

Geodäsie in der Klimaforschung

Satellitengravimetrie zur Evaluierung von Klimamodellen

Dr.-Ing. Laura Jensen

HafenCity Universität Hamburg

10. Hamburger Forum für Geomatik
11. Mai 2022



Spektrum.de

15. Februar 2022

KLIMASTATISTIK

Klimawandel macht Dürre zur Megadürre

Nach einem sehr trockenen Jahr 2021 ist die aktuelle Dürre im westlichen Nordamerika die trockenste Phase seit 1200 Jahren. Sie wäre ohne den Menschen kürzer und milder gewesen.

von Lars Fischer



© THEPICTHING / GETTY IMAGES / ISTOCK (AUSSCHNITT)

<https://www.spektrum.de/news/klimastatistik-klimawandel-macht-duerre-zur-megaduerre/1988140>

Studie zeigt Zusammenhang

24. August 2021

Klimawandel, Flut an Ahr und Erft – und die Frage nach dem Verschulden

Durch den Klimawandel haben sich die Wahrscheinlichkeit und die Intensität extremer Regenfälle in Westeuropa erhöht. Das ist das Ergebnis einer Studie, die die Rolle des Klimawandels bei den verheerenden Überschwemmungen im Juli an Ahr und Erft in Deutschland sowie an der Maas in Belgien untersucht hat.



Eine neue Studie ordnet die Hochwasser-Katastrophe an Ahr und Erft dem Klimawandel zu (dpa / David Young)

<https://www.deutschlandfunk.de/studie-zeigt-zusammenhang-klimawandel-flut-an-ahr-und-erft-100.html>

SIXTH ASSESSMENT REPORT

Working Group I – The Physical Science Basis

9. August 2021

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



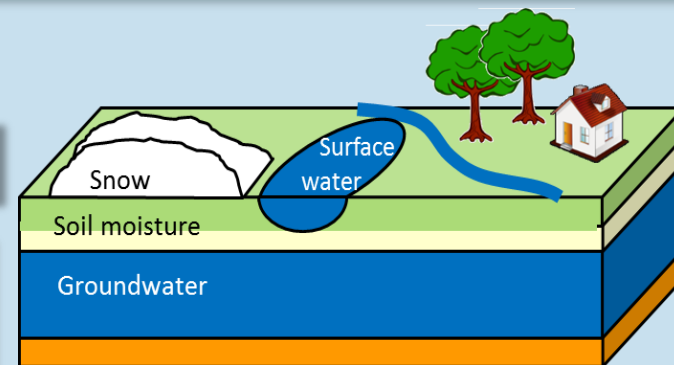
B. Possible Climate Futures

B.3 Continued global warming is projected to further intensify the global water cycle, including its variability, global monsoon precipitation and the severity of wet and dry events.

Information über zukünftiges Klima → Klimamodelle

Vertrauenswürdig? → Validierung mit Beobachtungen

Terrestrischer Wasserspeicher (TWS)
→ Kann mit Satellitengravimetrie beobachtet werden



(Wie) können wir Satellitengravimetrie zur Evaluierung von Klimamodellen nutzen?

SIXTH ASSESSMENT REPORT

Working Group I – The Physical Science Basis

9. August 2021

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



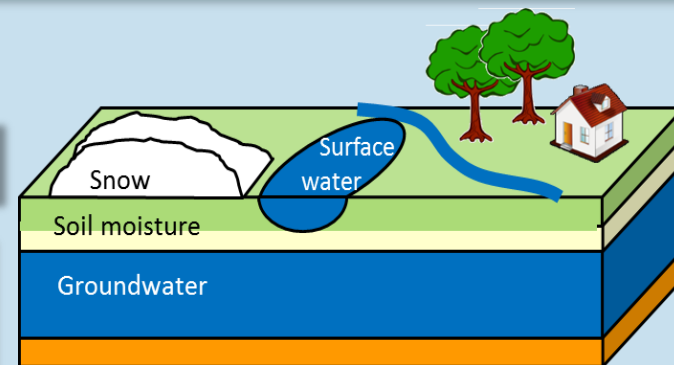
B. Possible Climate Futures

B.3 Continued global warming is projected to further intensify the global water cycle, including its variability, global monsoon precipitation and the severity of wet and dry events.

Information über zukünftiges Klima → Klimamodelle

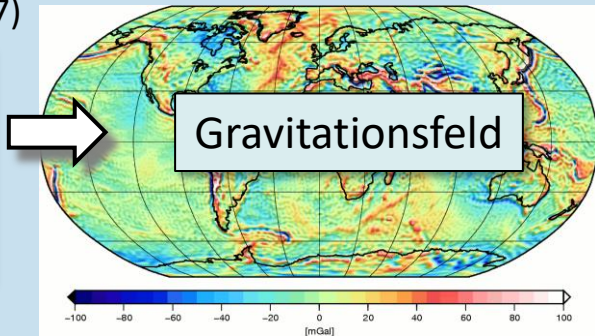
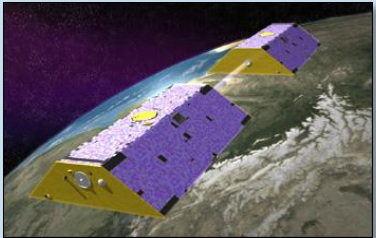
Vertrauenswürdig? → Validierung mit Beobachtungen

Terrestrischer Wasserspeicher (TWS)
→ Kann mit Satellitengravimetrie beobachtet werden

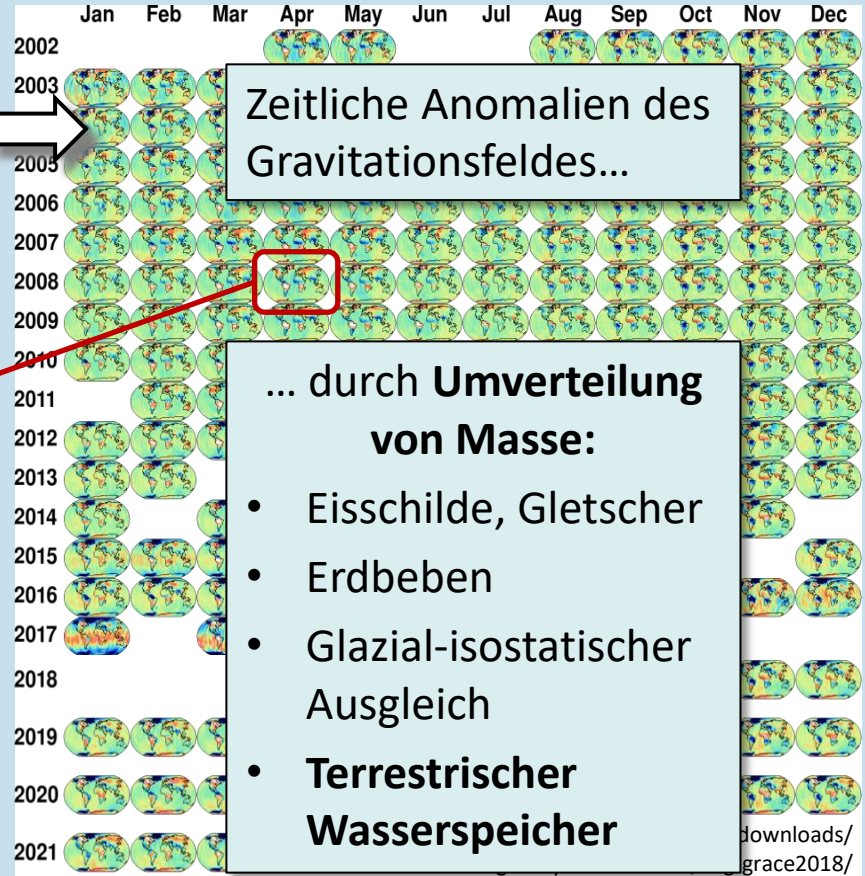


(Wie) können wir Satellitengravimetrie zur Evaluierung von Klimamodellen nutzen?

GRACE (03/2002-10/2017)



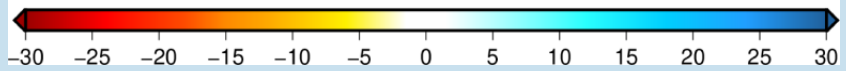
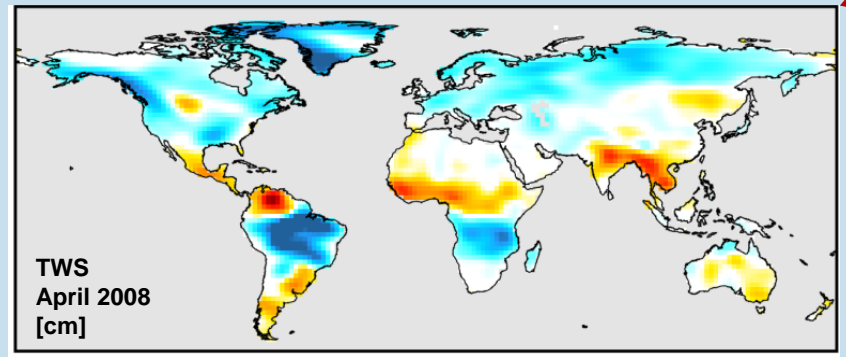
GRACE Follow-On
(seit 05/2018)



Zeitliche Anomalien des Gravitationsfeldes...

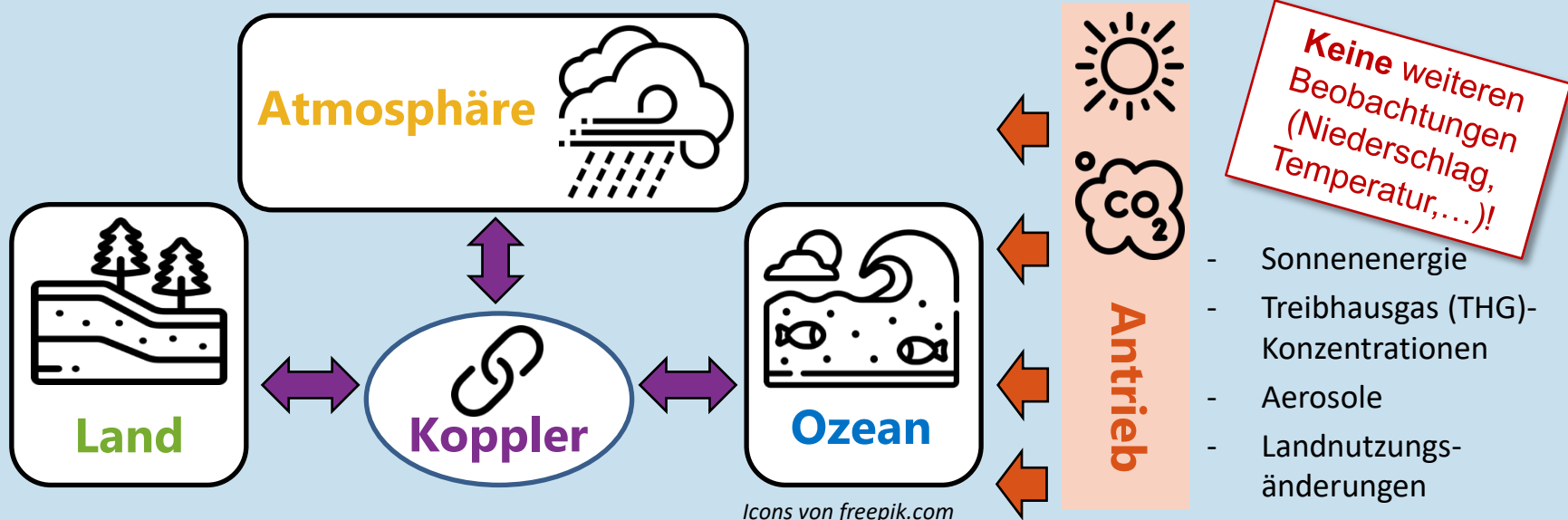
... durch **Umverteilung von Masse:**

- Eisschilde, Gletscher
- Erdbeben
- Glazial-isostatischer Ausgleich
- **Terrestrischer Wasserspeicher**

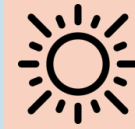
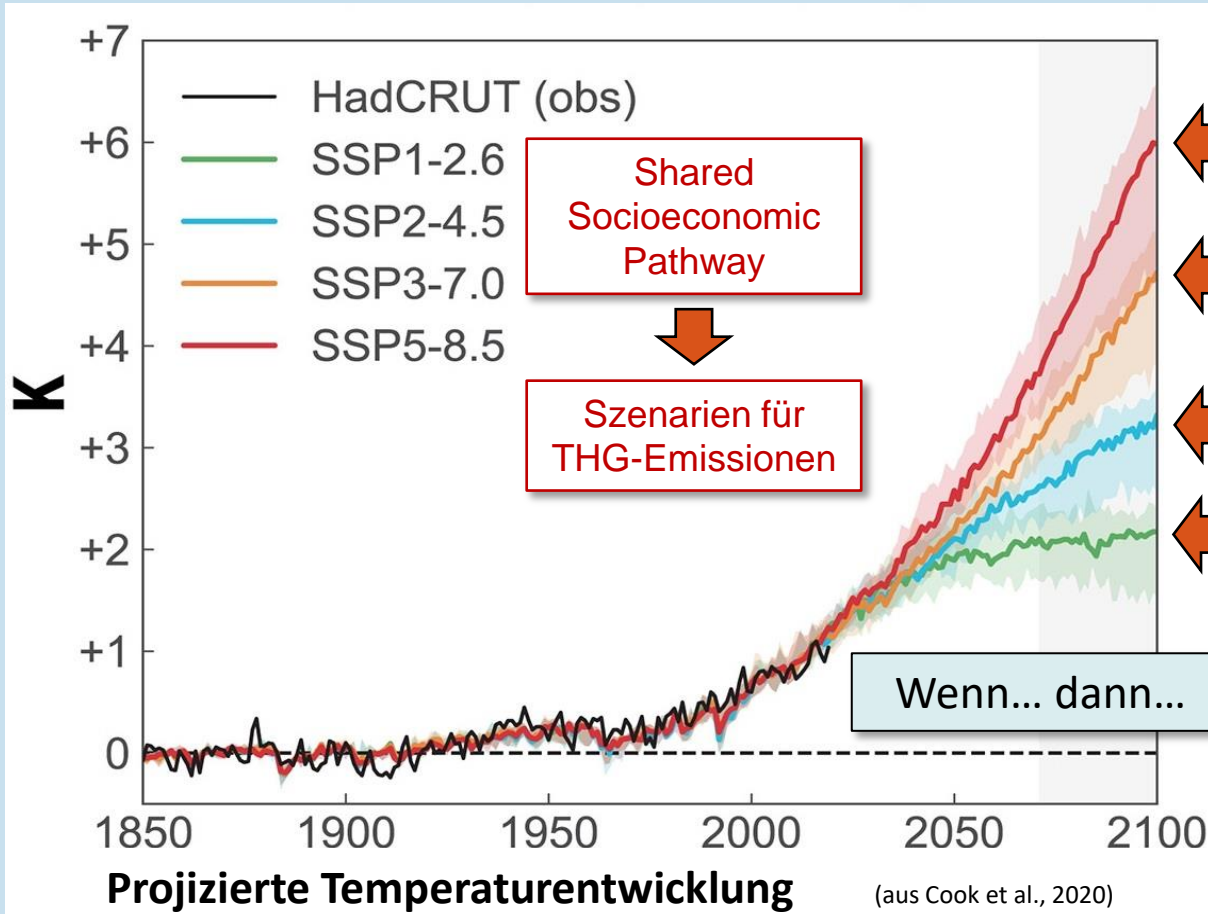


weniger Wasser

mehr Wasser



Gekoppelte Klimamodelle

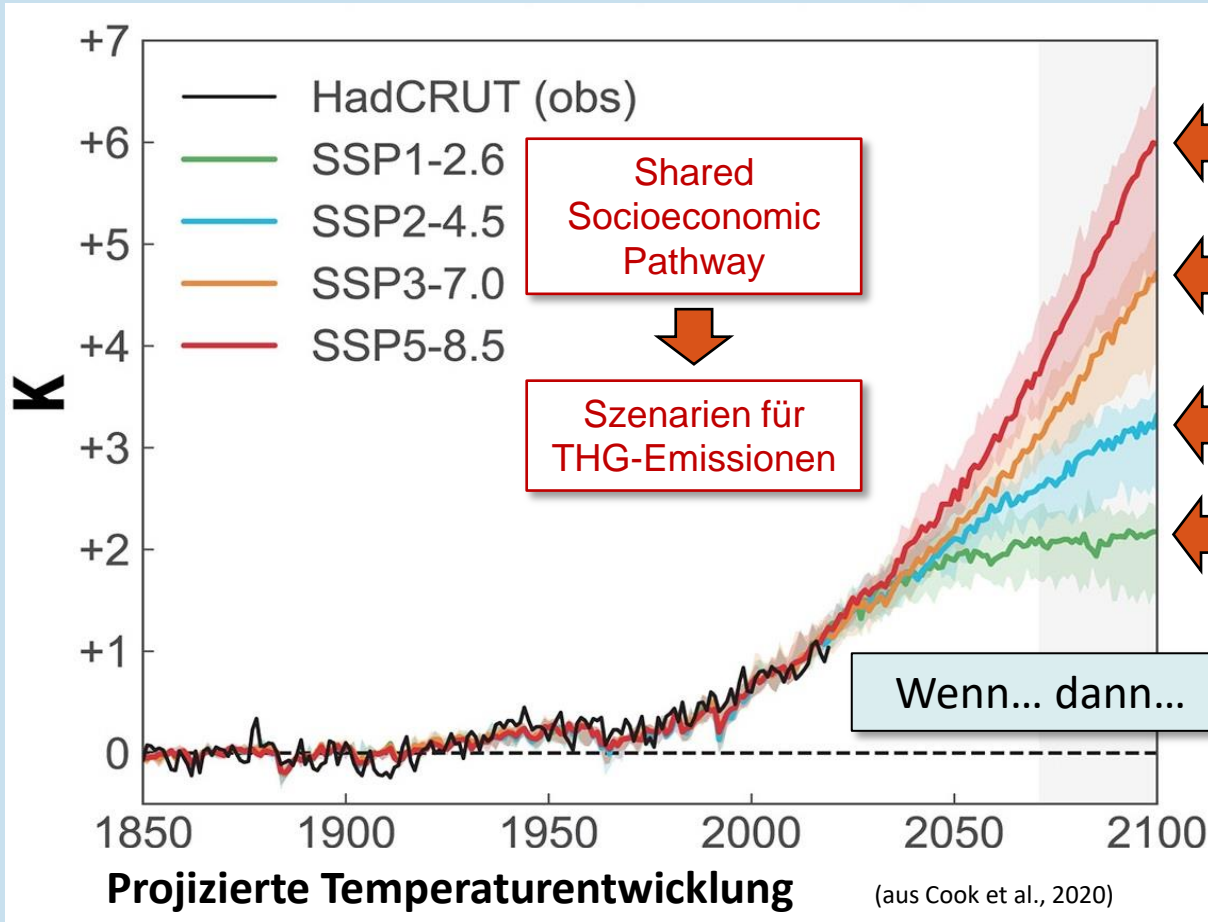


Antrieb

Keine weiteren Beobachtungen (Niederschlag, Temperatur,...)!

- Sonnenenergie
- Treibhausgas (THG)-Konzentrationen
- Aerosole
- Landnutzungsänderungen

Gekoppelte Klimamodelle



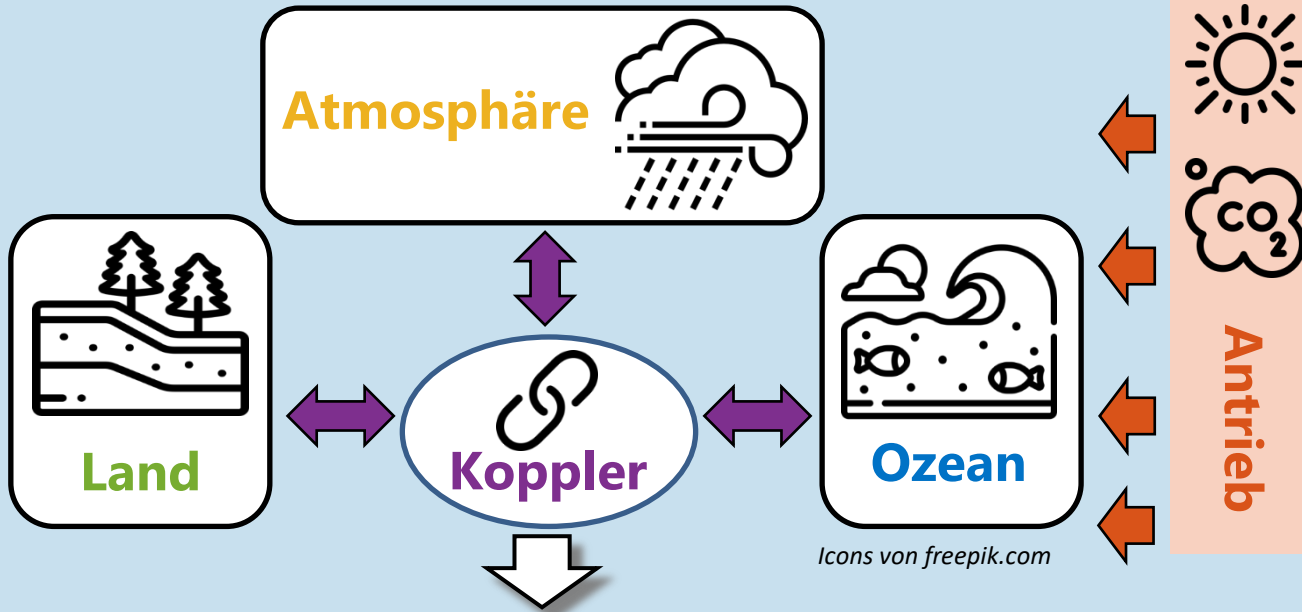
Antrieb

Keine weiteren Beobachtungen (Niederschlag, Temperatur,...)!

- Sonnenenergie
- Treibhausgas (THG)-Konzentrationen
- Aerosole
- Landnutzungsänderungen

Gekoppelte Klimamodelle

Initialisierung



Keine weiteren Beobachtungen (Niederschlag, Temperatur,...)!

- Sonnenenergie
- Treibhausgas (THG)-Konzentrationen
- Aerosole
- Landnutzungsänderungen

Icons von freepik.com

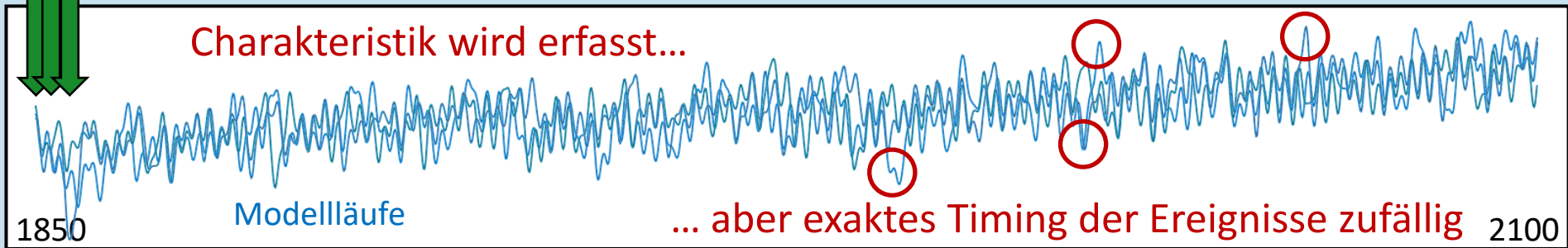
Klimavariablen (z.B. Bodenfeuchte) über ~250 Jahre



Herausforderungen bei der Nutzung von Satellitengravimetrie zur Evaluierung:

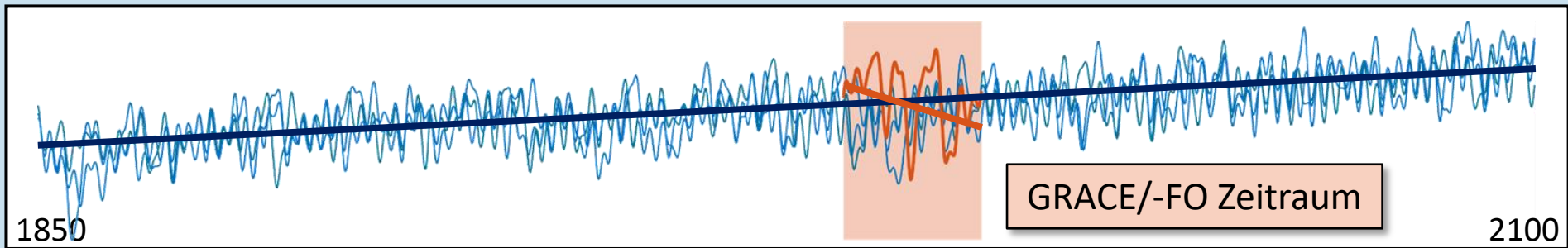
Initialisierung

1 Stochastische Charakteristik von Klimamodell-Zeitreihen



Herausforderungen bei der Nutzung von Satellitengravimetrie zur Evaluierung:

- 1 Stochastische Charakteristik von Klimamodell-Zeitreihen
- 2 Kurzer Beobachtungszeitraum, interannuale Variationen
- 3 Konzeptionelle Unterschiede der Variablen TWS



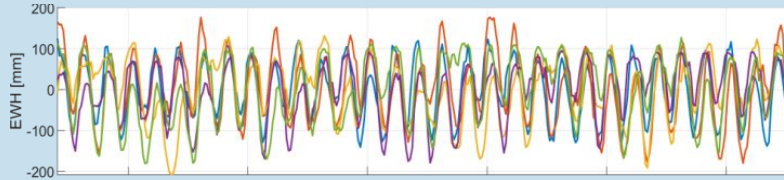
Herausforderungen bei der Nutzung von Satellitengravimetrie zur Evaluierung:

1 Stochastische Charakteristik von Klimamodell-Zeitreihen

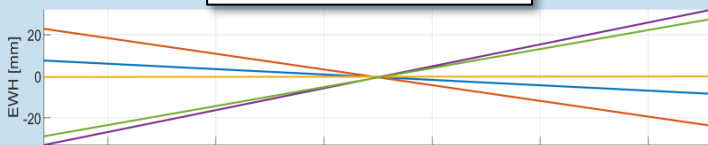
2 Kurzer Beobachtungszeitraum, interannuale Variationen

Kein direkter Vergleich auf Zeitreihenebene sinnvoll!

=> Signalzerlegung

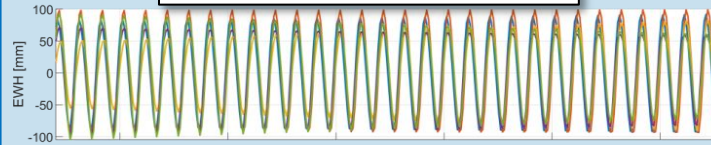


Linearer Trend



Wird es langfristig trockener oder feuchter?

+ Amplitude & Phase



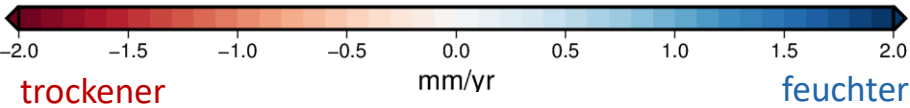
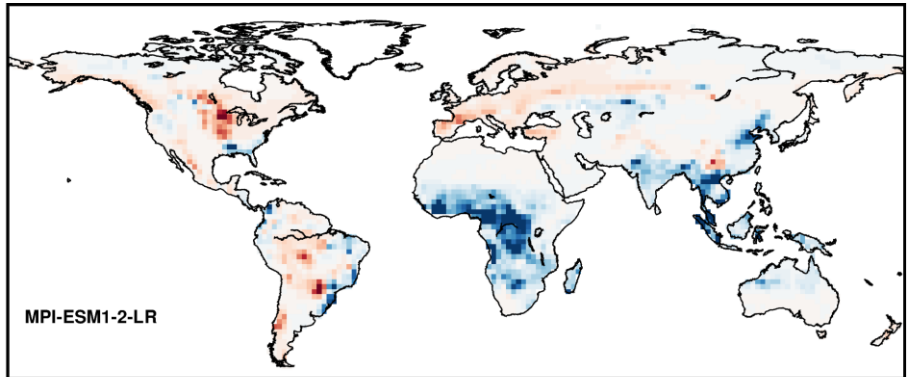
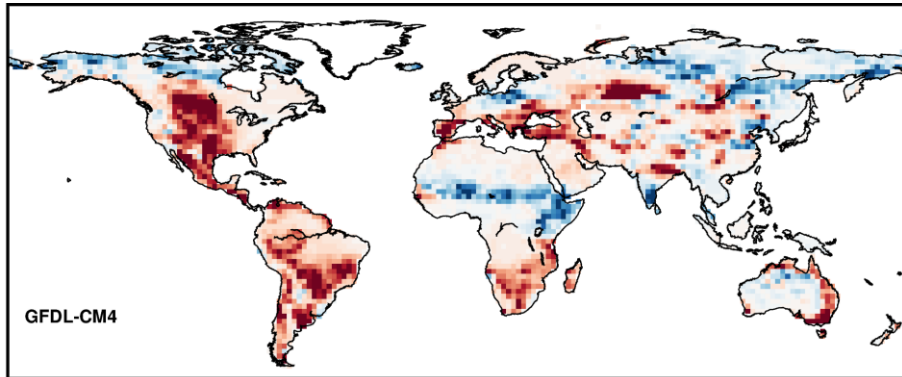
Jahreszeitliche Schwankungen (Sommer/Winter)

+ Restsignal

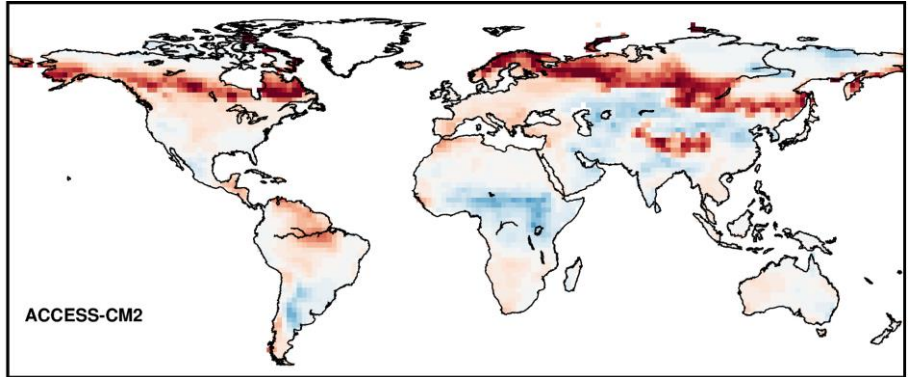
1. Lineare Langzeit-Trends

Wo wird es trockener oder feuchter?

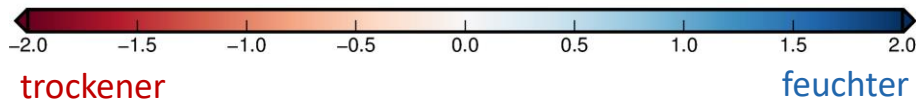
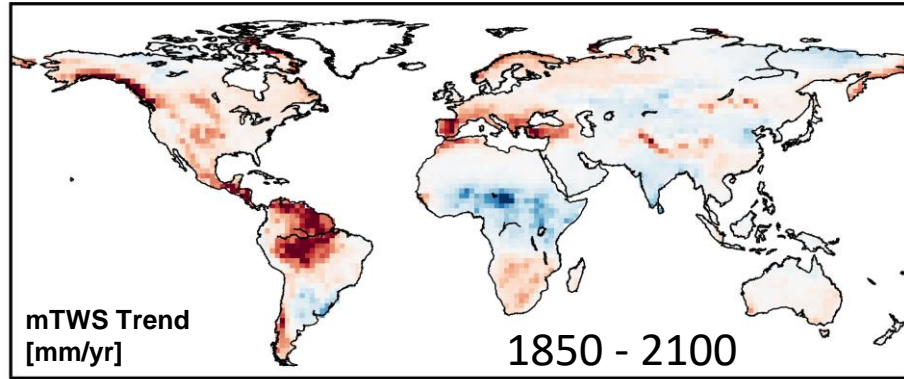
Jensen, L., Eicker, A., Dobslaw, H., Stacke, T., & Humphrey, V. (2019). Long-term wetting and drying trends in land water storage derived from GRACE and CMIP5 models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(17-18), 9808-9823.



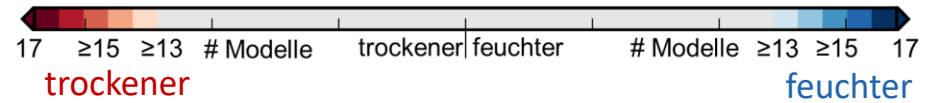
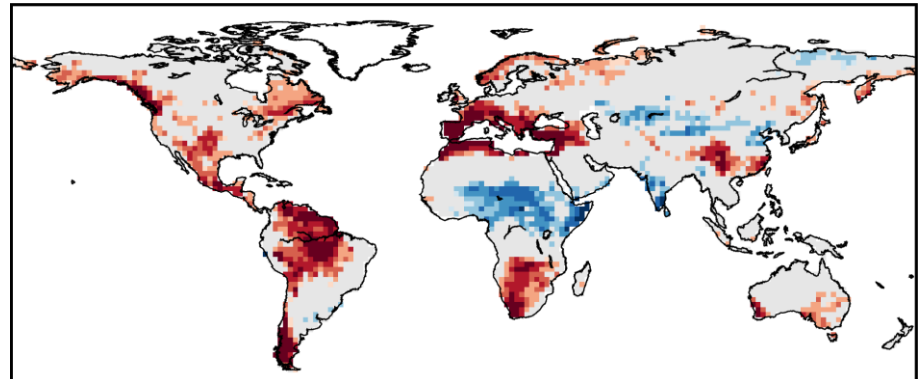
Linearer TWS Trend über 1850 - 2100
für einen Klimamodelllauf



→ Große Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen



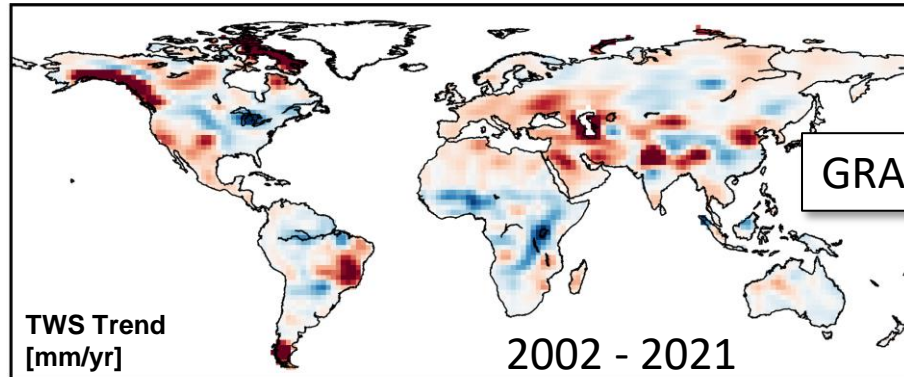
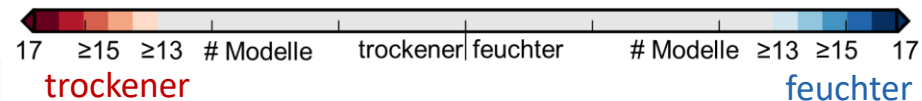
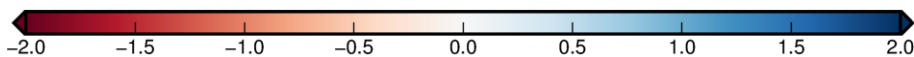
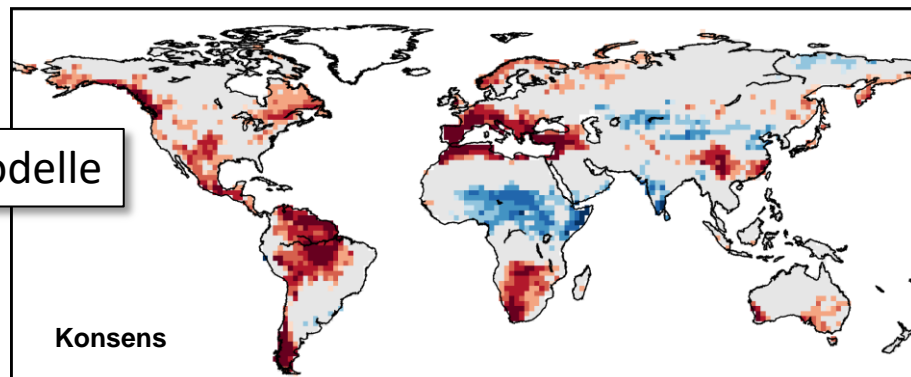
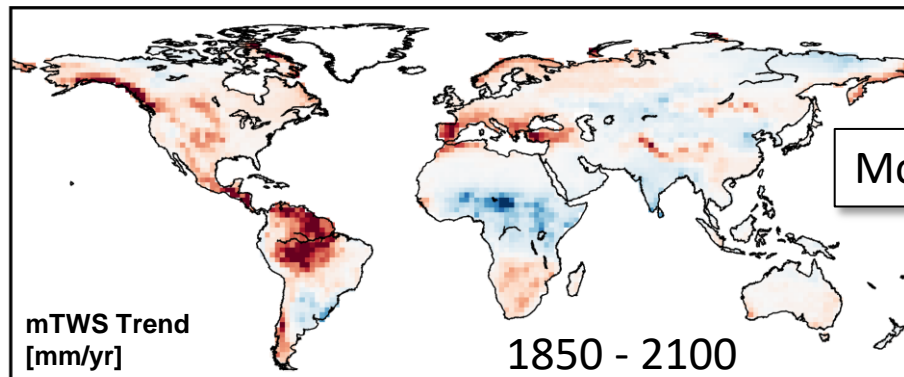
Mittelwert des Trends aus 17 Modellen



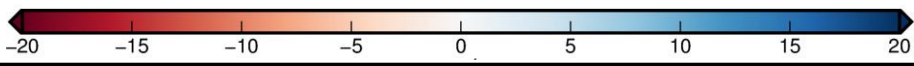
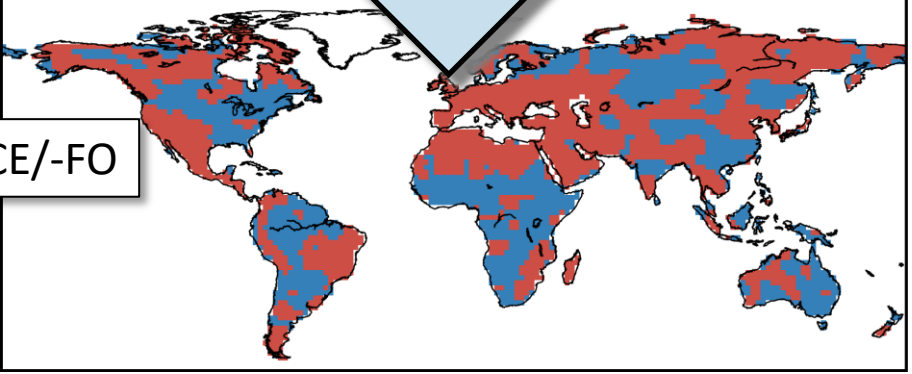
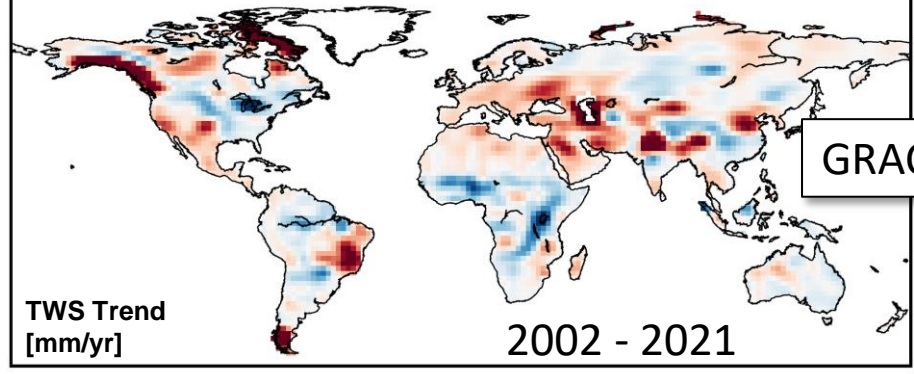
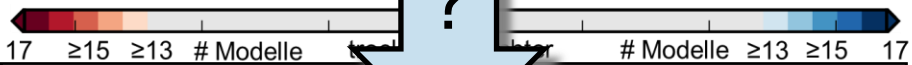
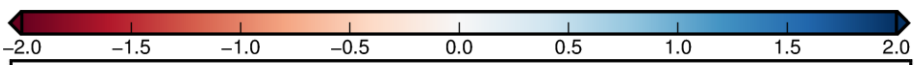
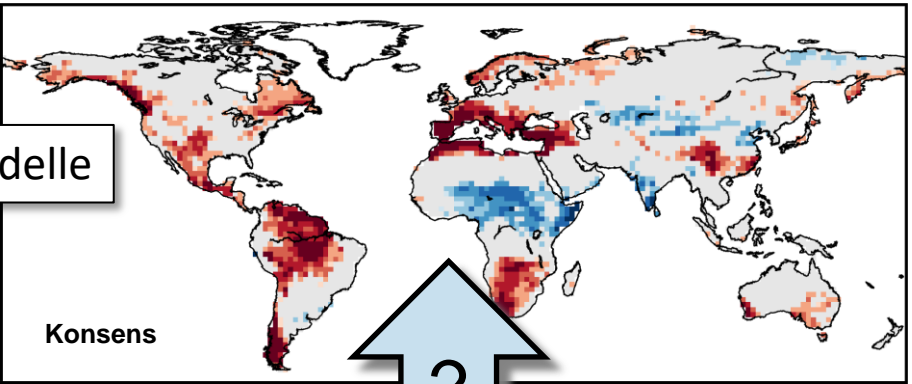
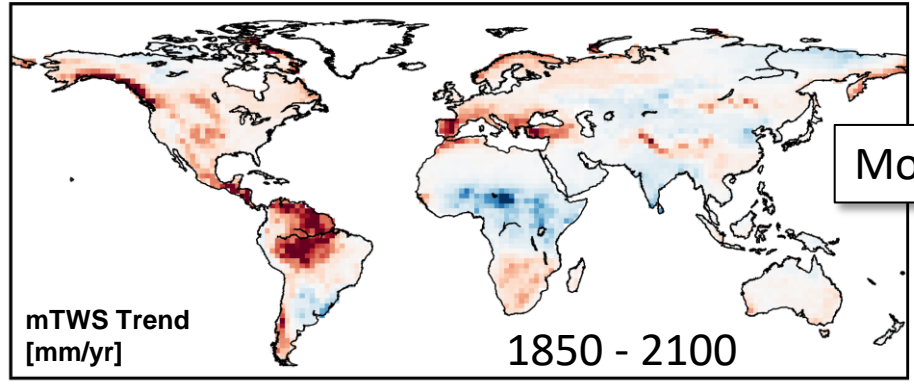
Konsens

= Anzahl der Modelle, die über das
Vorzeichen des Trends einig sind

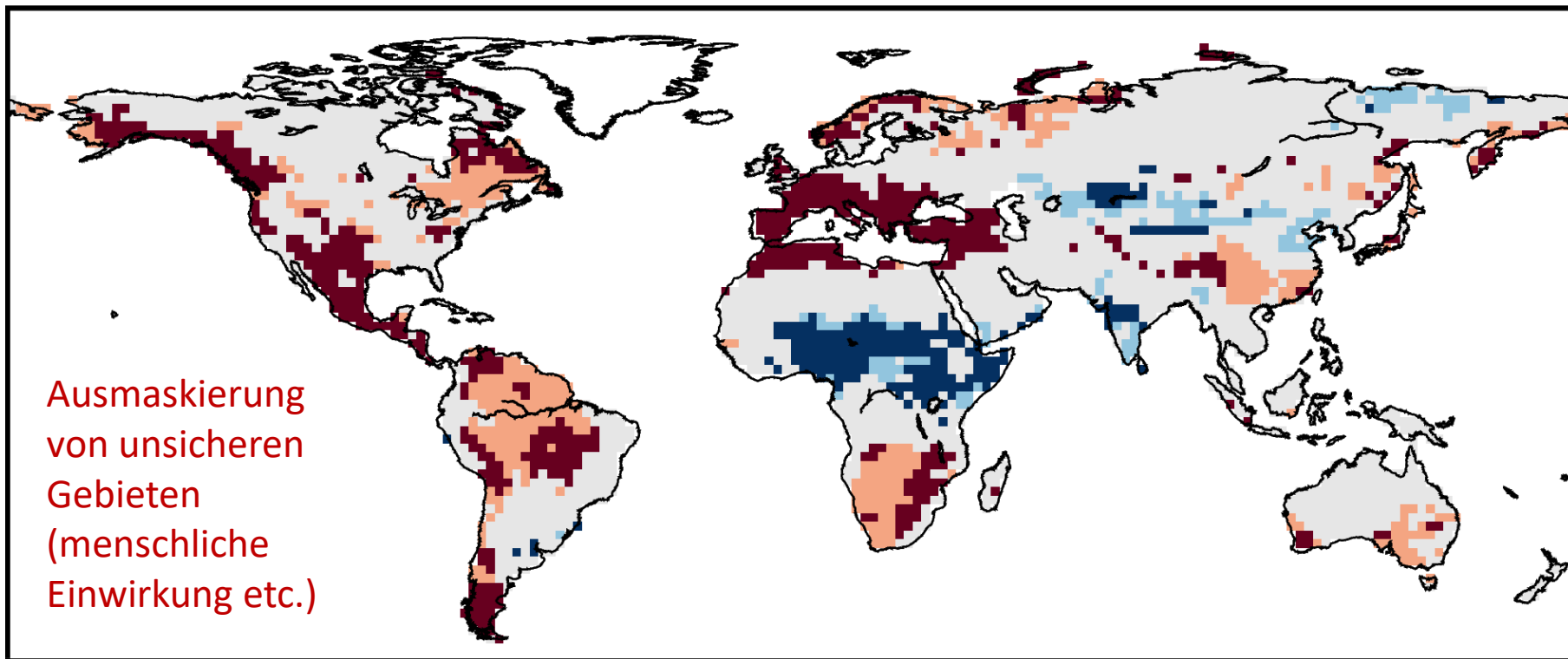
→ In einigen Gebieten sind sich Modelle über die **Richtung des Trends** einig



**Einigkeit über
zunehmende Trockenheit
oder Feuchte?
(Vorzeichen des Trends)**



positiver Trend (feuchter) negativer Trend (trockener)



Ausmaskierung
von unsicheren
Gebieten
(menschliche
Einwirkung etc.)

Übereinstimmung

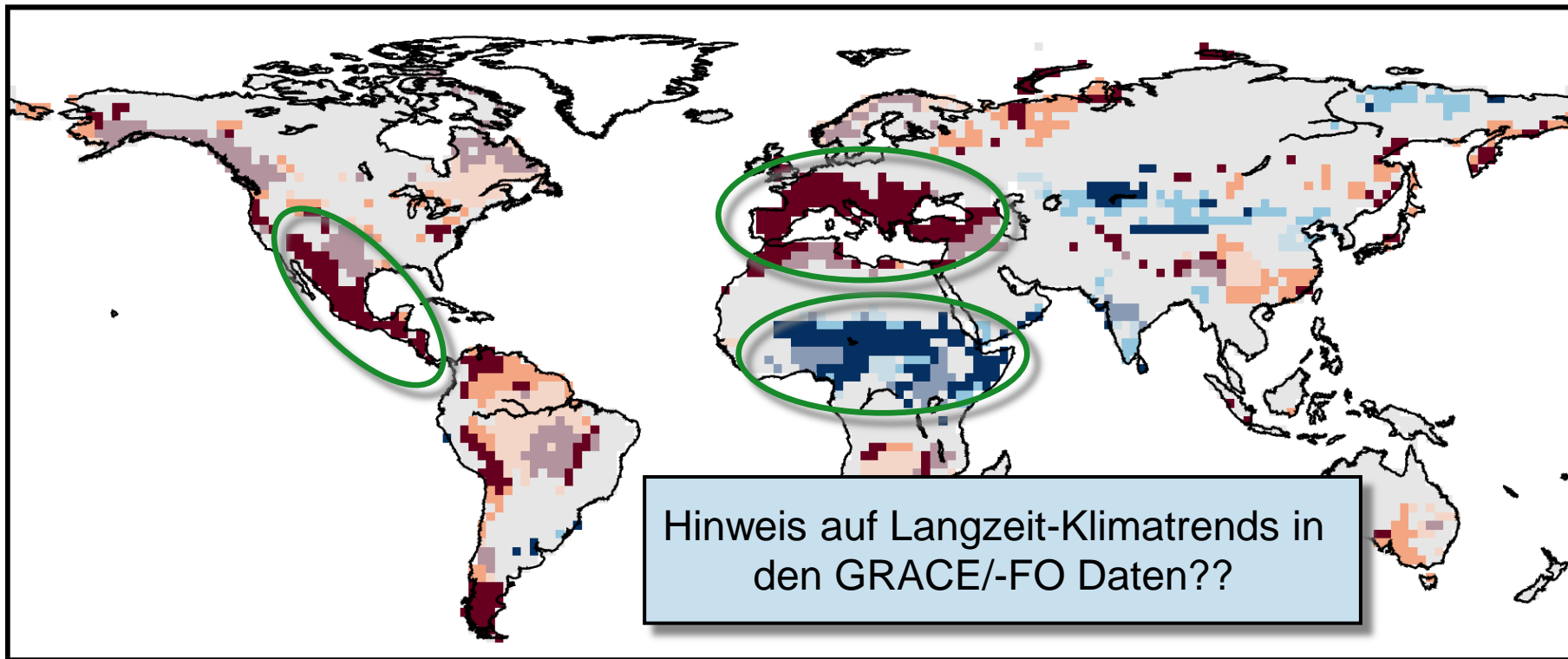
■ Gleiche Richtung, trockener

■ Gleiche Richtung, feuchter

Uneinigkeit

■ Gegensätzliche Richtung, Modelle trockener

■ Gegensätzliche Richtung, Modelle feuchter



Übereinstimmung

■ Gleiche Richtung, trockener

■ Gleiche Richtung, feuchter

Uneinigkeit

■ Gegensätzliche Richtung, Modelle trockener

■ Gegensätzliche Richtung, Modelle feuchter

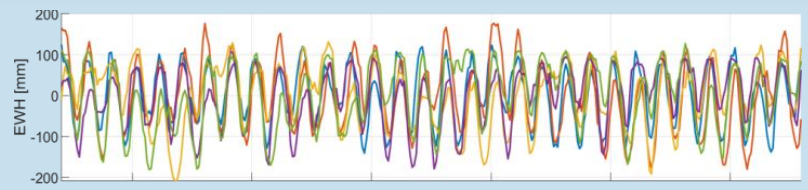
Herausforderungen bei der Nutzung von Satellitengravimetrie zur Evaluierung:

1 Stochastische Charakteristik von Klimamodell-Zeitreihen

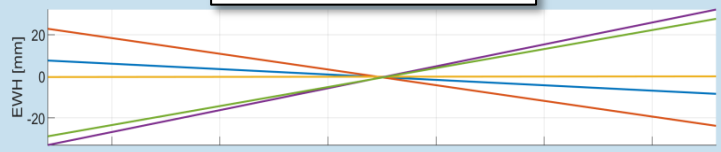
2 Kurzer Beobachtungszeitraum, interannuale Variationen

Kein direkter Vergleich auf Zeitreihenebene sinnvoll!

=> Signalzerlegung

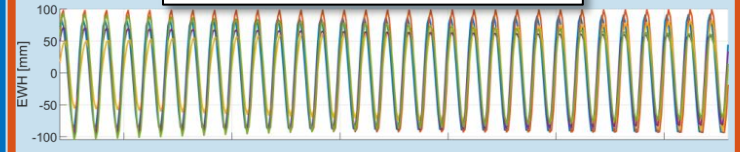


Linearer Trend



Wird es langfristig trockener oder feuchter?

+ Amplitude & Phase

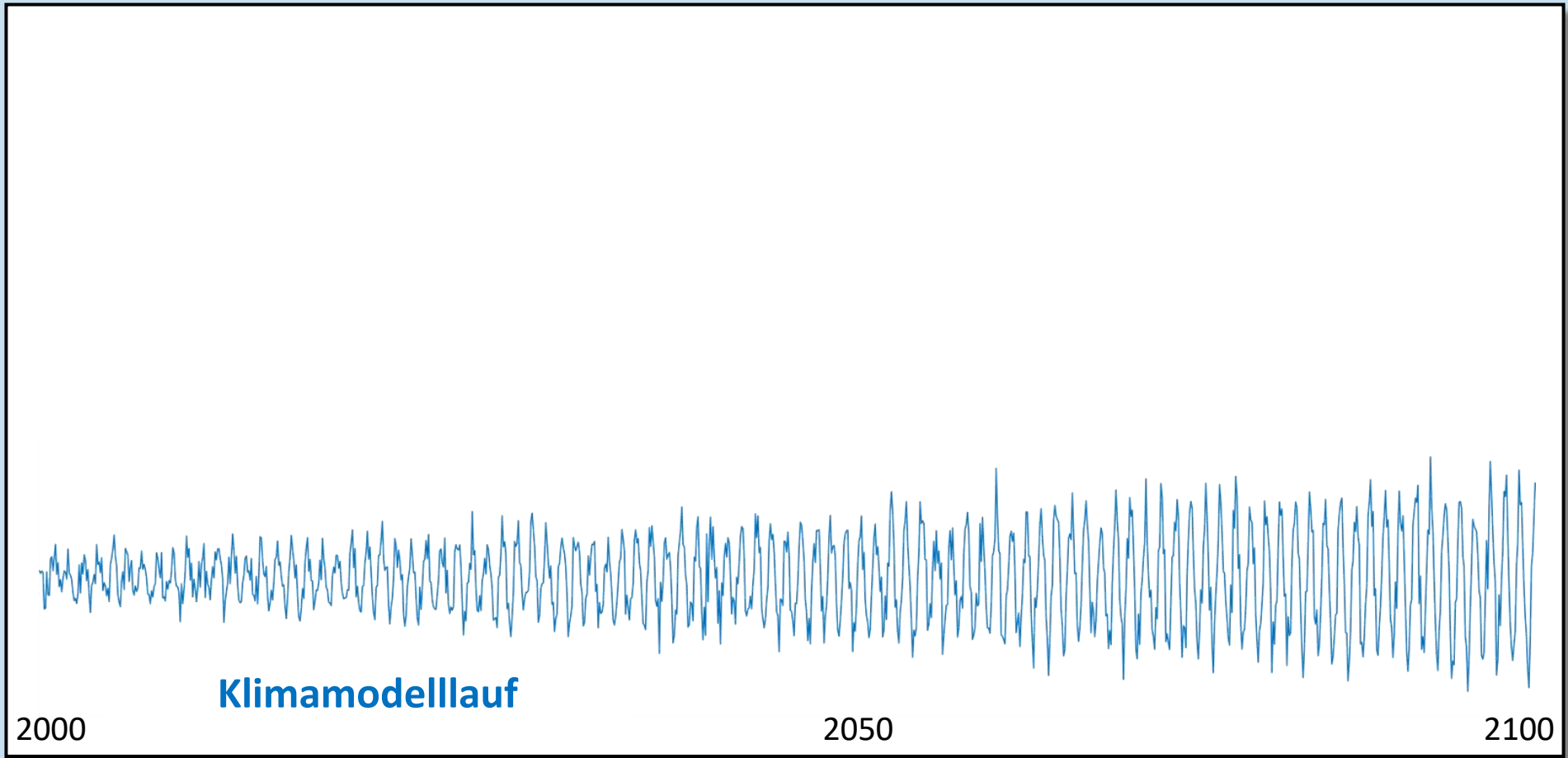


Jahreszeitliche Schwankungen (Sommer/Winter)

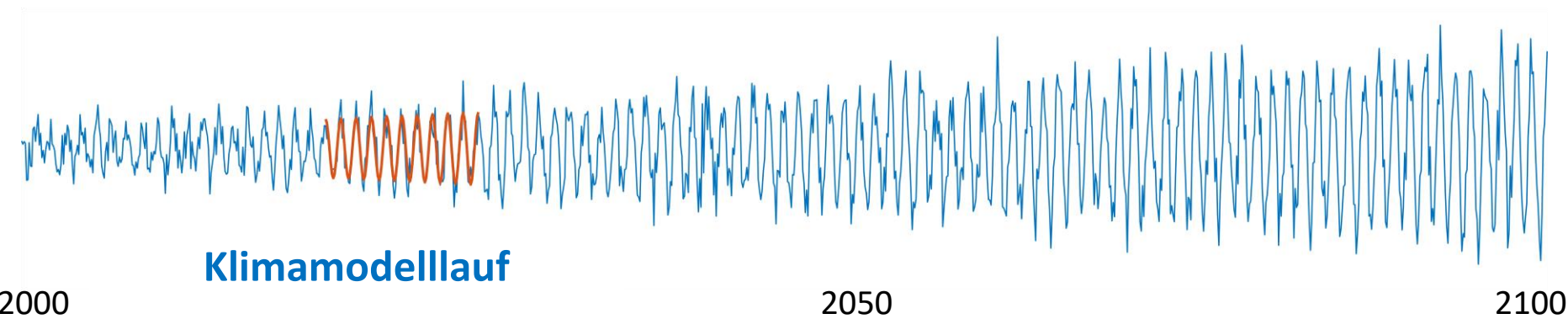
+ Restsignal

2. Veränderungen der jährlichen Amplitude

Jensen, L., Eicker, A., Dobslaw, H., & Pail, R. (2020). Emerging Changes in Terrestrial Water Storage Variability as a Target for Future Satellite Gravity Missions. *Remote Sensing*, 12(23), 3898.

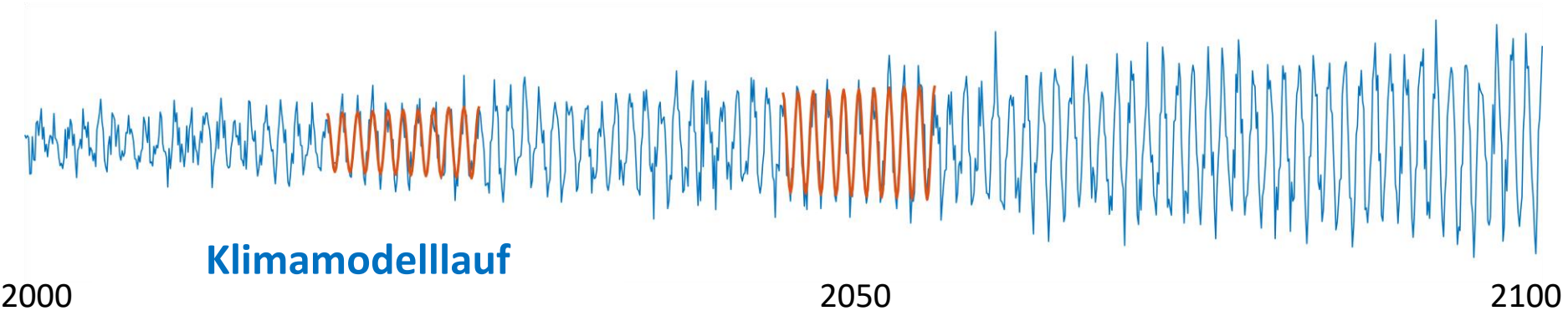


Mögliche Veränderungen des Jahreszyklus

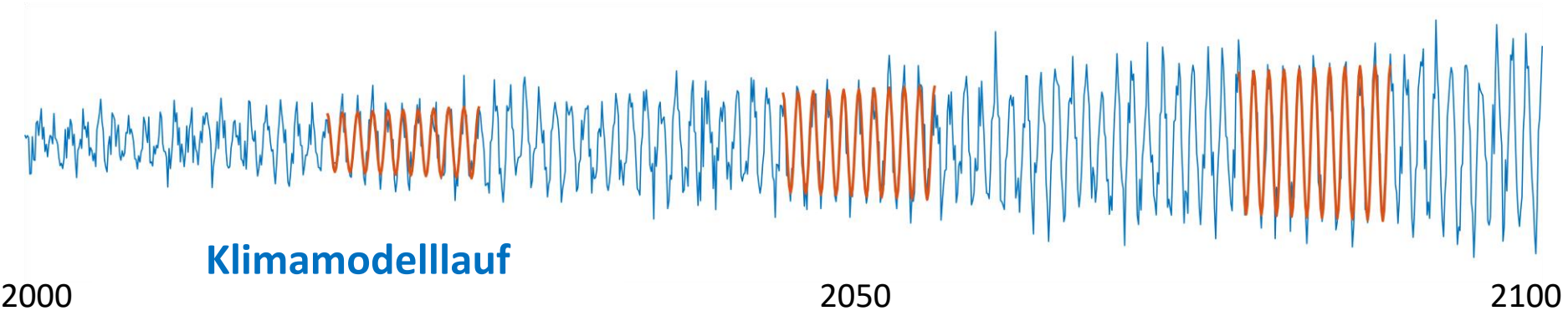


Klimamodelllauf

Mögliche Veränderungen des Jahreszyklus



Mögliche Veränderungen des Jahreszyklus



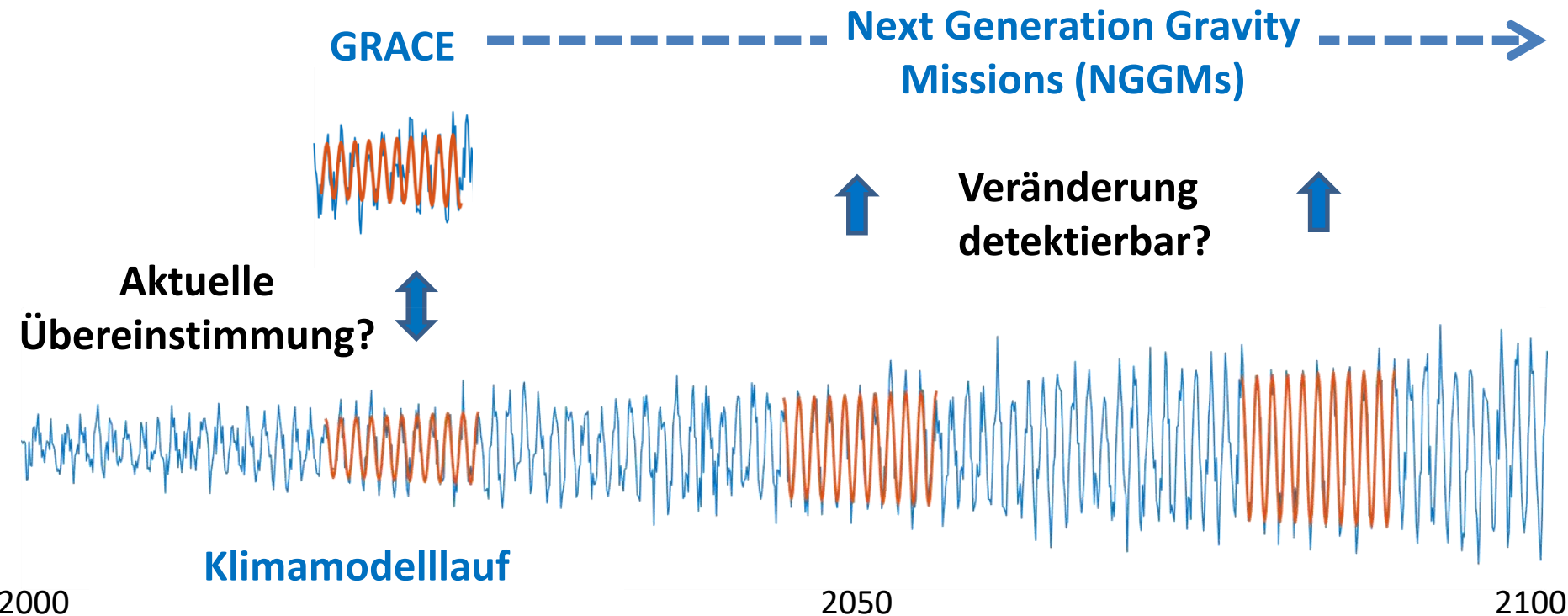
Klimamodelllauf

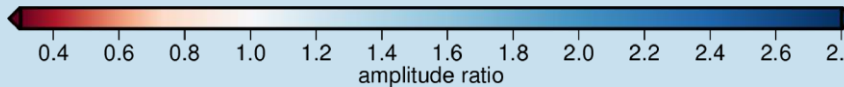
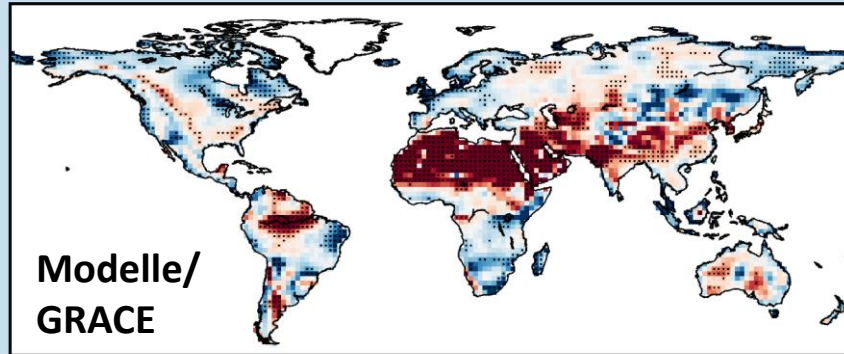
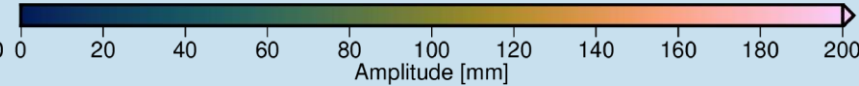
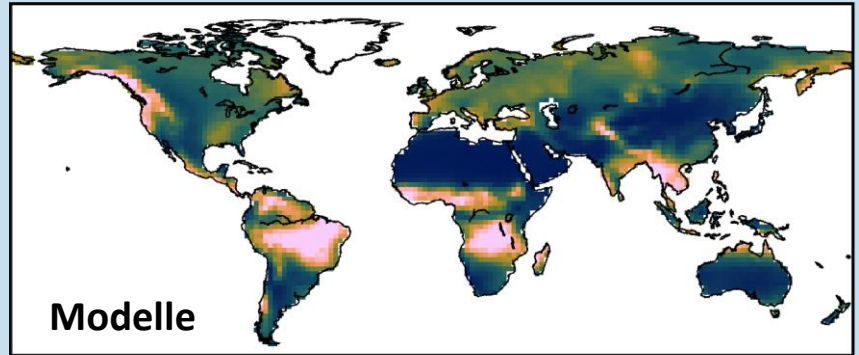
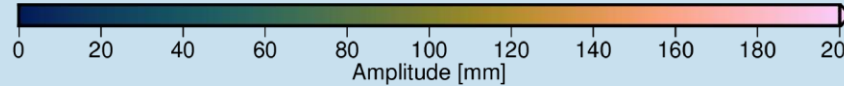
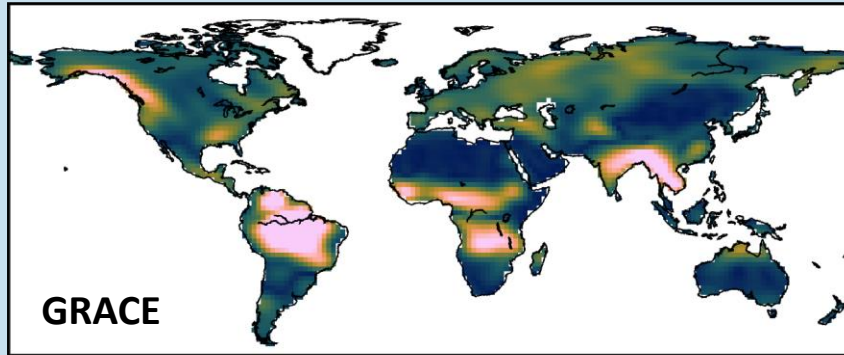
2000

2050

2100

Mögliche Veränderungen des Jahreszyklus

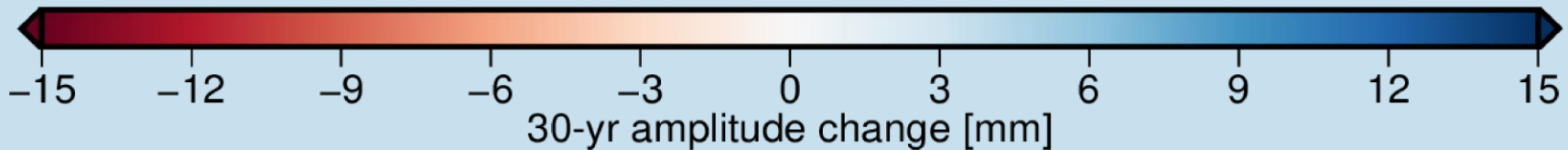
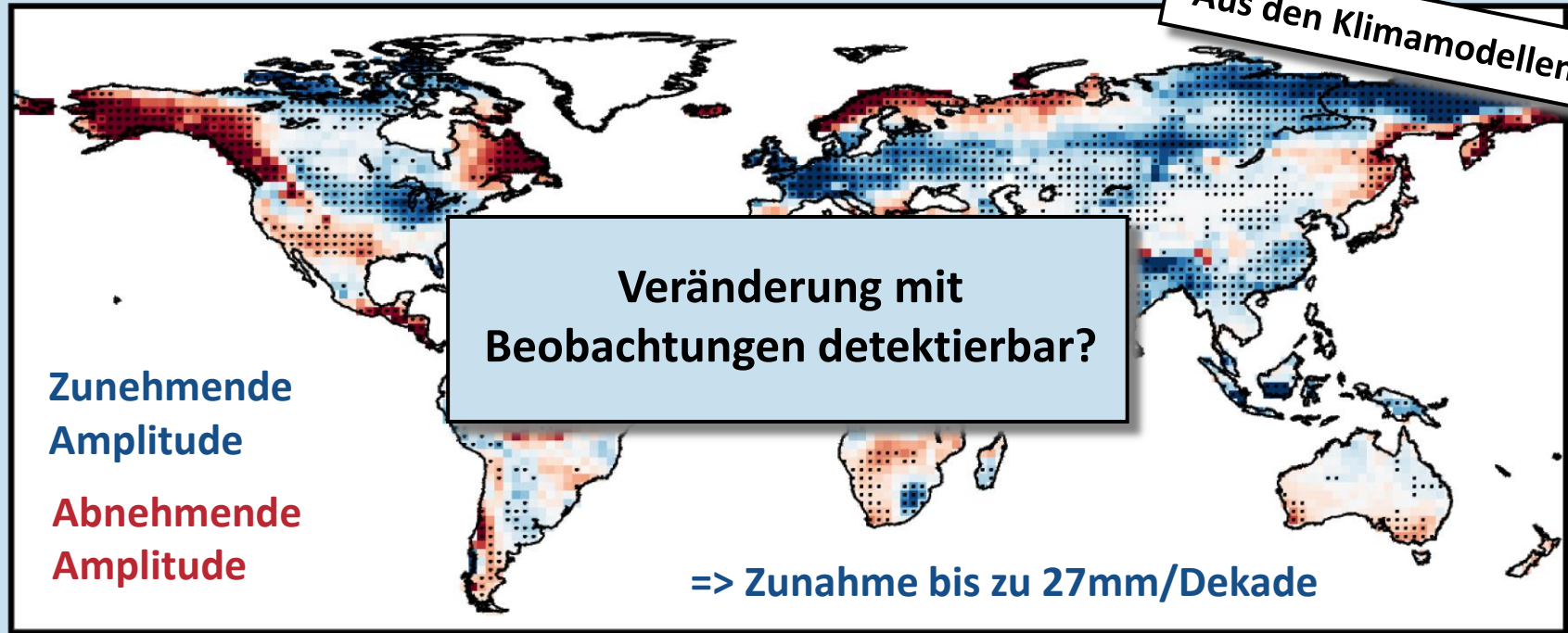




- Gute Übereinstimmung
- Unterschätzung überwiegend in äquatorialen Gebieten
- Überschätzung überwiegend in polaren Gebieten & mittleren Breiten

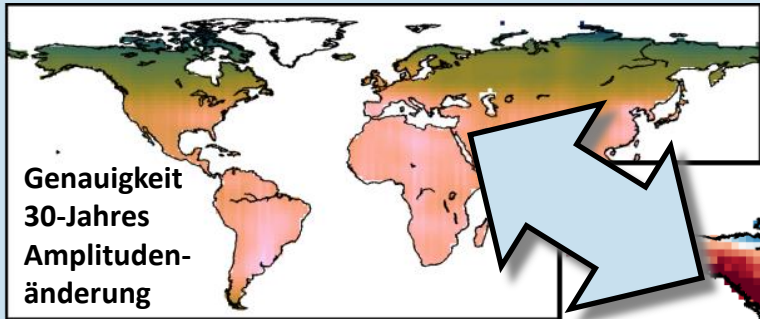
Erwartete Veränderungen der jährlichen Amplitude

Aus den Klimamodellen

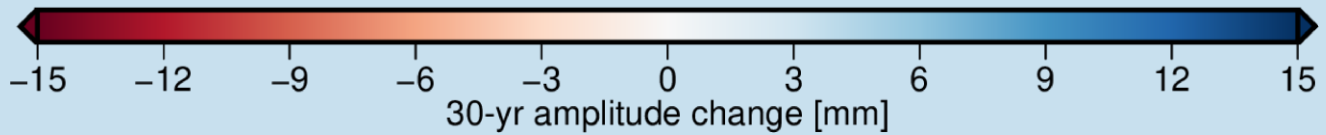
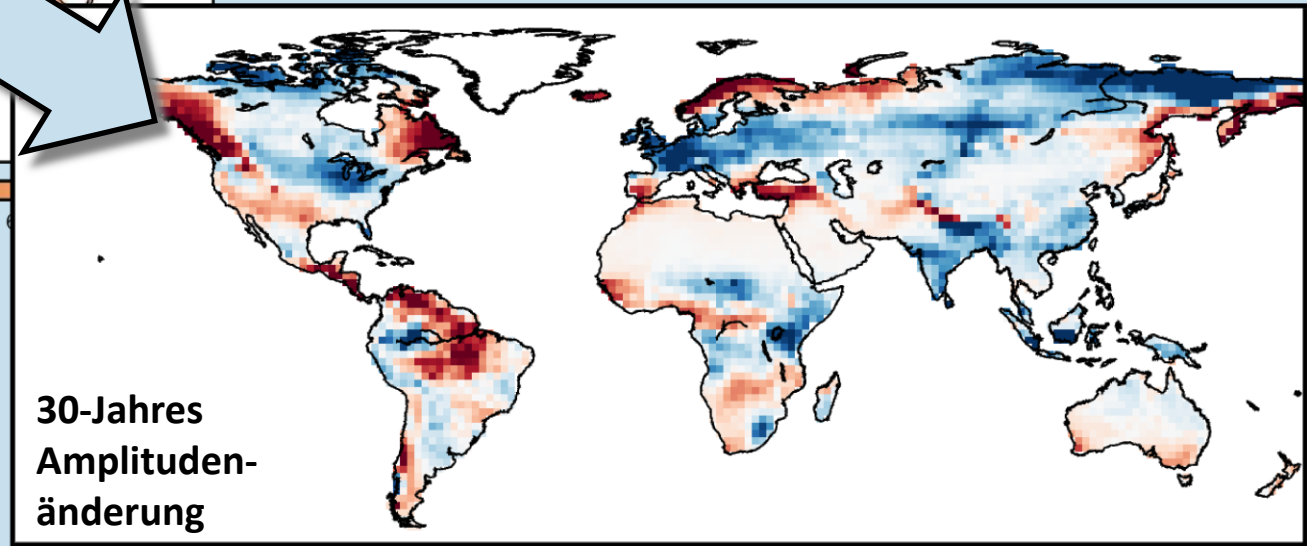


Punktierung = drei Viertel der Modelle stimmen im Vorzeichen überein (großer Konsens)

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit

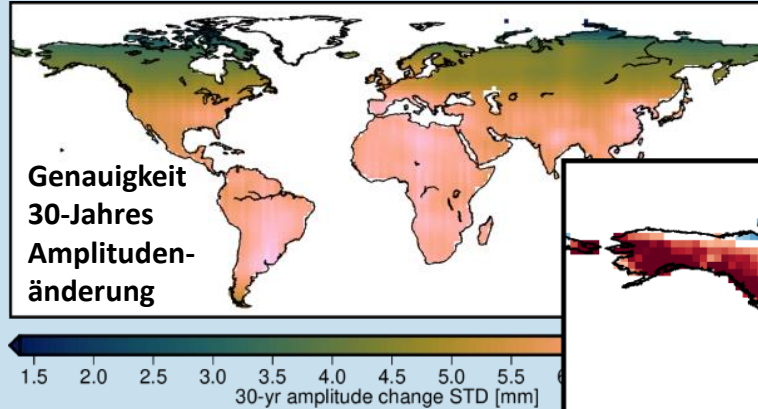


Projizierte Veränderungen (aus den Klimamodellen)



Detektierbarkeit von Veränderungen

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit

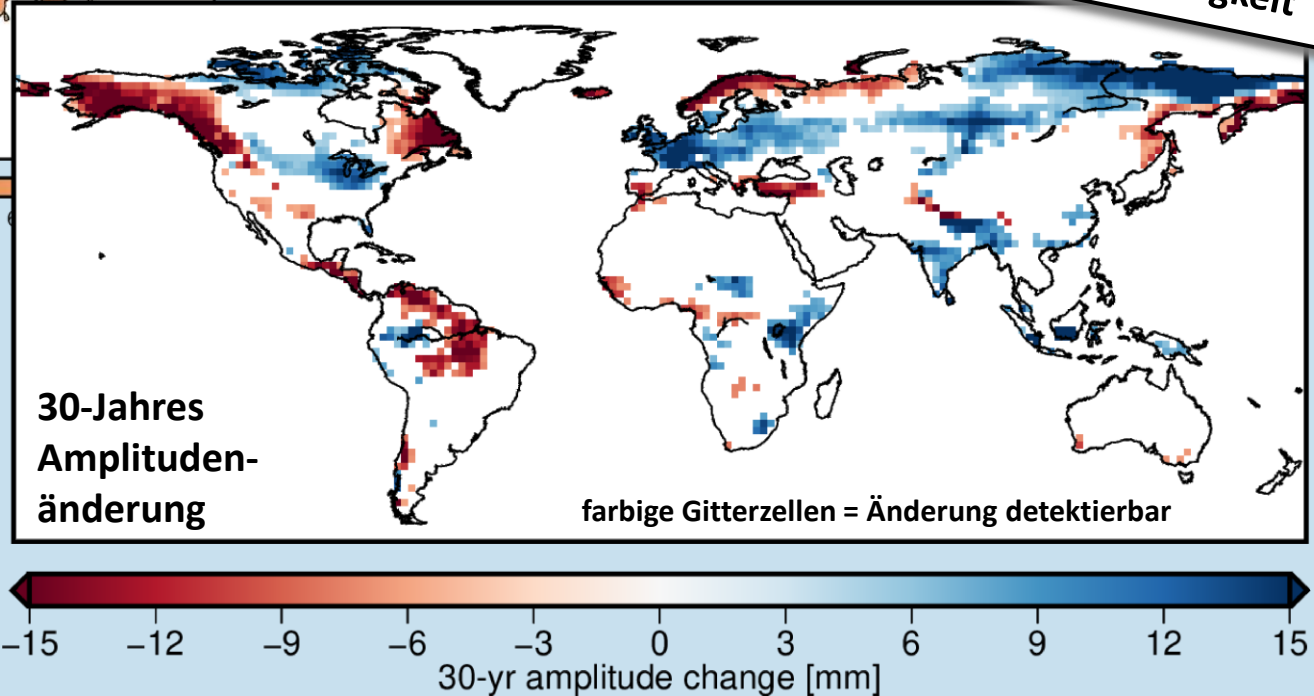


Projizierte Veränderungen
(aus den Klimamodellen)

GRACE Genauigkeit

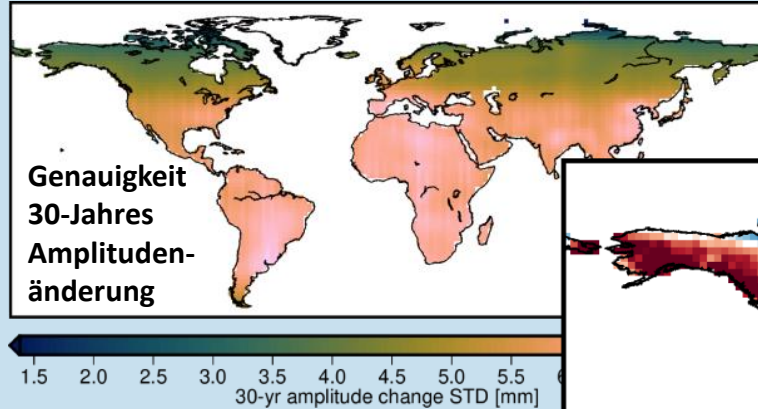
Anteil der Landfläche,
wo Amplitudenänderung
detektierbar ist:

33%



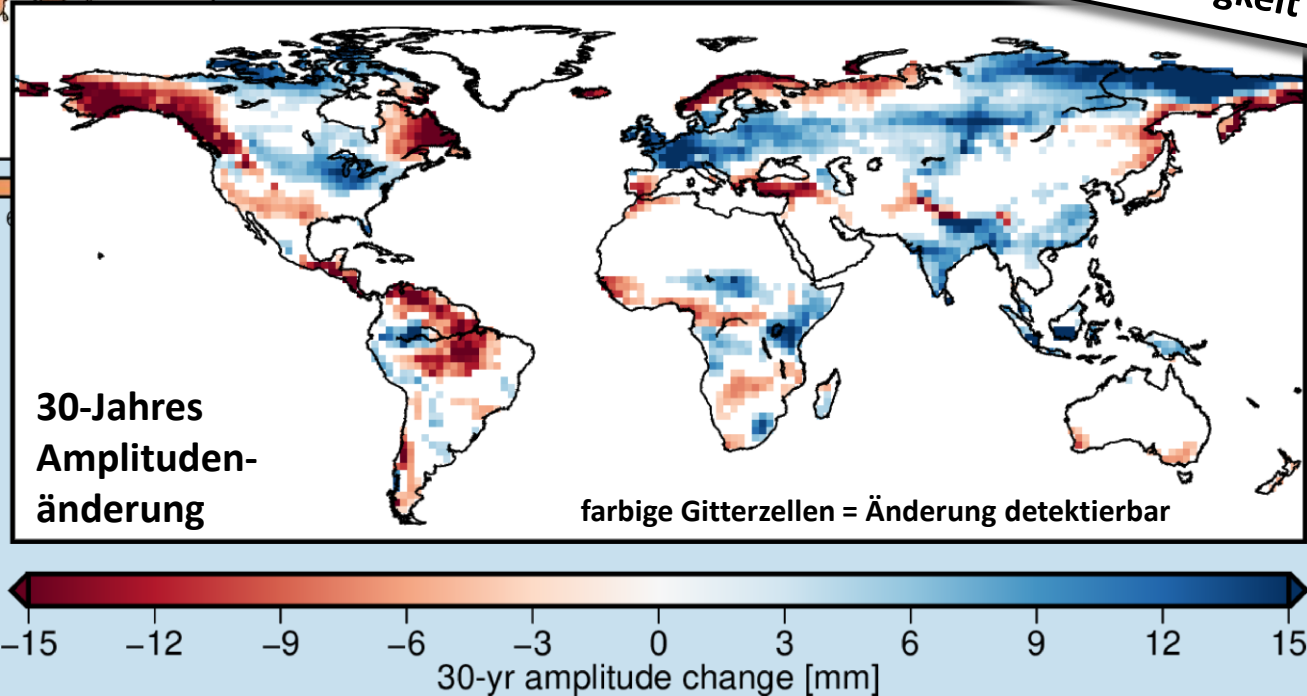
Detektierbarkeit von Veränderungen

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit



Projizierte Veränderungen
(aus den Klimamodellen)

2x GRACE Genauigkeit

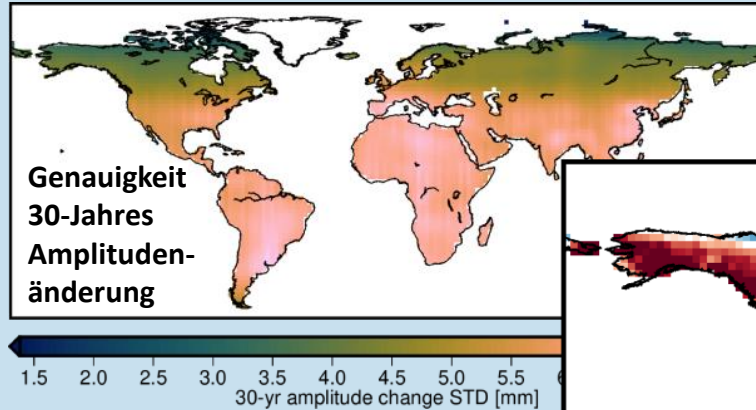


Anteil der Landfläche,
wo Amplitudenänderung
detektierbar ist:

55%

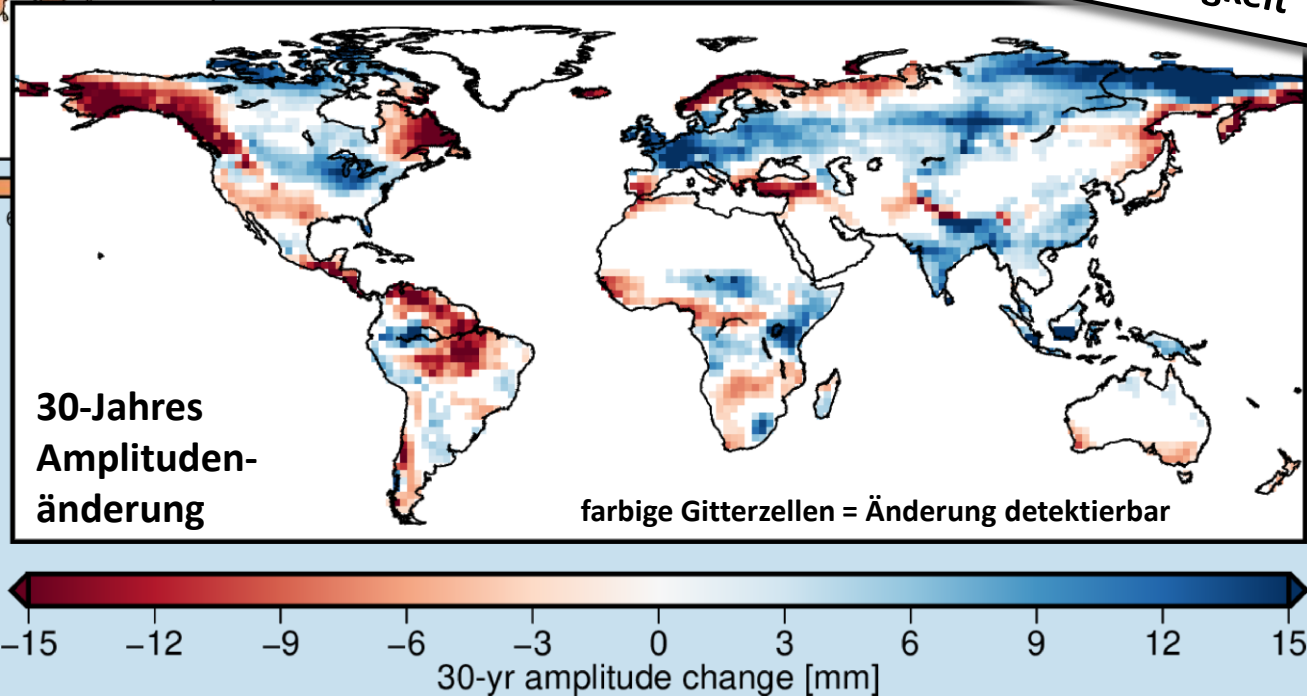
Detektierbarkeit von Veränderungen

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit



Projizierte Veränderungen
(aus den Klimamodellen)

3x GRACE Genauigkeit

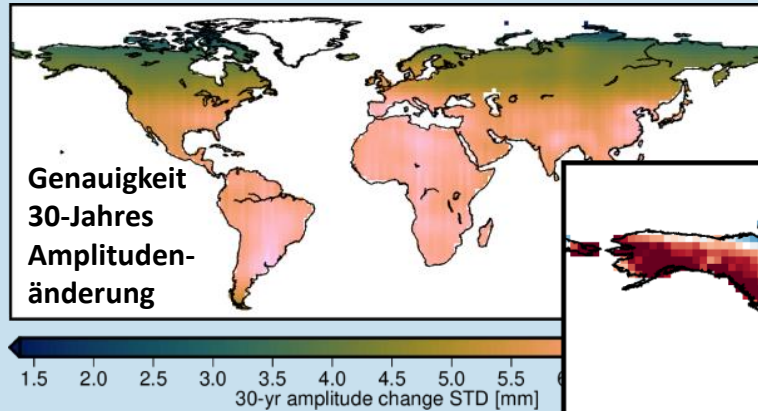


Anteil der Landfläche,
wo Amplitudenänderung
detektierbar ist:

64%

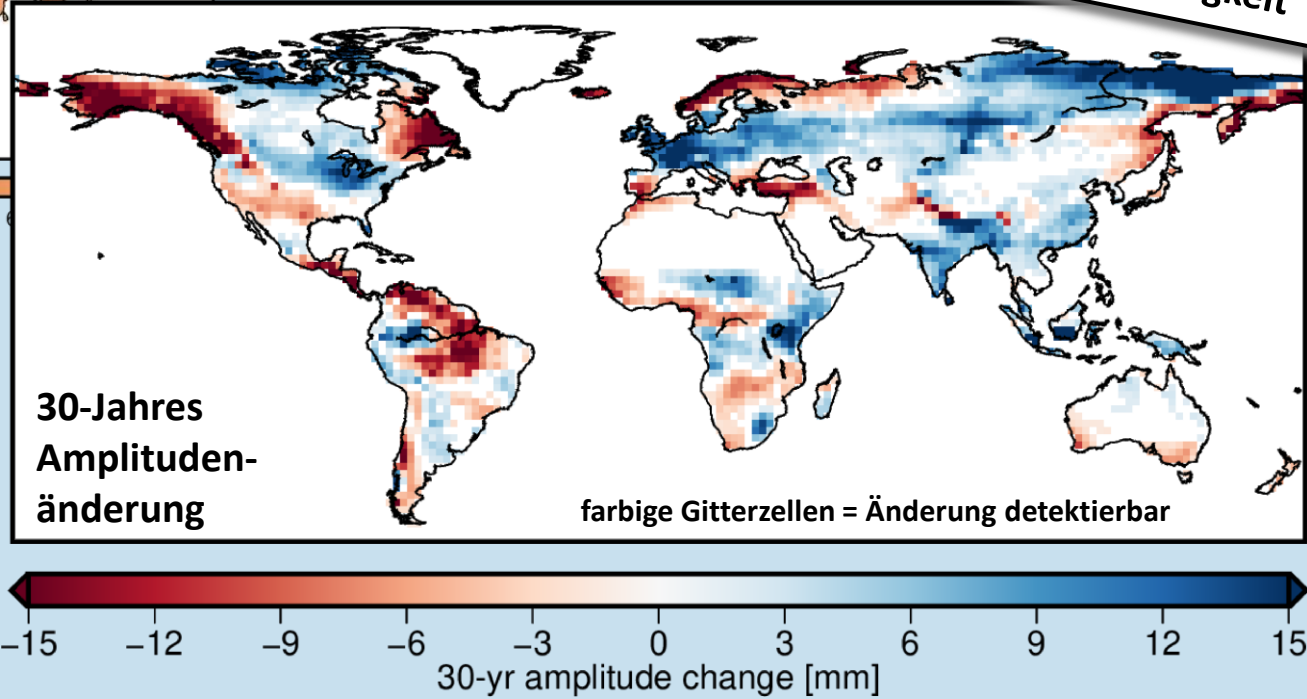
Detektierbarkeit von Veränderungen

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit



Projizierte Veränderungen
(aus den Klimamodellen)

4x GRACE Genauigkeit

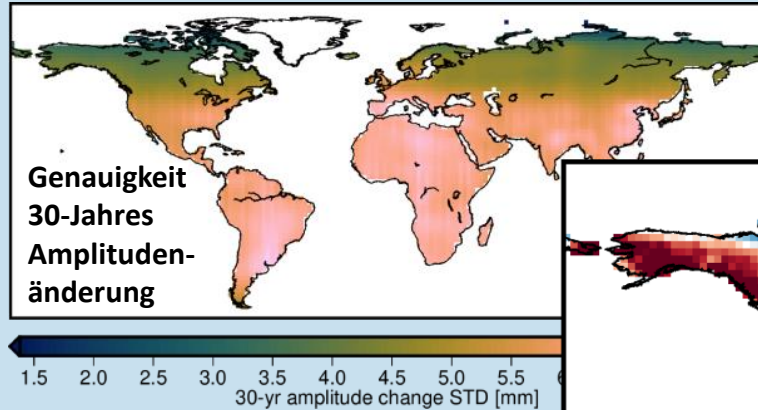


Anteil der Landfläche,
wo Amplitudenänderung
detektierbar ist:

71%

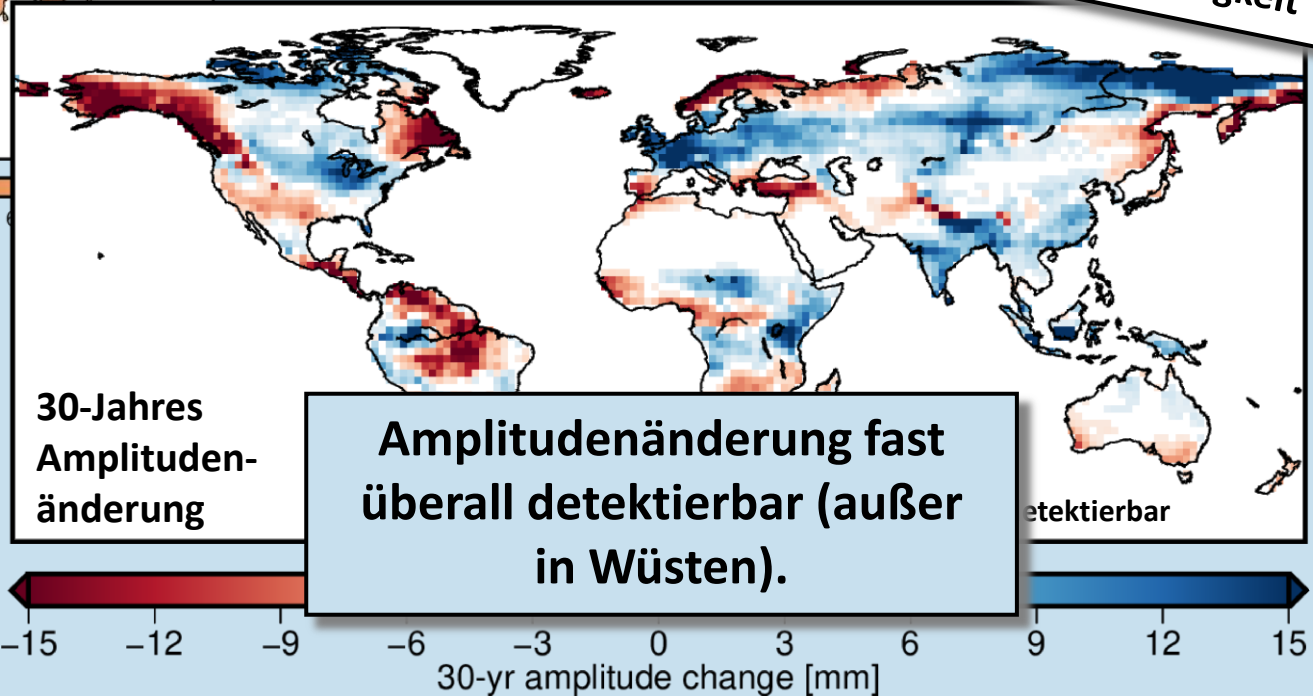
Detektierbarkeit von Veränderungen

Fortgepflanzte GRACE-Genauigkeit



Projizierte Veränderungen
(aus den Klimamodellen)

5x GRACE Genauigkeit



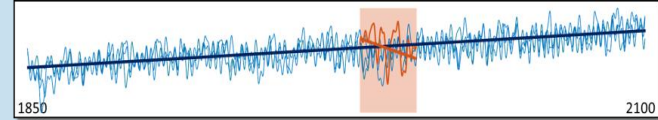
Anteil der Landfläche,
wo Amplitudenänderung
detektierbar ist:

75%

(Wie) können wir Satellitengravimetrie zur Evaluierung von Klimamodellen nutzen?

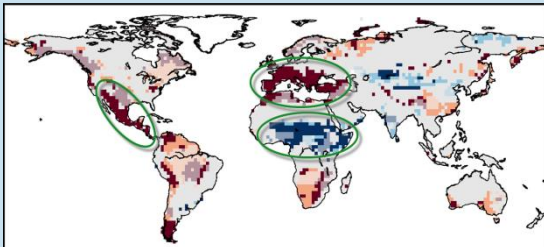
Herausforderungen:

1. Stochastische Charakteristik von Klimamodell-Zeitreihen
2. Kurzer Beobachtungszeitraum, interannuale Variationen
3. Konzeptionelle Unterschiede der Variablen TWS



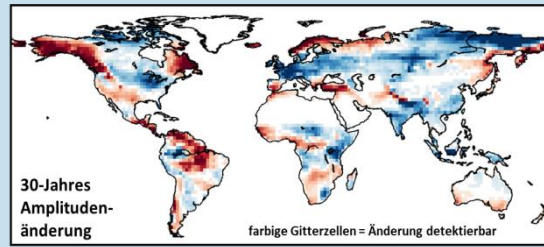
Lineare Trends

Regionen mit Hinweisen auf klimabedingte Trockenheit/Feuchte



Amplitudenänderungen

Zukünftige Änderungen mit NGGM in vielen Regionen detektierbar



Fazit...

Große Modell-Unsicherheiten bei **Terrestrischem Wasserspeicher**; andere Variablen (z.B. Temperatur) besser bestimmt

→ **Großes Potenzial für geodätische Beobachtungen!**