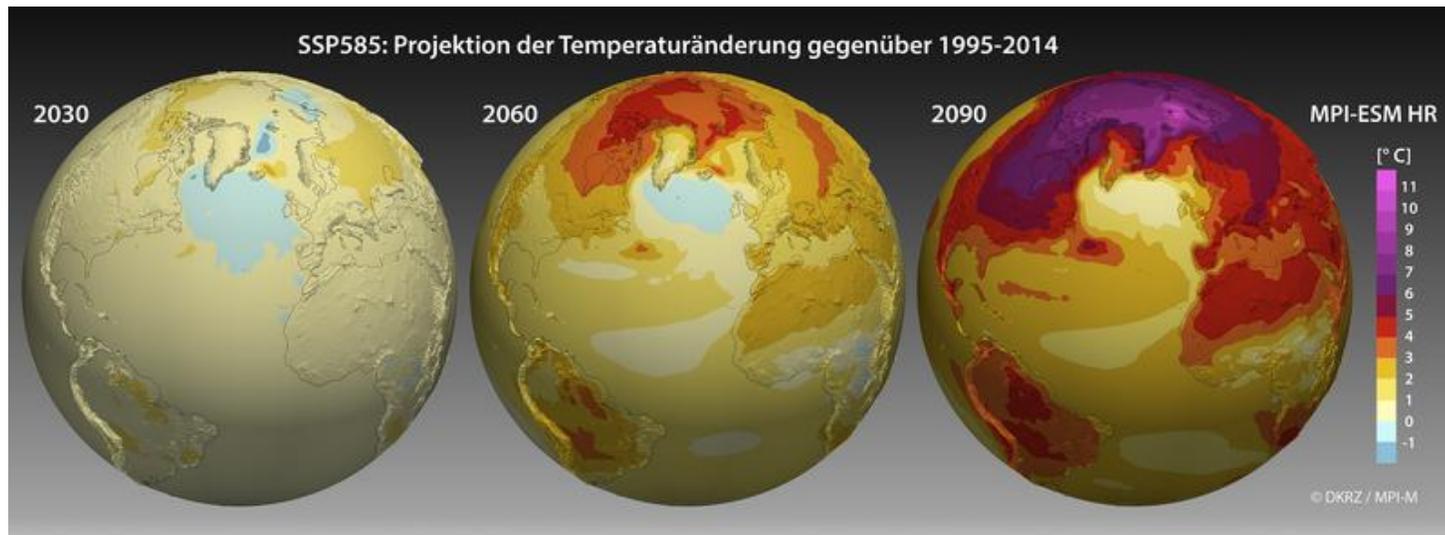
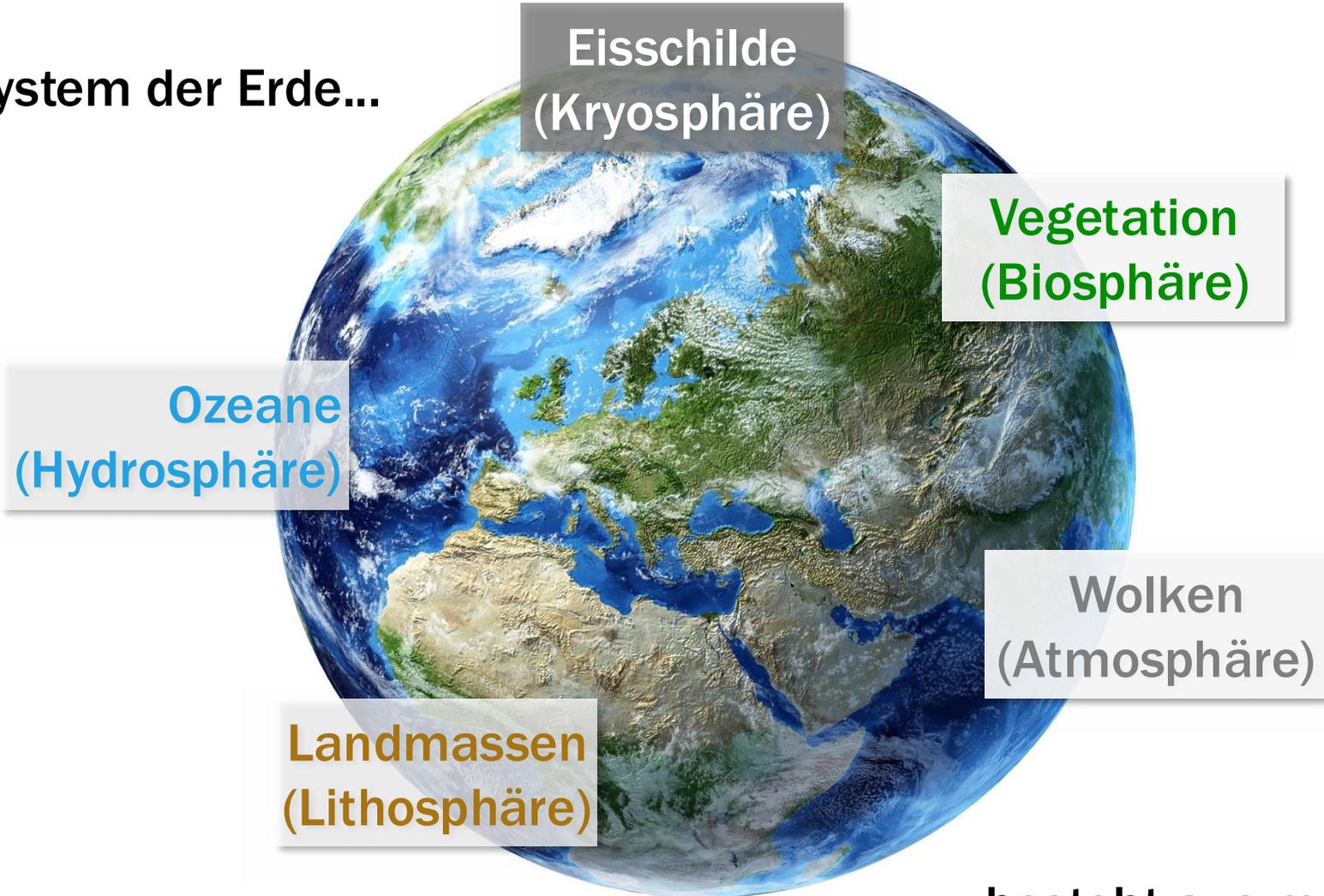


# Wie funktionieren Klimamodelle?

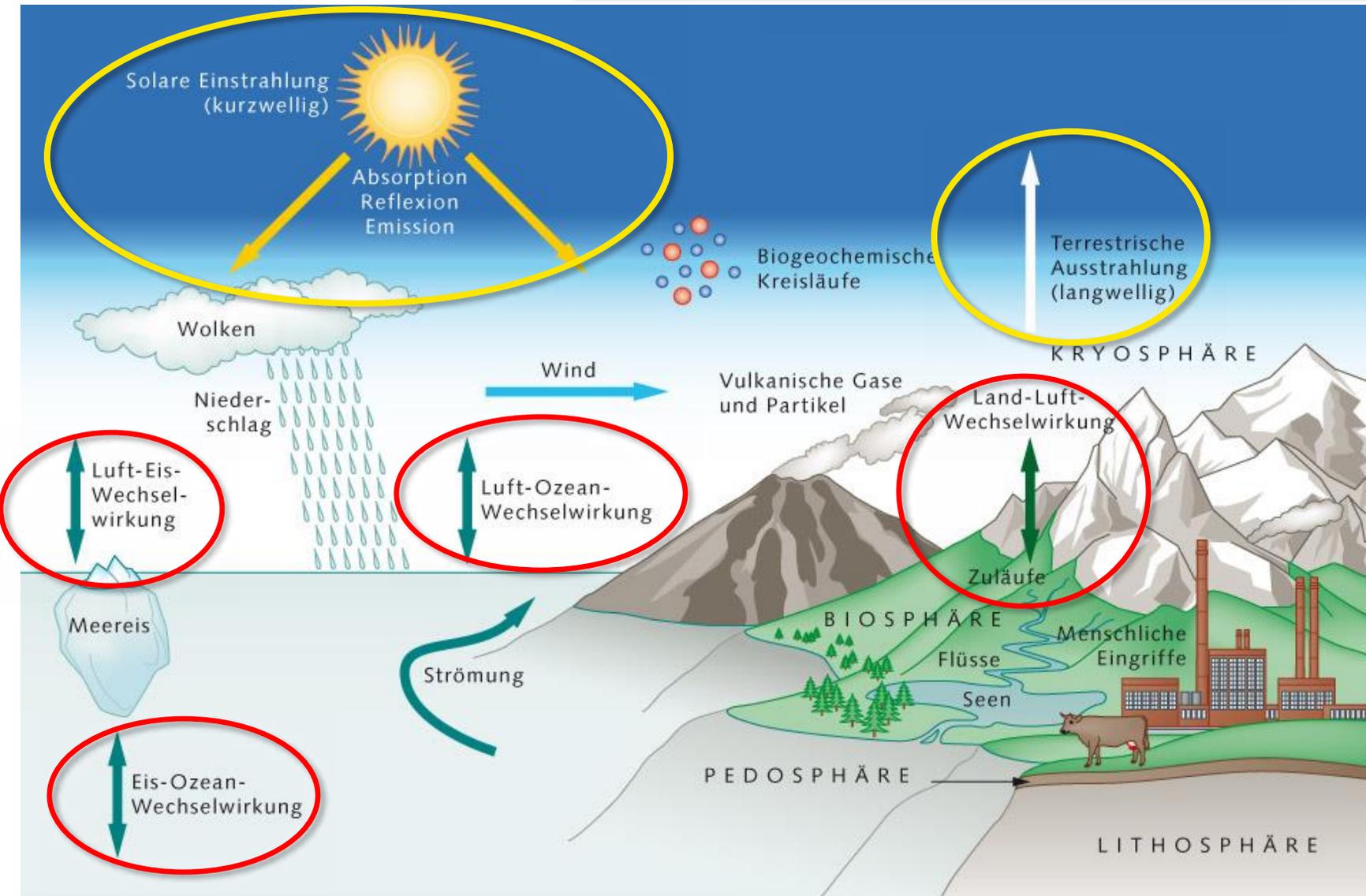
P. Ludwig (Regionale Klimamodellierung - IMKTRO)



Das Klimasystem der Erde...



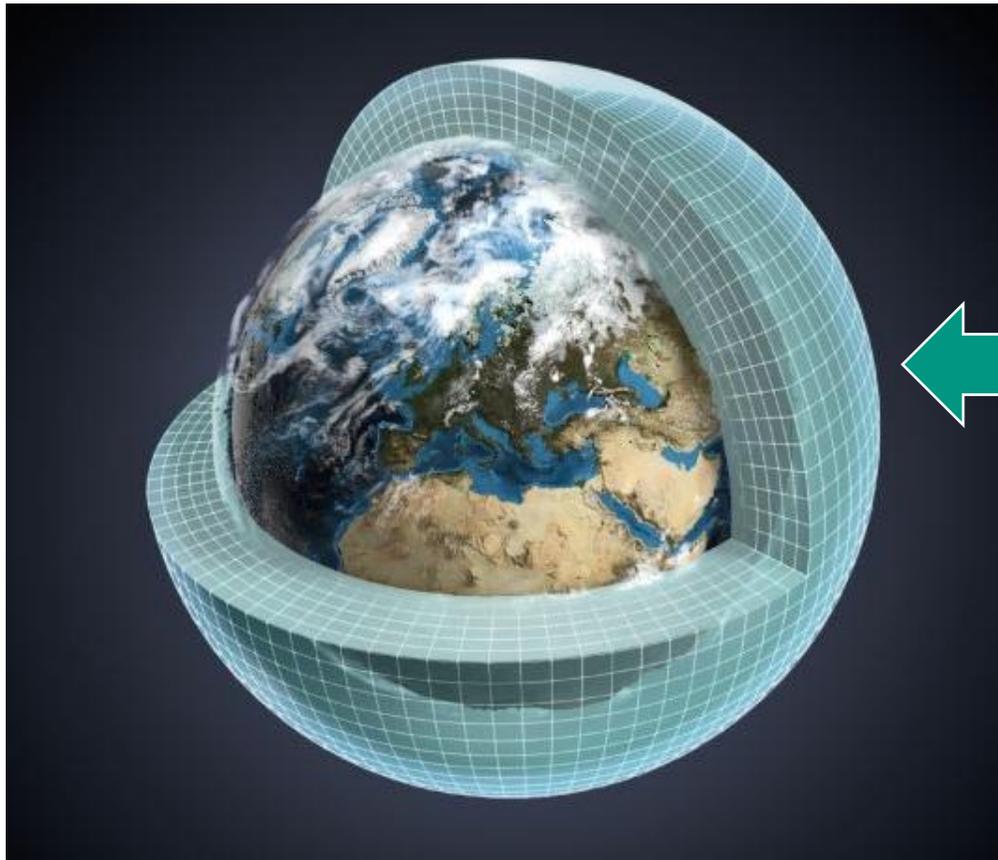
... besteht aus mehreren Subsystemen



- Wechselwirkungen zwischen den Klimasubsystemen
- Antrieb durch die Sonne (solare Einstrahlung)
- Strahlungshaushalt

<https://worldoceanreview.com>

**Klimamodell** → Modellierung der Klimasubsysteme und deren Wechselwirkungen



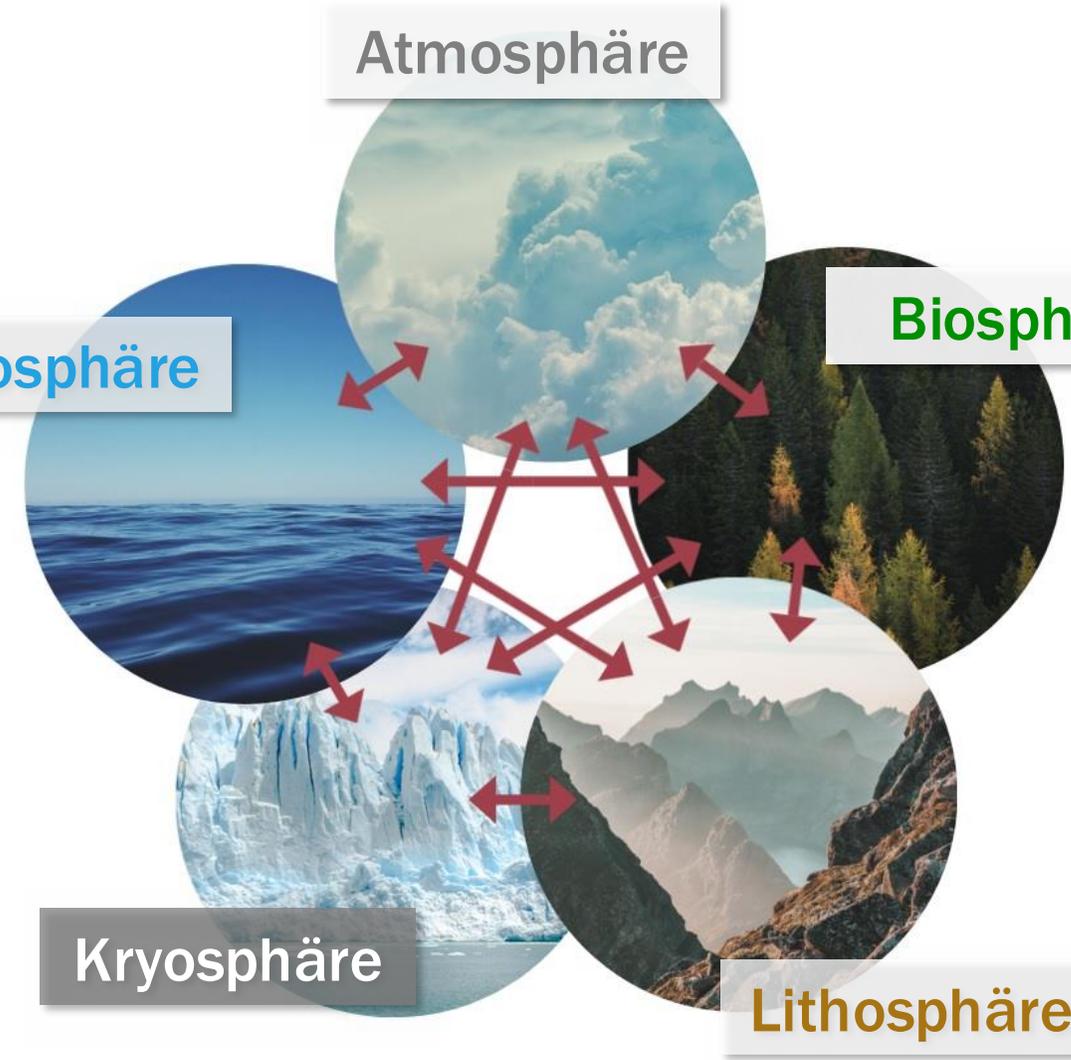
Hydrosphäre

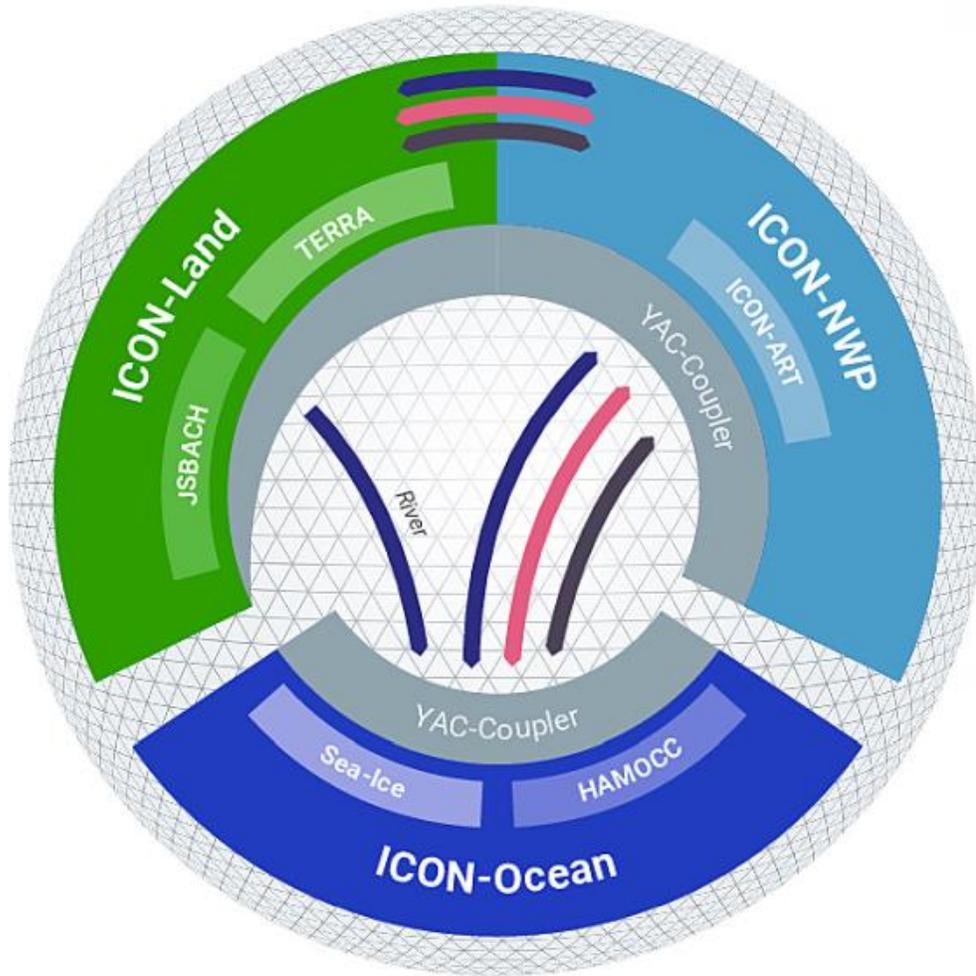
Atmosphäre

Biosphäre

Kryosphäre

Lithosphäre





**Legend:**  
█ Energy, Momentum  
█ Water  
█ Carbon

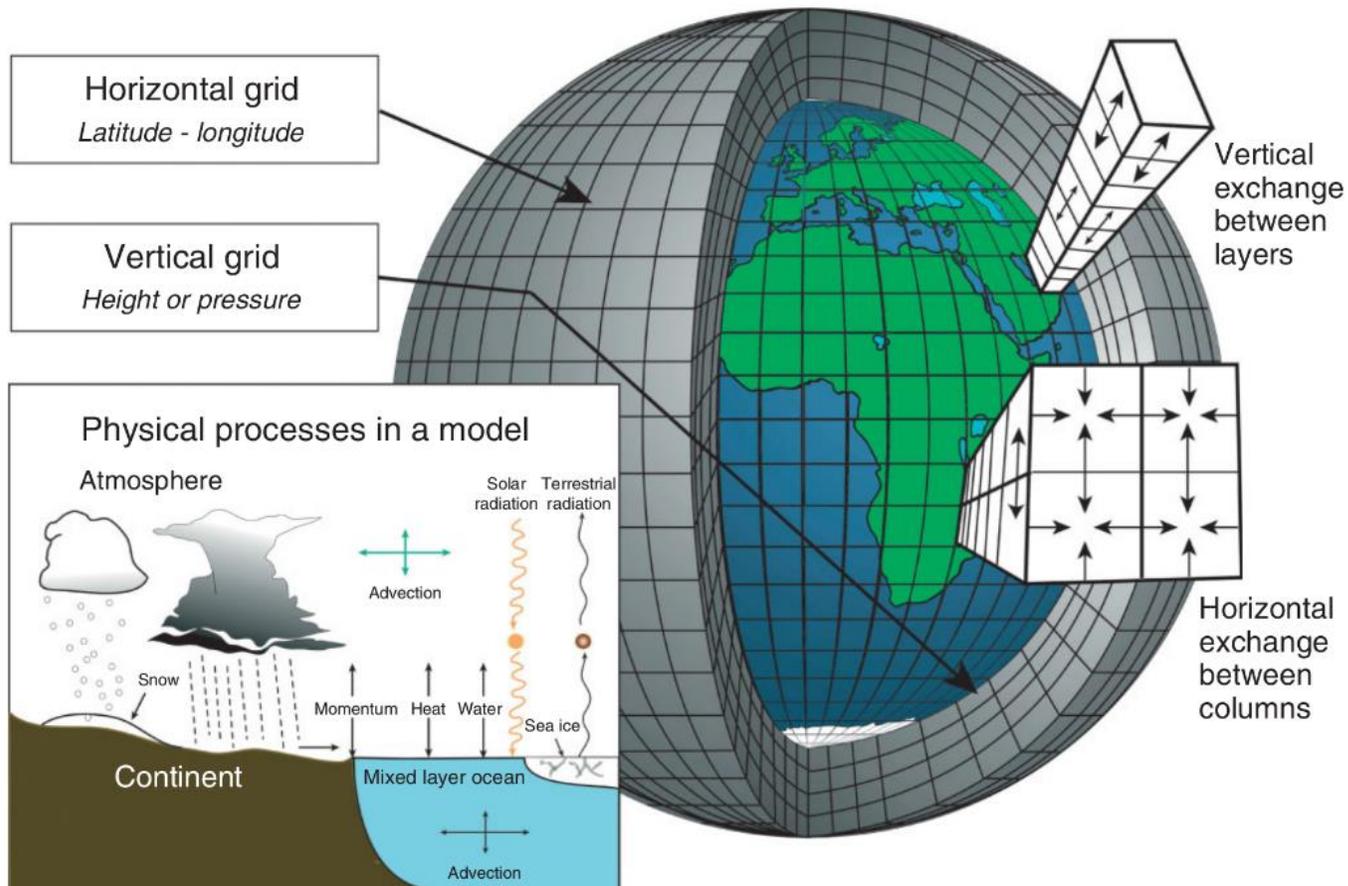
- Kopplung der Subsysteme im ICON-XPP (eXtended Predictions and Projections), das neue Erdsystemmodell in DE (DWD, MPI, KIT).
- Systeme interagieren über einen Koppler → Austausch von Informationen

**Klimamodellierung** **Randwert-Problem**

**Anfangswert-Problem** **Wettervorhersage**



## Aufbau eines Klimamodells



## Dynamischer Kern

System von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen, die numerisch gelöst werden:

- Kontinuitätsgleichung (**Massenerhaltung**)
- Bewegungsgleichungen (**Impulserhaltung**)
- Thermodyn. Gleichung (**Energieerhaltung**)
- **Thermodynamische Zustandsgleichung**
- **Hydrostatische Gleichung**

## Parametrisierungen

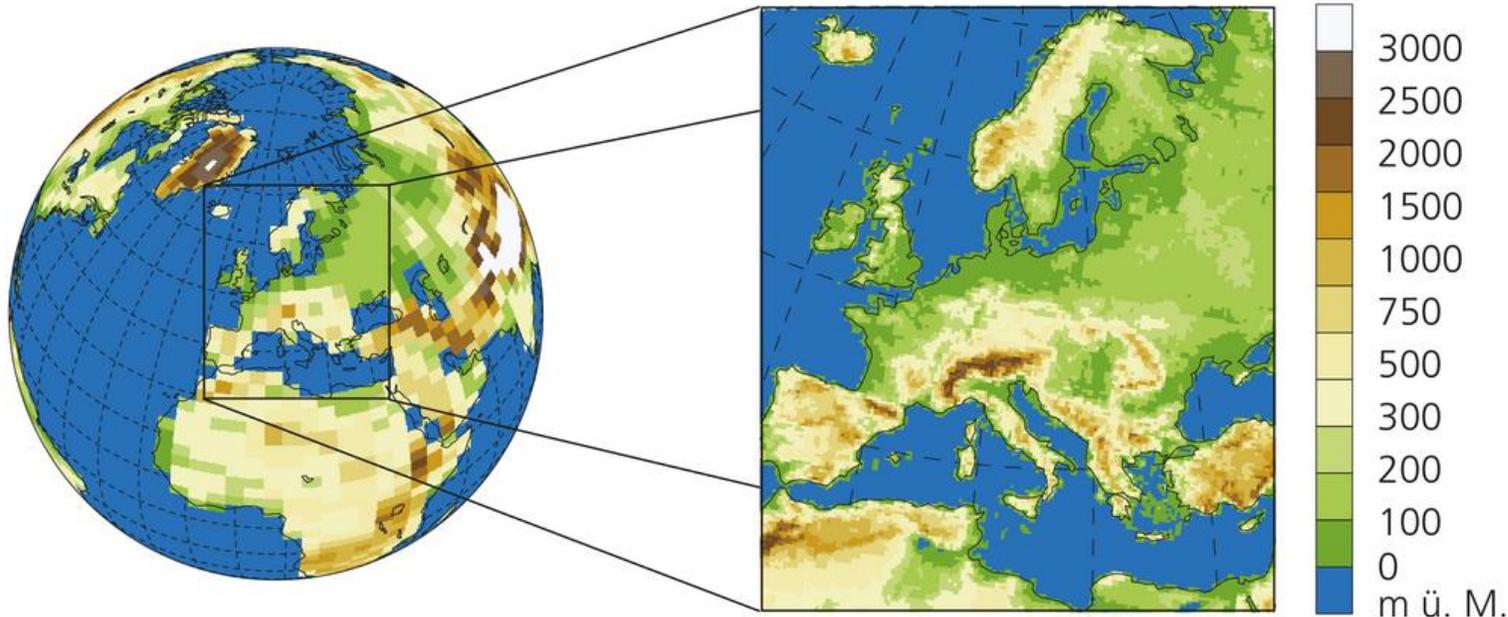
Prozesse wie Konvektion, Wolkenbildung oder Turbulenzen, die auf kleineren Skalen als die Modellauflösung ablaufen, werden durch physikalische Näherungen (Parametrisierungen) dargestellt

## Regionale Klimamodellierung

Verfeinerung **globaler** Simulation mit Hilfe **regionalem** Klimamodell

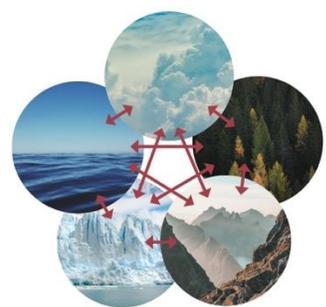
Globales Klimamodell

Regionales Klimamodell  
(EURO-CORDEX)



### Vorteile:

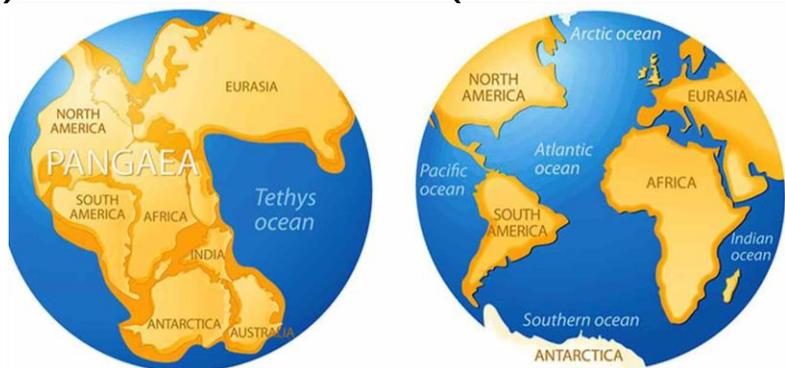
- **Höhere räumliche und zeitliche Auflösung**
- **Bessere Abbildung lokaler Klimabedingungen**
- **Anpassung an regionale Bedürfnisse / Klimaanpassungsstrategien**



# Antriebe im Klimamodell

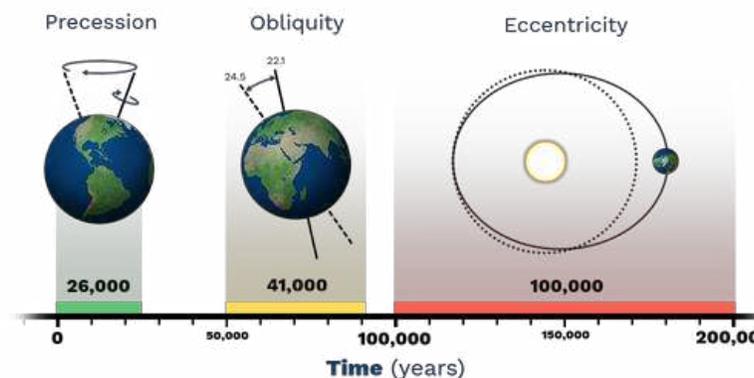
## Natürliche Klimavariabilität:

### (1) Plattentektonik (Jahrmillionen)



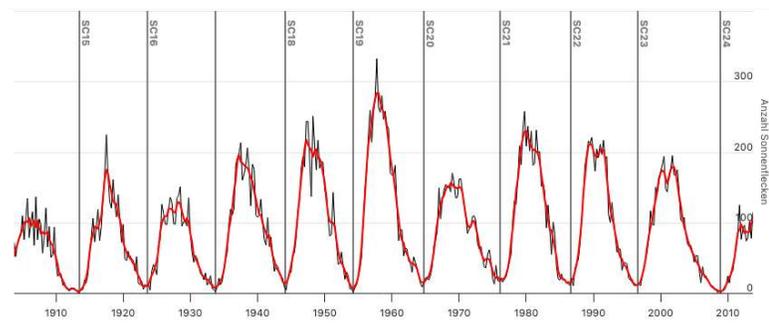
<https://www.geologyin.com>

### (2) Variationen der Erdumlaufbahn (Jahrtausende)



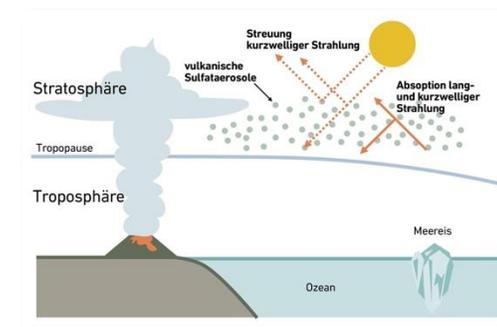
<https://theory.labster.com/astronomical-factors-climate/>

### (3) Sonnenaktivität (Jahrzehnte)

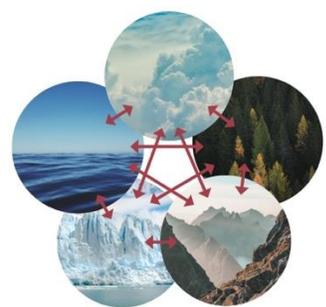


<https://www.spaceweatherlive.com/>

### (4) Vulkanismus (mehrere Jahre)



<https://www.rnd.de/wissen>



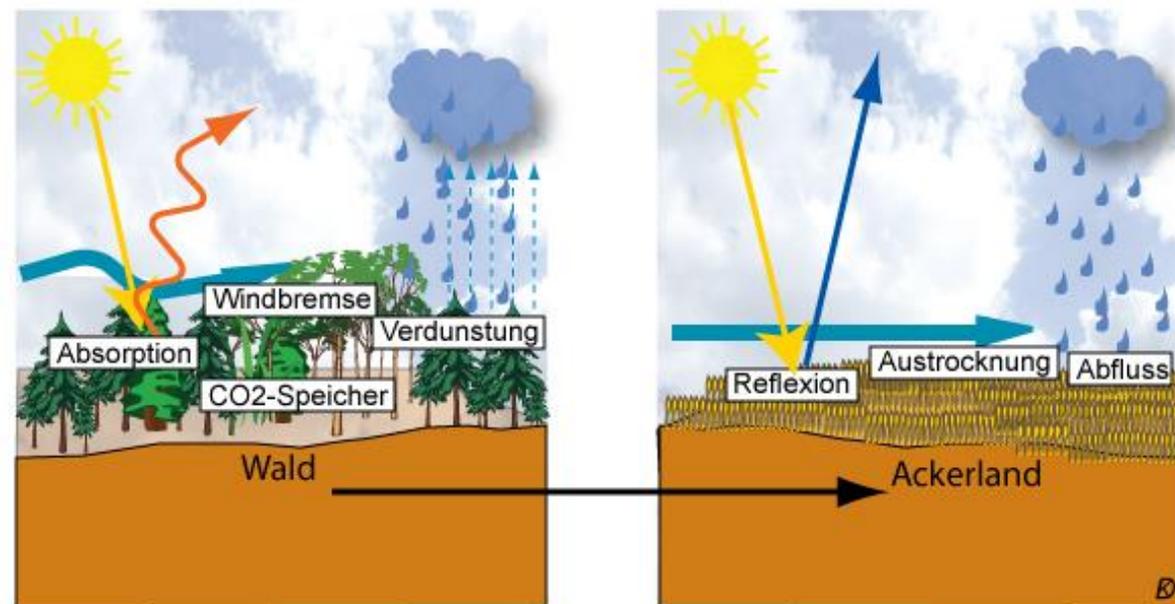
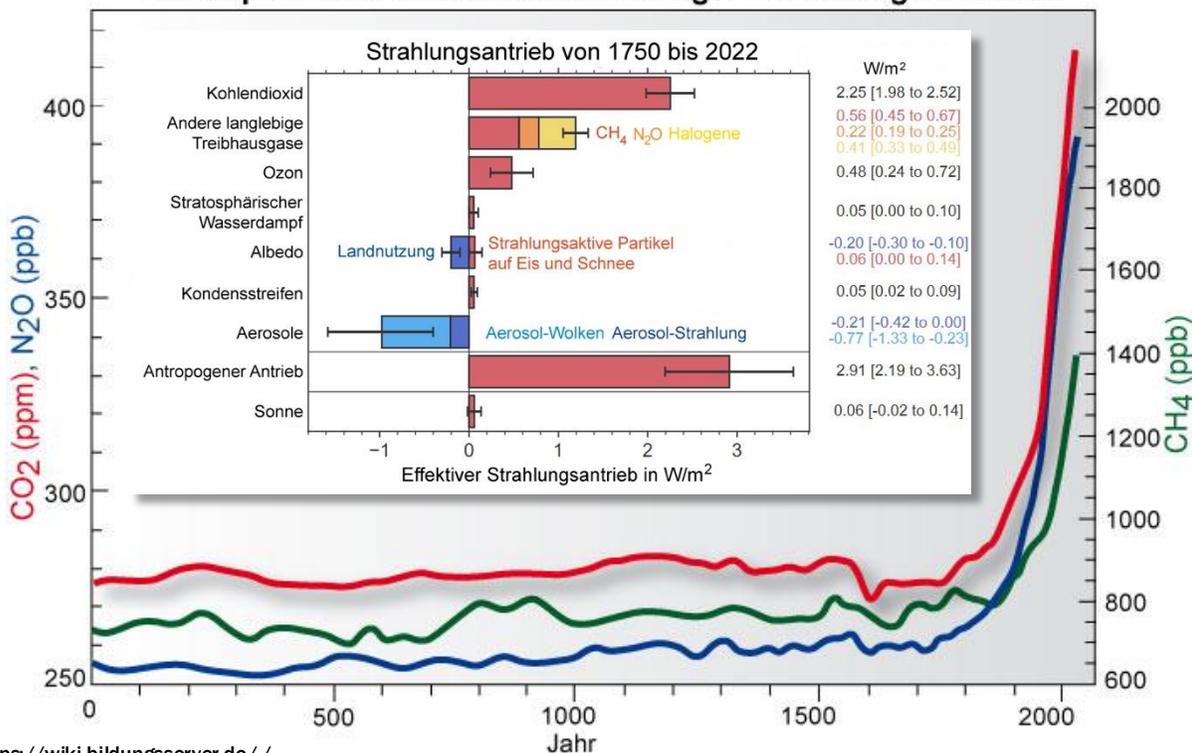
# Antriebe im Klimamodell

## Anthropogene Antriebe:

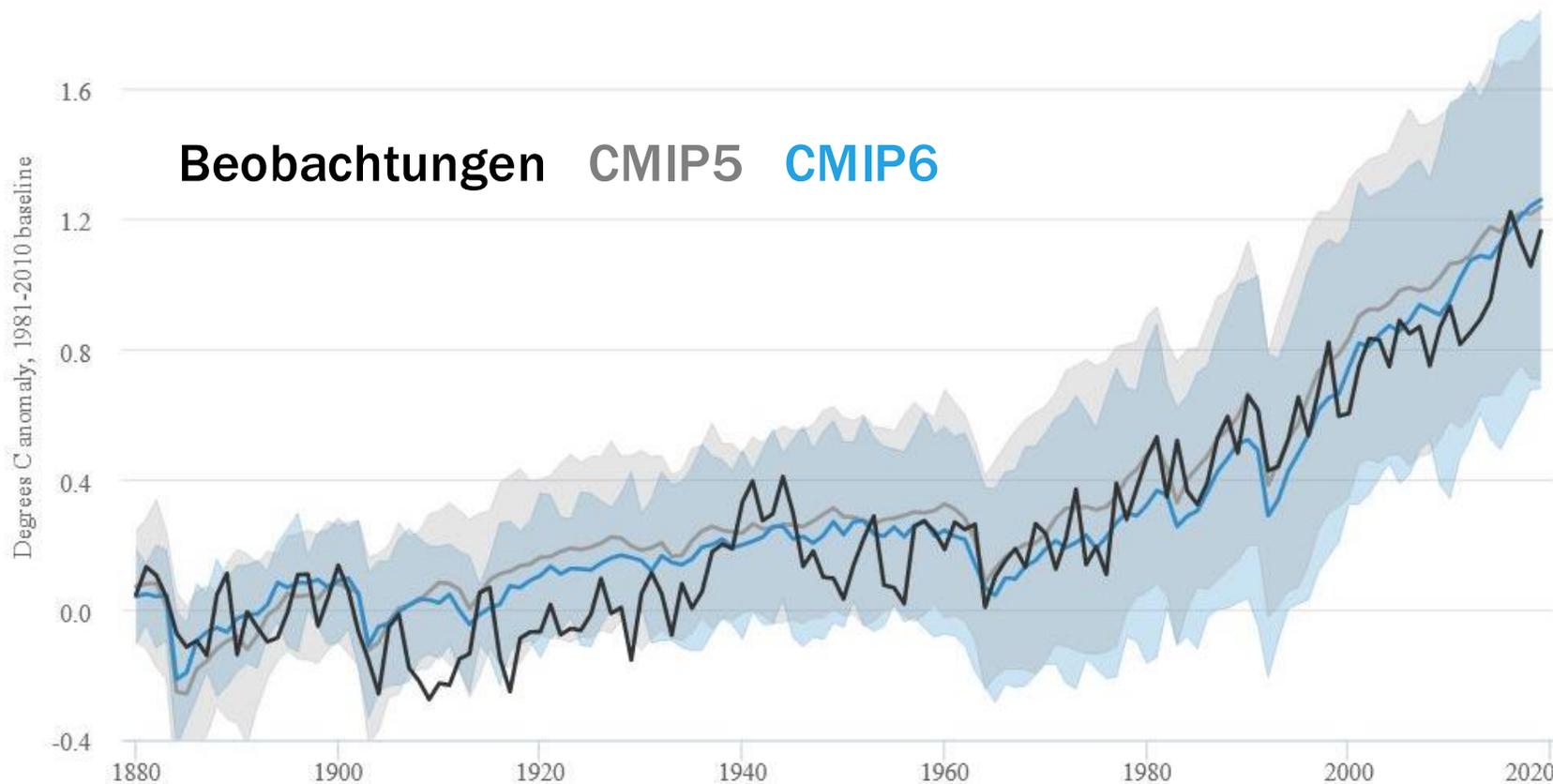
### (1) Treibhausgase

### (2) Landnutzungsänderungen

Atmosphärische Konzentration wichtiger Treibhausgase 0-2022



## Historische Ergebnisse



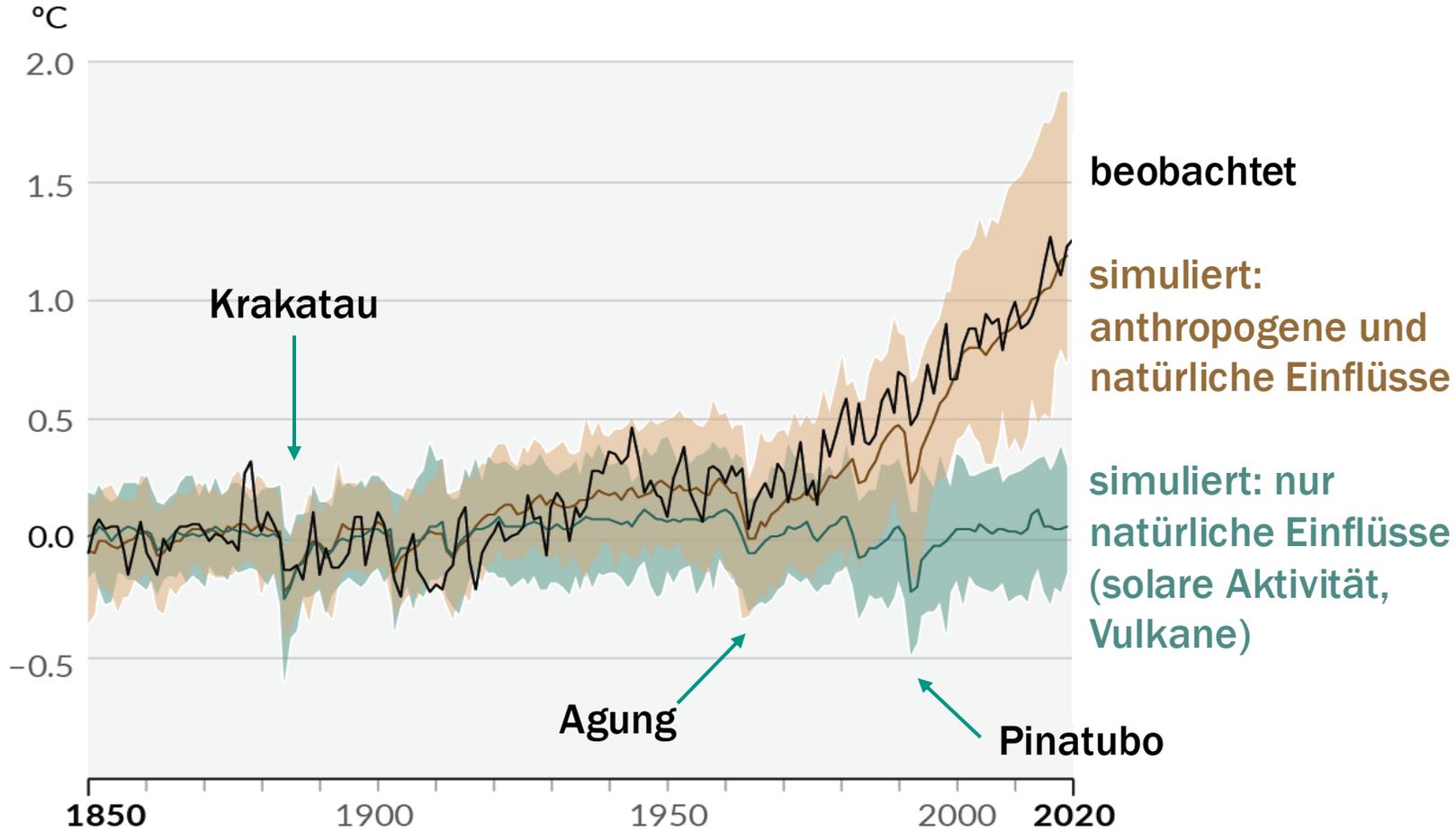
**Klimamodelle sind in der Lage den beobachteten globalen Temperaturanstieg wiederzugeben**

**CMIP: Climate Model Intercomparison Project**

**→ Grundlage der Weltklimaberichte des IPCC**

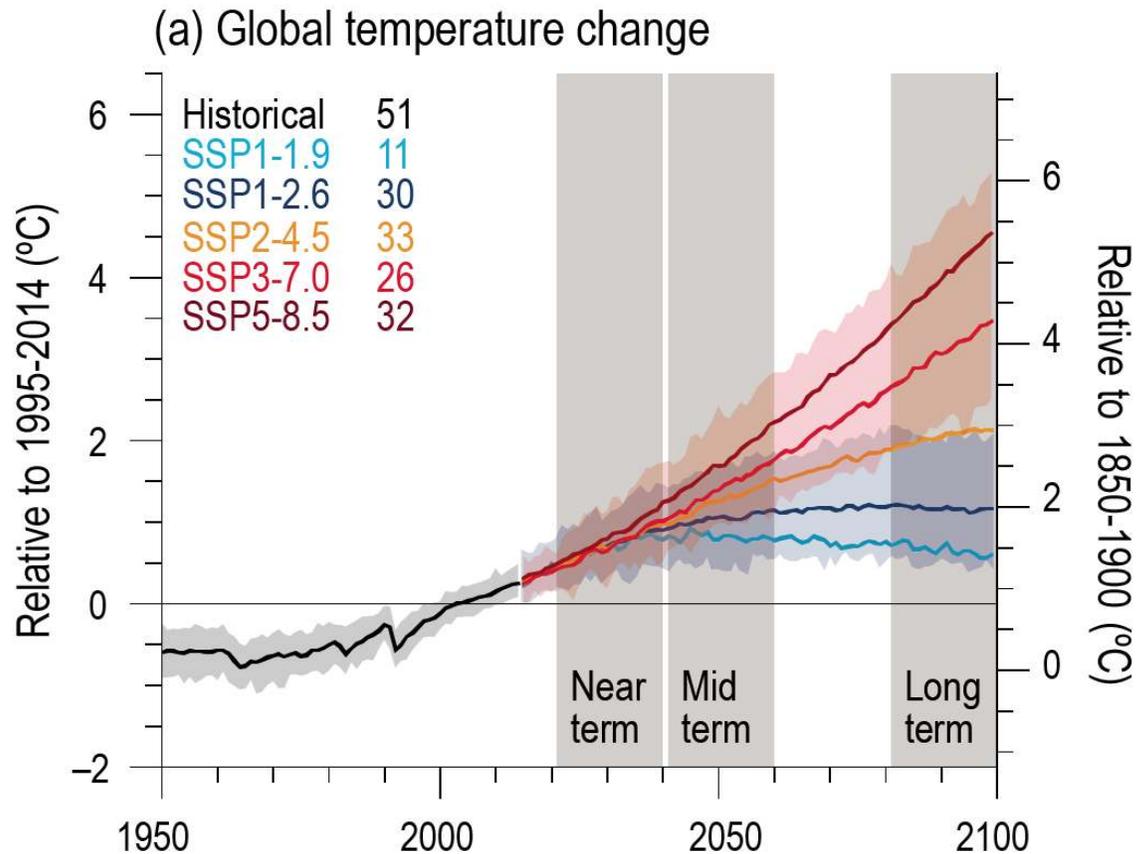
<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel>

## Anthropogener Klimawandel



**Globale beobachteter Temperaturanstieg nur durch anthropogene Einflüsse zu erklären**

## Klimaszenarien



### Annahme unterschiedlicher Zukunftsszenarien

**SSP1: nachhaltiger Weg:** Konsum orientiert sich an geringem Material- und Energieverbrauch.

**SSP2: mittlerer Weg:** schreibt die bisherige Entwicklung fort.

:

:

**SSP5: fossile Entwicklung:** verstärkten Ausbeutung fossiler Brennstoffressourcen mit einem hohen Kohleanteil und weltweit energieintensiven Lebensstil.

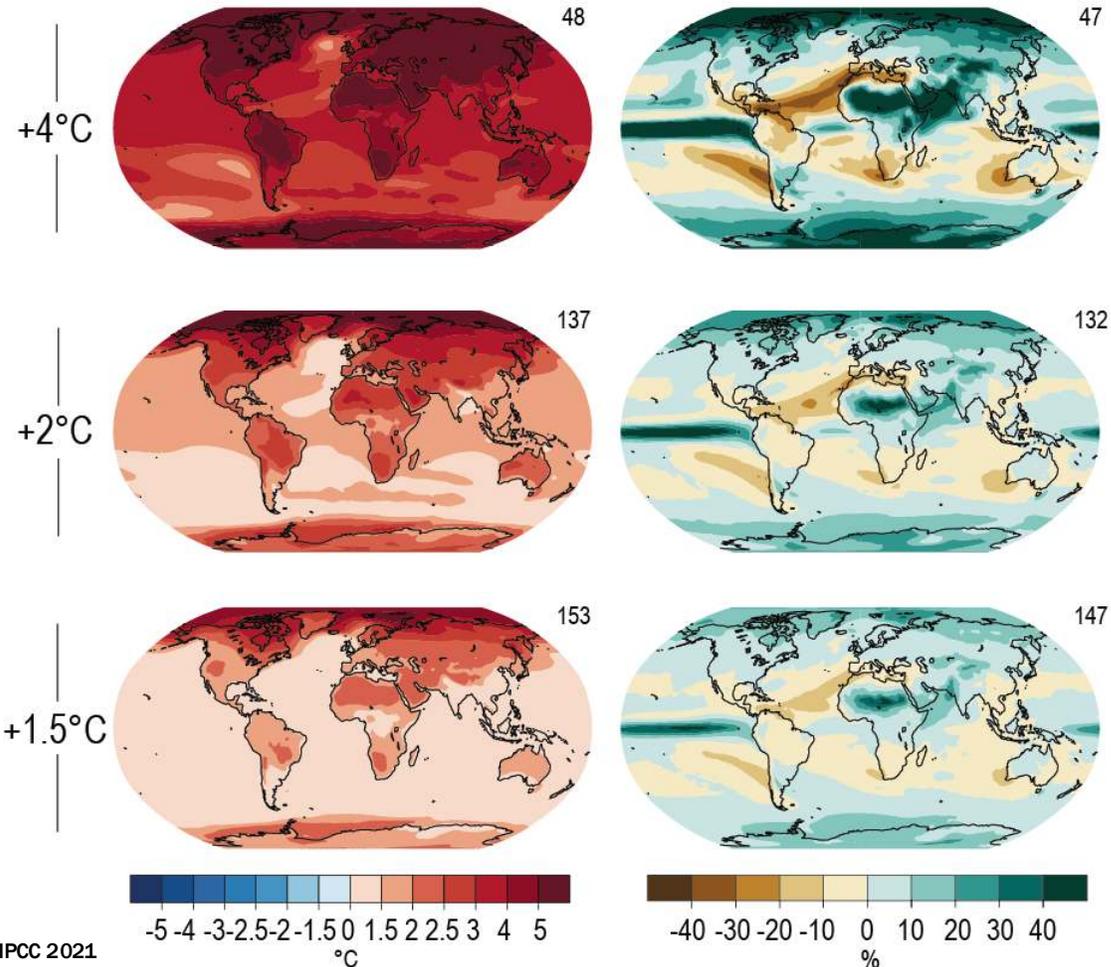
**SSP: Shared Socioeconomic Pathways, dt.: gemeinsame sozioökonomische Entwicklungspfade**

<https://www.dkrz.de/>

## Klimaszenarien

Temperature change

Precipitation change



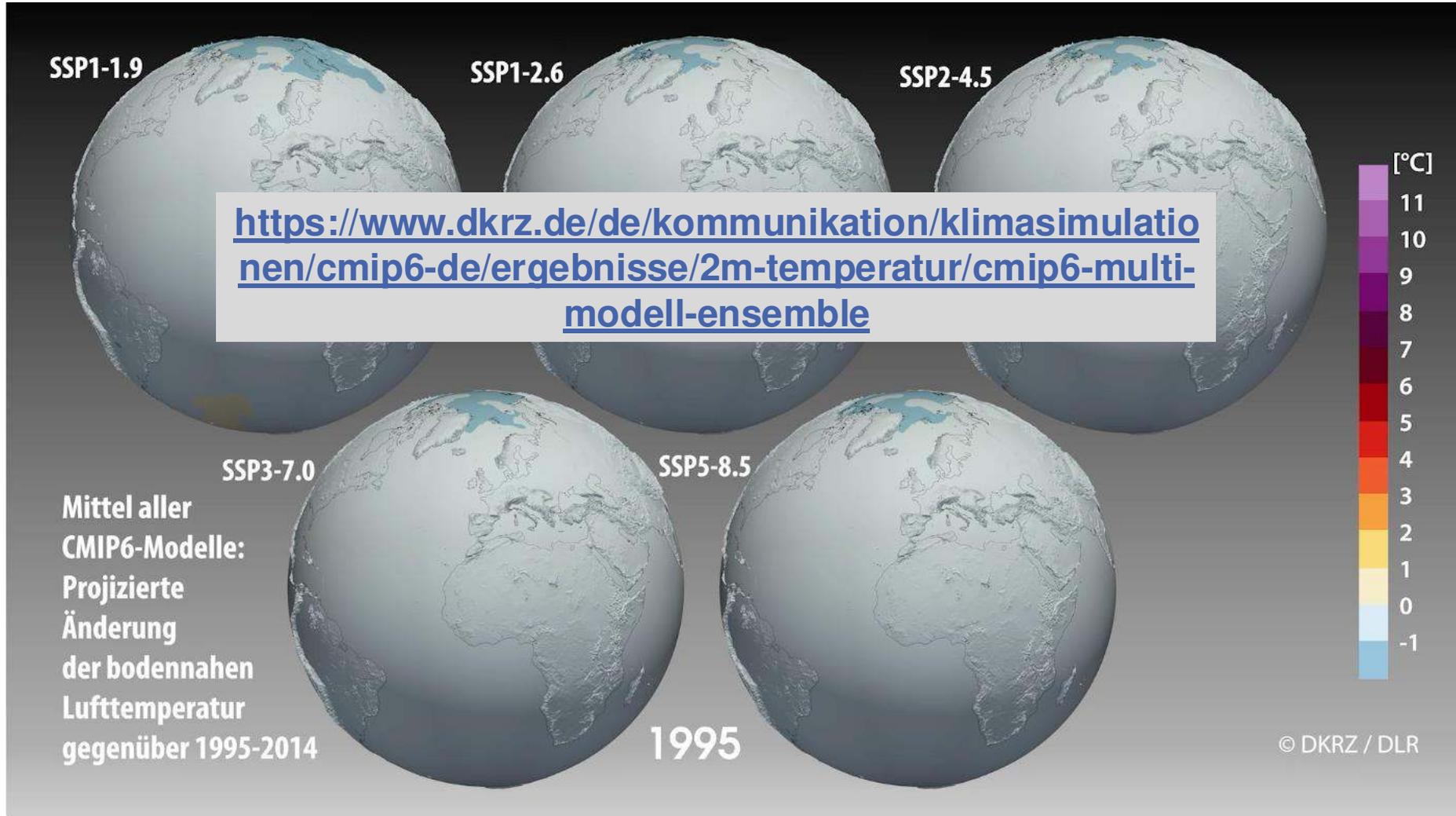
Zunahme der Temperatur nicht homogen

- Stärker Erwärmung über Land
- Stärkste Erwärmung in Polarregionen
- Abhängig von globaler Erwärmung

Unterschiede im Niederschlagssignal, z.B.

- Mittelmeer trockener
- Zunahme in höheren Breiten

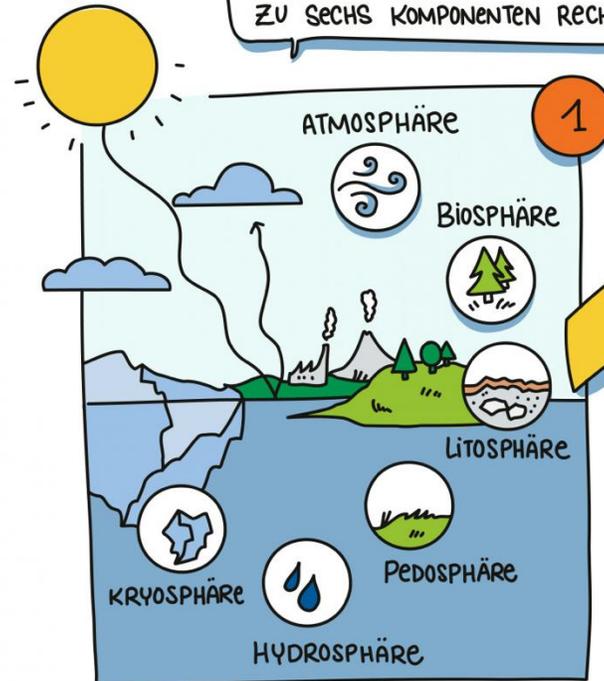
## Klimaszenarien



<https://www.dkrz.de/>

Klimamodelle sind „numerische Labore“, nur sie können die hochkomplexen Prozesse im globalen Klimasystem und dessen Komponenten in Raum und Zeit simulieren können.

Dafür legen wir ein Raster auf unsere Welt, in dem wir mit bis zu sechs Komponenten rechnen



Die Ausprägung über dreißig Jahre nennt man „Klima“, das entspricht der Statistik des Wetters über Jahrzehnte.

Anhand von physikalischen Grundgesetzen können wir Kenngrößen wie Temperatur UND Niederschlag UND Luftfeuchte berechnen UND die Höhe des Meeresspiegels UND Bedeckung mit Meereis abbilden.

3D-Raster auf der Erde

Außerdem können wir so die Veränderung von Extremen wie z.B. Hitzewellen bestimmen.



- 1 ALLE RASTERZELLEN UND BERECHNETEN PROZESSE STEHEN IN WECHSELWIRKUNG ZUEINANDER.
- 2 DIE MASCHENWEITE DES RAUMRASTERS DER NEUESTEN ERDSYSTEMMODELLE BETRÄGT 50-300 KILOMETER.
- 3 EIN GITTER BESTEHT AUS MEHR ALS EINER MILLION GITTERZELLEN.

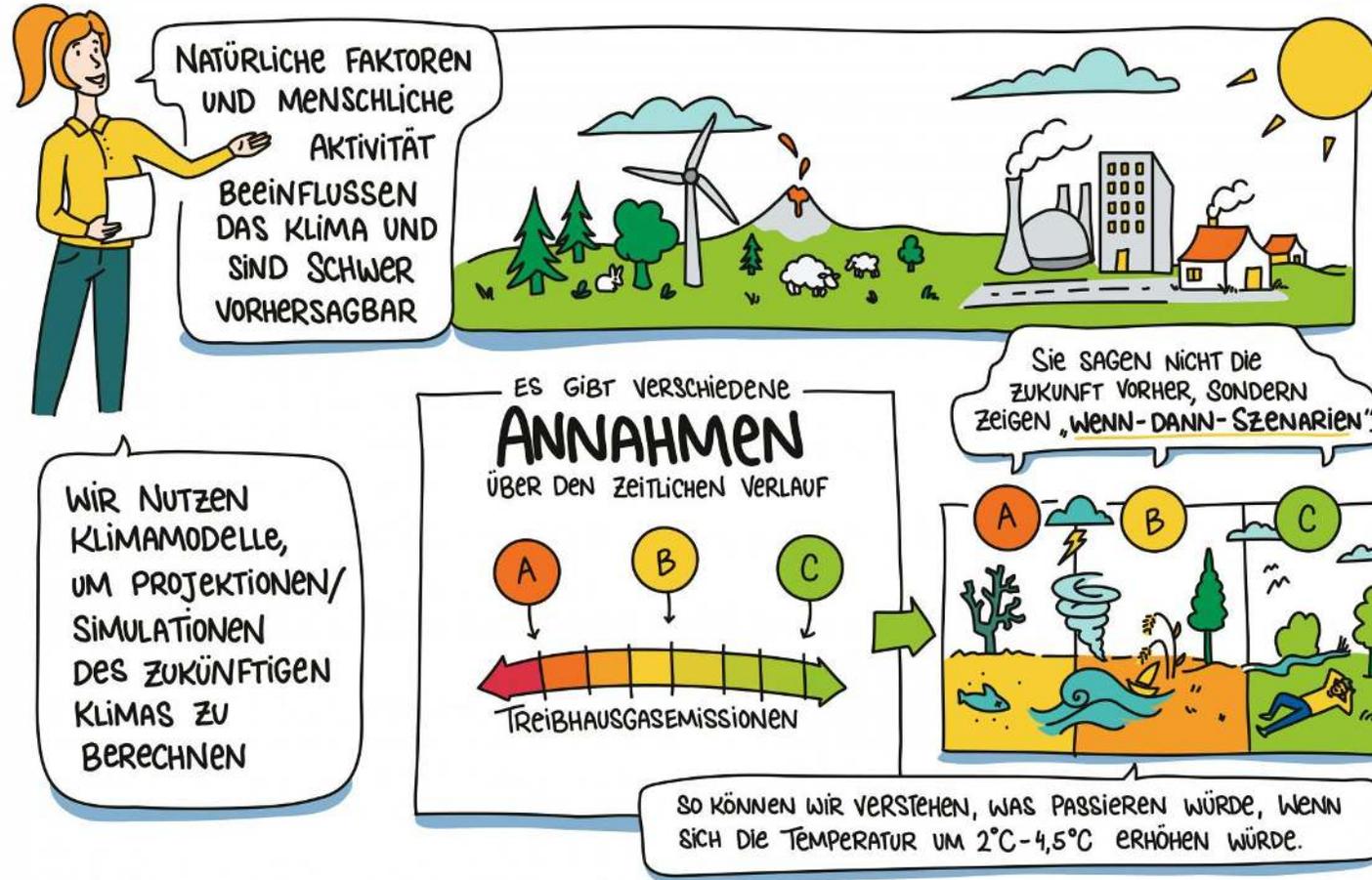
WICHTIG:

ES GIBT NICHT NUR DAS EINE, RICHTIGE KLIMAMODELL, SONDERN MEHRERE VERSCHIEDENE, DIE ÄHNLICH WAHRSCHEINLICH SIND.



Dieses „ENSEMBLE“ LIEFERT EIN GENAUERES BILD VON MODELL-UNSIKERHEITEN UND MÖGLICHEN KLIMAENTWICKLUNGEN.

© LORNA SCHÜTTE



OBWOHL KLIMAMODELLE IMMER PRÄZISER WERDEN, GIBT ES EINIGE PUNKTE, DIE MAN IM KOPF BEHALTEN SOLLTE:



KOMPLEXE PROZESSE IM KLIMASYSTEM WIE DIE ENTSTEHUNG VON WOLKEN LASSEN SICH NUR SCHWER ABBILDEN.

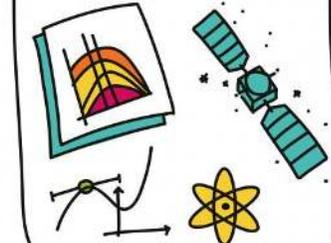
WIE PRÄZISE MODELLE KLIMARELEVANTE PROZESSE ABBILDEN KÖNNEN, HÄNGT VON DER RÄUMLICHEN AUFLÖSUNG UND DAMIT DER RECHENLEISTUNG VON COMPUTERN AB.

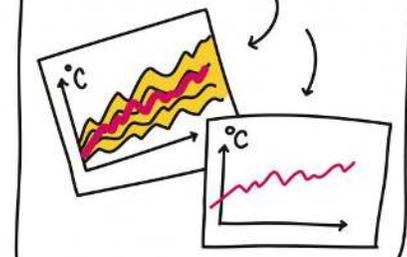
UM DAS KLIMA AUS FRÜHEREN ZEITEN ZU VERSTEHEN, BRAUCHEN WIR „NATÜRLICHE KLIMAARCHIVE“, WIE BAUMRINGE ODER EISKERNE. MIT DIESEN DATEN KÖNNEN WIR KLIMAMODELLE TESTEN.

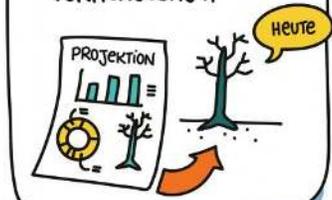
© LORNA SCHÜTTE

ABER: ES GIBT VIELE GRÜNDE FÜR DIE VERLÄSSLICHKEIT:

1. KLIMAMODELLE BASIEREN AUF PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN UND BEOBSACHTUNGEN


2. AKTUELLE KLIMAMODELLE KÖNNEN WICHTIGE ASPEKTE DES KLIMAS REPRODUZIEREN.


3. VERSCHIEDENE FRÜHERE KLIMAMODELLE HABEN DIE AKTUELLEN ENTWICKLUNGEN DER LETZTEN ZWEI JAHRZEHNTE GUT VORHERGESAGT.



DAHER SIND KLIMAMODELLE EIN ZUVERLÄSSIGES INSTRUMENT, UM DAS KLIMASYSTEM ZU VERSTEHEN.

