

Physikalische Modellierung des Klimas

Laurens Maske

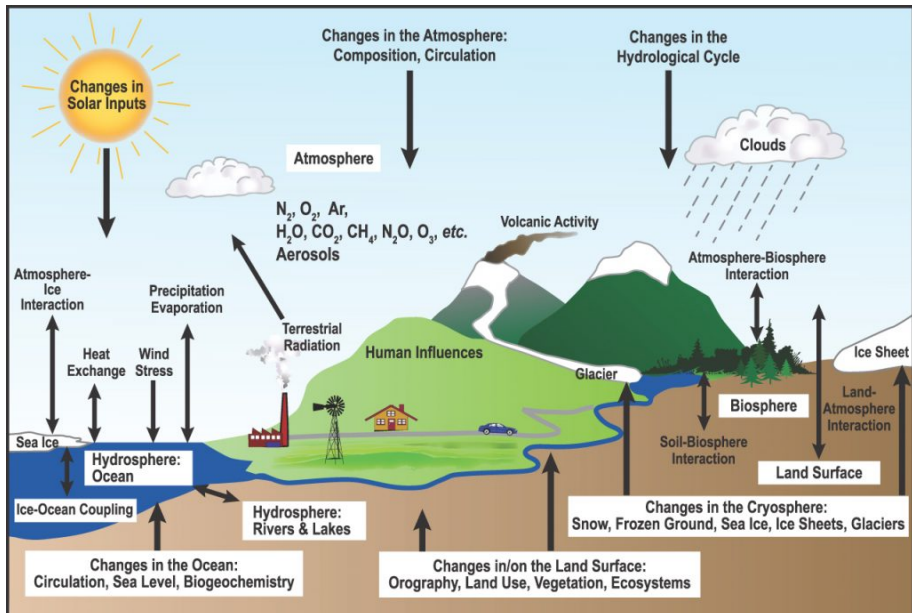
Physikalisches Proseminar, 07.06.2023

- 1 Vom Wetter- zum Klimamodell
- 2 Klimamodelle
- 3 Vereinfachungen
- 4 Probleme der Klimamodelle
- 5 Globale Erwärmung
- 6 Physik Nobelpreis 2021

- Wetter $\hat{=}$ Dynamik der Größen der Erdatmosphäre
- Größen im Allgemeinen stark nichtlineare Systeme
- Zustand des Systems nach gewisser Zeit unbekannt
- später nur statistische Aussagen über Variablen möglich

- Klimamodelle beruhen auf Wettermodellen
- extrem komplizierte Computerprogramme
- Variablen werden mit gekoppelten, partiellen Differentialgleichungen beschrieben
- Gleichungen beruhen auf Empirie und Erhaltungsgrößen
- selbst für größte Supercomputer nicht lösbar

Klimamodelle

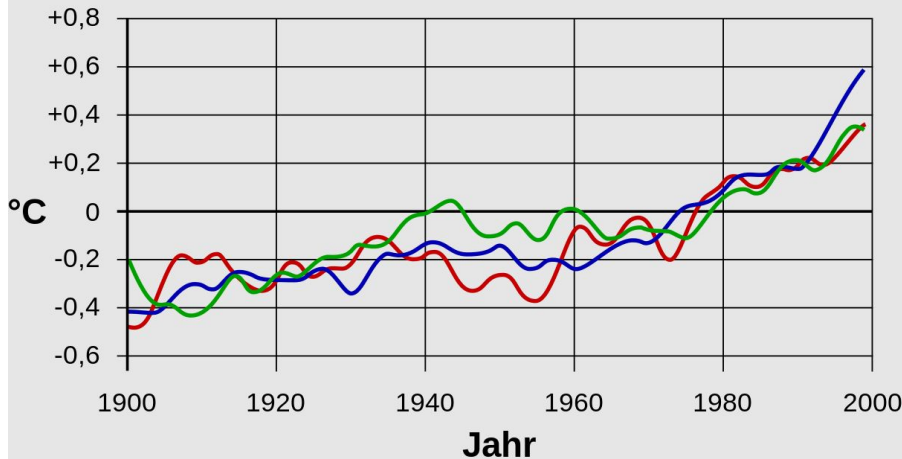


- kontinuierlichen Parameter Ort und Zeit werden diskretisiert
- Ableitungen werden auf Gitterpunkte runtergebrochen
- feineres Gitter verringert numerische Fehler
- Praxis nutzt unregelmäßige Gittersysteme

- Knotendetails sind relevant
- Parametrisierungen bringen Modelle an Beobachtungen
- Modell wird mit historischen Daten geprüft
- lernbasierte Algorithmen werden zunehmend wichtig

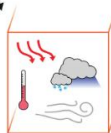
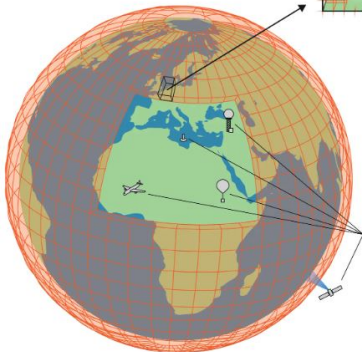
Mittlere Temperaturabweichungen (Global)

— Beobachtungen — Kanadisches Modell — Hadley-Modell



Klimamodelle unterteilen die Atmosphäre und die Ozeane in viele Abschnitte.

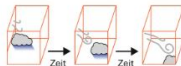
In dem Volumen liegen neben- und übereinander zahlreiche, mehrere Kilometer große Zellen. Je feiner das Gitter ist, desto besser kann ein Modell die physikalischen Vorgänge erfassen. Doch mit der Anzahl an Zellen steigt die nötige Rechenleistung enorm an.



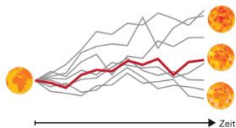
Das Klimamodell verarbeitet für jeden Quader Größen wie Temperatur, Druck oder Feuchtigkeit. Es erfasst möglichst alle wichtigen Phänomene auf und über der Erde in Form von Gleichungen und Parametern.

Messwerte von weltweit verteilten Stationen, Sonden und Satelliten dienen als Grundlage – und als Kontrolle.

Wechselwirkungen



Jeder Zeitschritt der Simulation liefert die Änderungen der Größen in jedem Quader. Das hängt auch davon ab, was in den benachbarten geschieht.



Trotz nahezu identischer Startbedingungen entwickeln sich alle Simulation etwas anders – prinzipielle Ungenauigkeiten wirken sich mit der Zeit verschieden aus. In eine Prognose fließen darum etliche individuelle Durchläufe ein.



So entsteht eine mögliche Zukunft für den ganzen Globus.

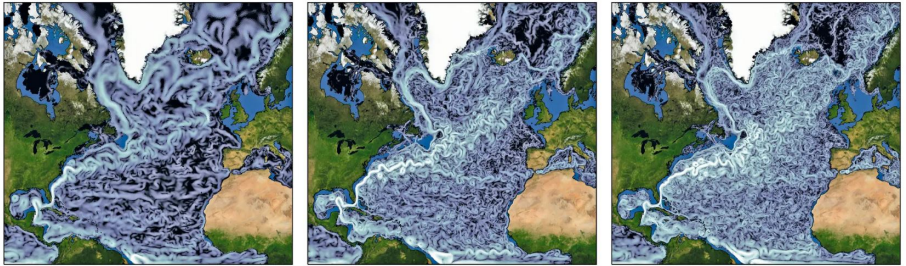
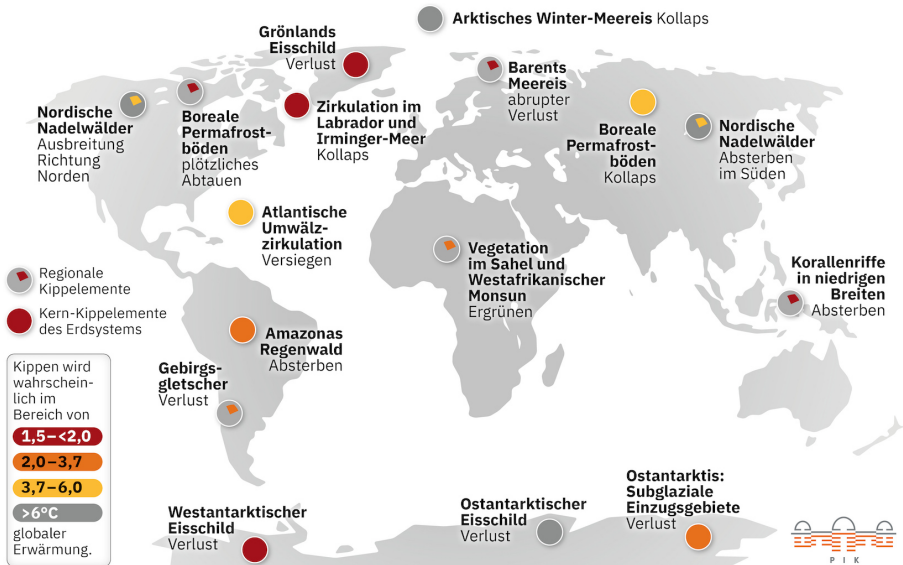


Abb. zu Strömungen des Atlantiks mit 24, 8, 4 km Gitterdistanz

- alle Klimaeinflüsse sind nicht zu berücksichtigen
- genaue physikalische Wechselwirkungen oft nicht bekannt
- Modelle erklären erdgeschichtlich abrupte Klimawechsel nicht
- Kippelemente sind schwer zu berücksichtigen

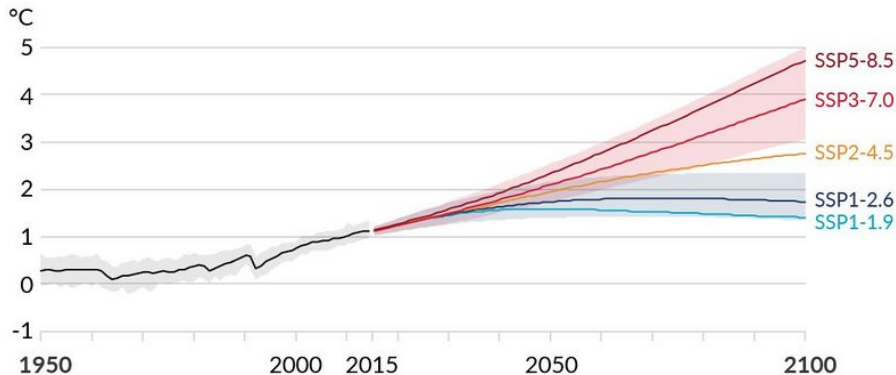
Kippelemente

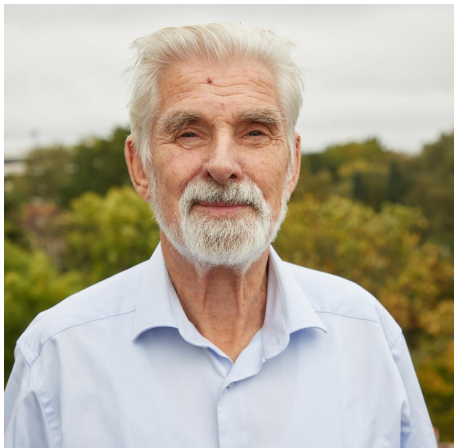


- Datenlage der Klimageschichte unvollständig
- Geschwindigkeit der Erwärmung historisch
- verschiedene Voraussetzungen ergeben unterschiedliche Szenarien
- Klimaprognose $\hat{=}$ Mittelung verschiedener Klimaszenarien
- Schneeballeffekte

Temperaturprognose

Global surface temperature change relative to 1850-1900





Syukoro Manabe und Klaus Hasselmann

- erstes Computermodell der Klimaforschung
- Modell zur Ozean-Atmosphären-Kopplung
- Modellierungen der Klimasensitivität
- Zusammenhang zwischen CO_2 -Konzentration und Erwärmung der Erdoberfläche

- entwickelte stochastisches Modell
- handhabt Fluktuationen analog zur Molekularbewegung
- Einfluss zufälliger klimatischer Veränderungen aufs Gesamtklima untersucht
- beide Arbeiten prägten Klimaforschung

- <https://www.nzz.ch/wissenschaft/klimawandel-wie-funktionieren-eigentlich-klimamodelle-ld.1655016>
- <https://klimasimulationen.de/modelle/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Klimamodell>
- <https://www.klimafakten.de/behauptungen/behauptung-klimamodelle-sind-nicht-verlaesslich>
- <https://www.ardalpha.de/wissen/nobelpreis/nobelpreis-2021-physik-physiknobelpreis-preistraeger-100.html>

- <https://www.weltderphysik.de/thema/nobelpreis/nobelpreis-fuer-physik-2021/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/SyukuroManabe>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/KlausHasselmann>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/KippelementeimErdklimasystem>
- <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationenkohlendioxid>
- <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/klima/golfstrom-meeresstroemung-klimawandel-erwaermung-100.html>