

GRACE

(GRAVITY RECOVERY AND CLIMATE EXPERIMENT)

GRACE FOLLOW-ON

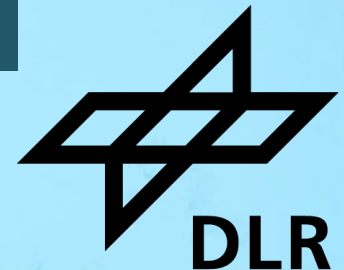
GRACE/MASS CHANGE

A. Friker, S. Fischer, M. Nyenhuis, J. Ewald (Deutsche Raumfahrtagentur)

F. Flechtner (GFZ)

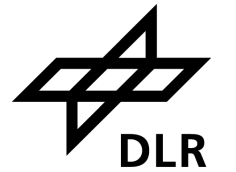
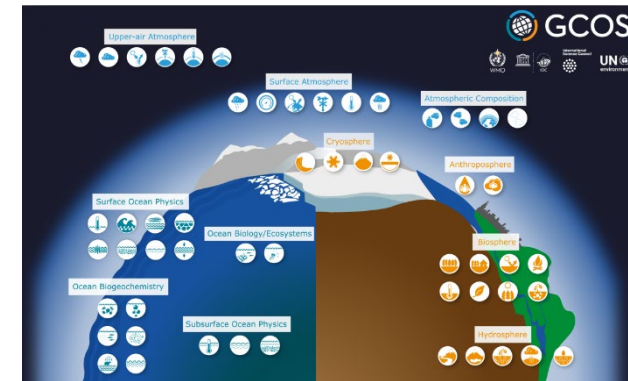
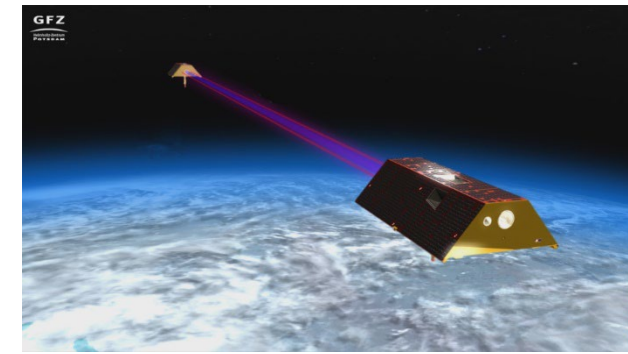
G. Heinzel, V. Müller (MPG-AEI)

4. Symposium zur angewandten Satelliten-Erdbeobachtung, 28.06.2023



Satellitenbasierte Schwerefeldmessung

- GRACE (2002-2017; DLR-NASA) und GRACE Follow-on (seit Mai 2018; GFZ-NASA) sind die **einzigsten Missionen, die Massentransporte im System Erde** global beobachten können.
- Basieren auf hochgenauen Abstandsmessungen zwischen zwei Satelliten.
- Können nicht durch andere Verfahren (z. B. Altimetrie, InSAR) ersetzt werden.
- Primärer Output Terrestrial Water Storage (TWS) ist seit 2020 vom Global Climate Observing System (GCOS) als Essential Climate Variable (ECV) definiert.
- TWS stellt integrale Massenverlagerungen dar: Rückschluss auf einzelne Kompartimente wie Grundwasser oder Bodenfeuchte mit Hilfe von anderen Satellitendaten oder Modellen.
- **Massentransporte** sind eng verbunden mit Veränderungen im System Erde und **helfen den Klimawandel zu beobachten**.
Beispiele sind
 - Variationen im globalen Wasserkreislauf (Grundwasser, Dürren, Fluten),
 - Eisschmelze an den Polen oder in den großen Gletschergebieten oder
 - Veränderungen des Meeresspiegels.

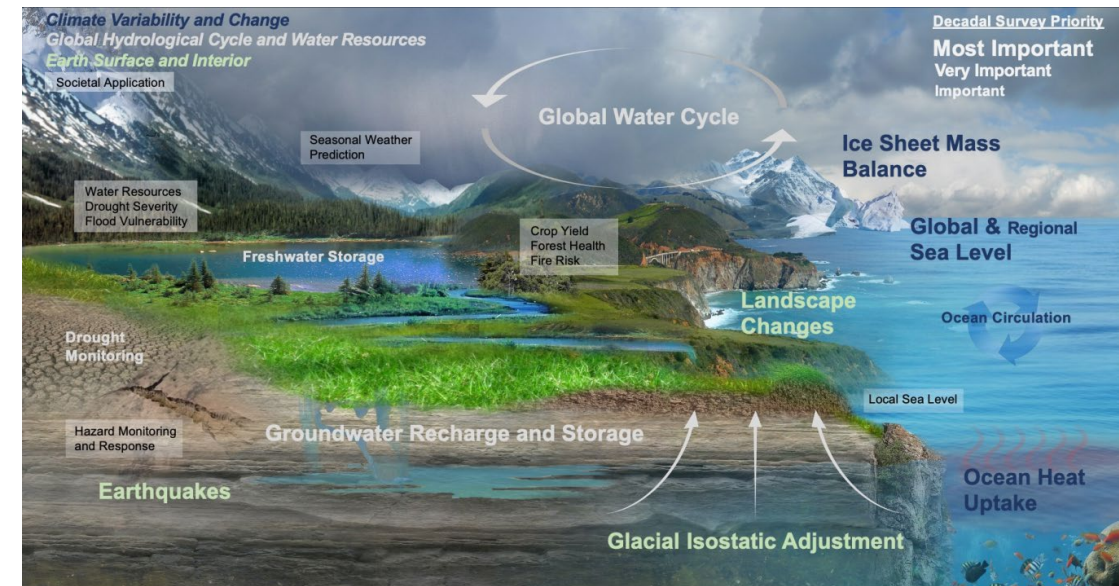


GFZ

Helmholtz-Zentrum
POTSDAM



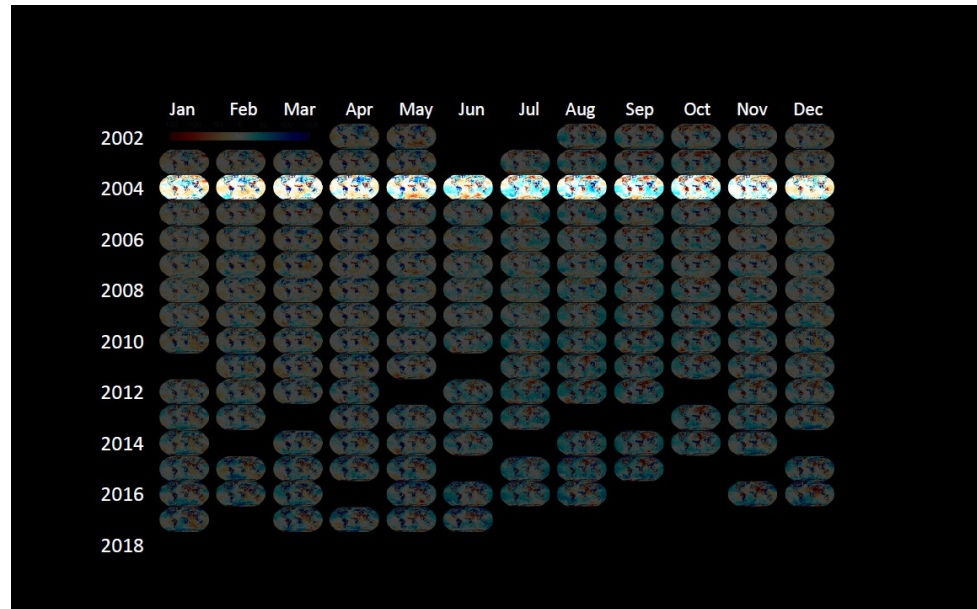
MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



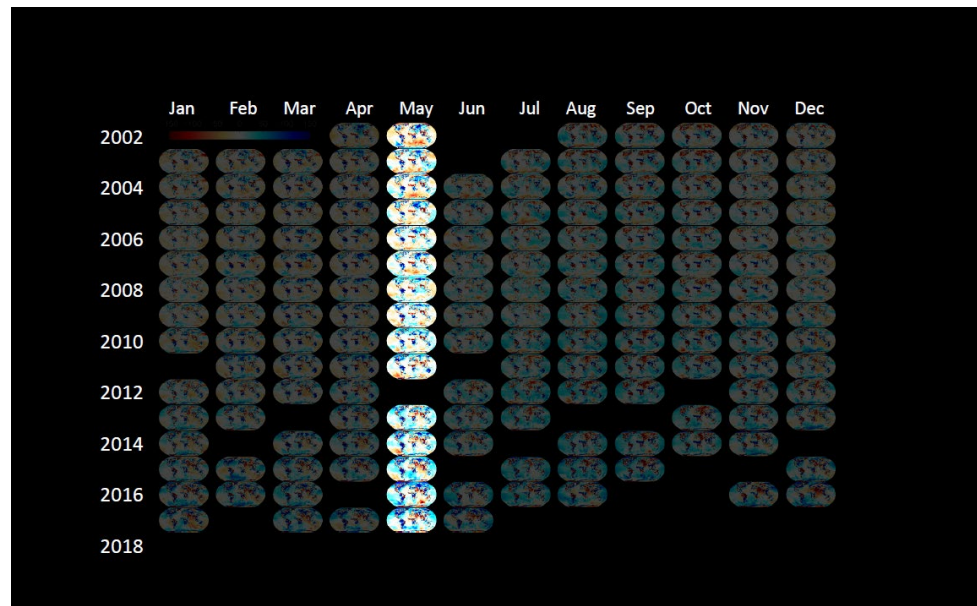
© NASA

Satellitenbasierte Schwerefeldmessung

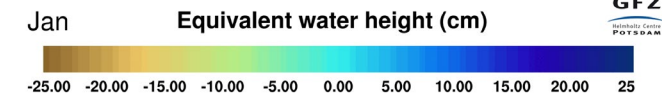
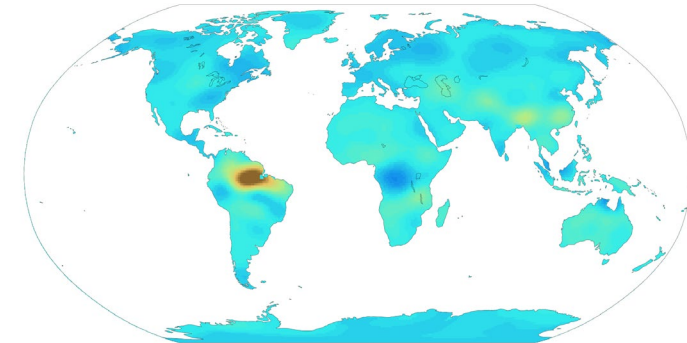
**GRACE
Terrestrial Water
Storage
(saisonal)**



**GRACE
Terrestrial Water
Storage
(langfristig)**

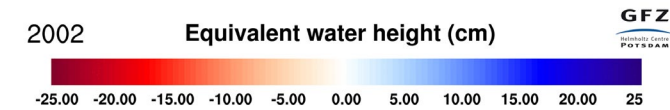
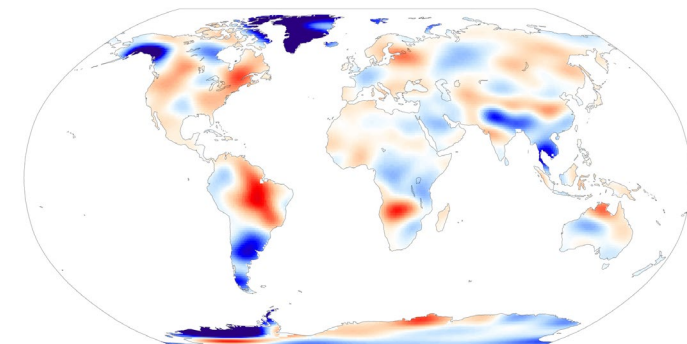


Seasonal changes in terrestrial water storage



Data source: GRACE GFZ RL05a (Dahle et al., 2016) as available from gravis.gfz-potsdam.de

Terrestrial water storage changes (de-seasonalized)



Data source: GRACE GFZ RL05a (Dahle et al., 2016) as available from gravis.gfz-potsdam.de



GFZ

Helmholtz-Zentrum
POTSDAM



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

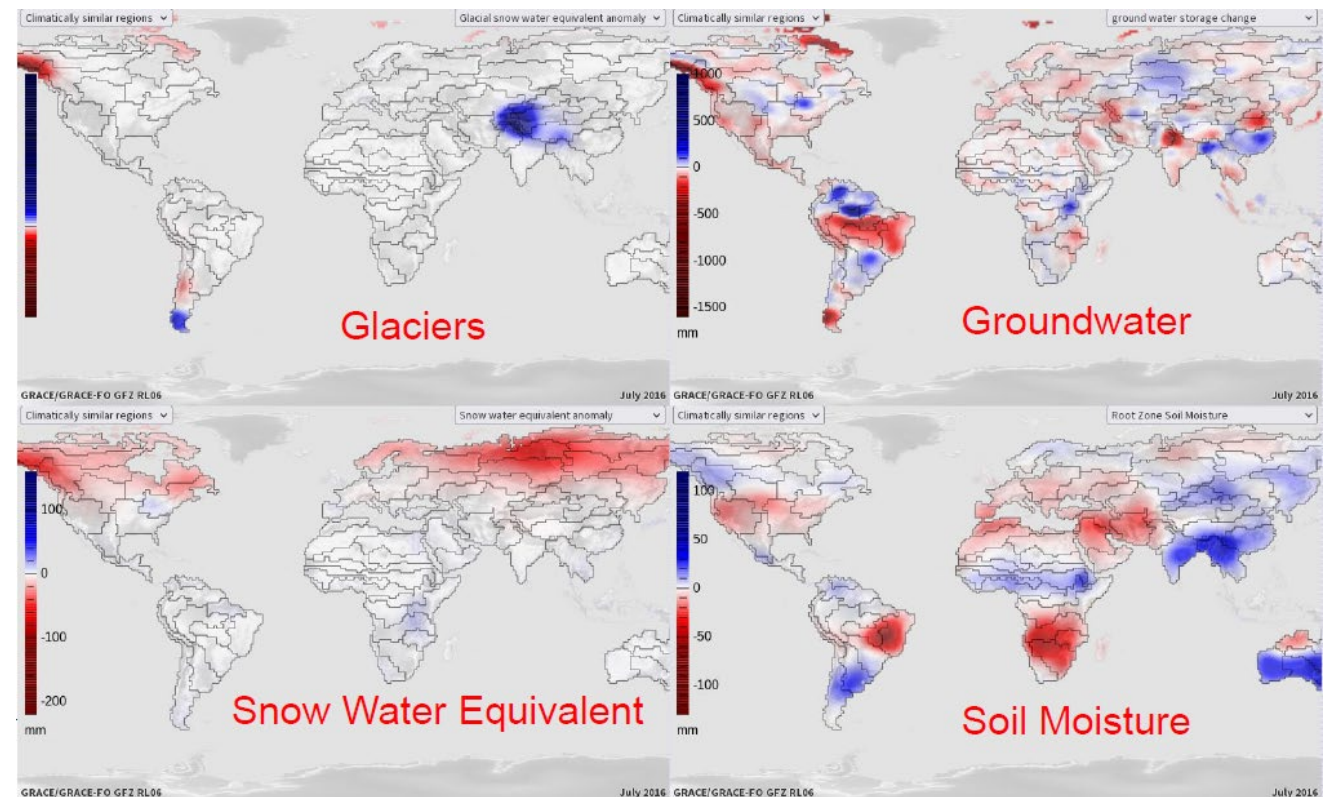
Anwendungspotential und Forschungsrelevanz

Global Gravity-based Groundwater Product (G3P)



- G3P hat im Auftrag der EU erstmalig die ECV Grundwasser bestimmt (global, monatlich, 100 km)
- Durch Kombination GRACE(-FO) Daten mit operationellen Copernicus-Produkten (z. B. Bodenfeuchte, Oberflächengewässer)
- G3P-Prototyp soll in naher Zukunft in den Copernicus Climate Change Service (C3S) überführt werden (Ziel: **operationeller Service**)
- Grundvoraussetzung: Verfügbarkeit von Schwerefeld-Satellitenmissionen nach 2023 (nominelles Ende GRACE-FO war Mai 2023)

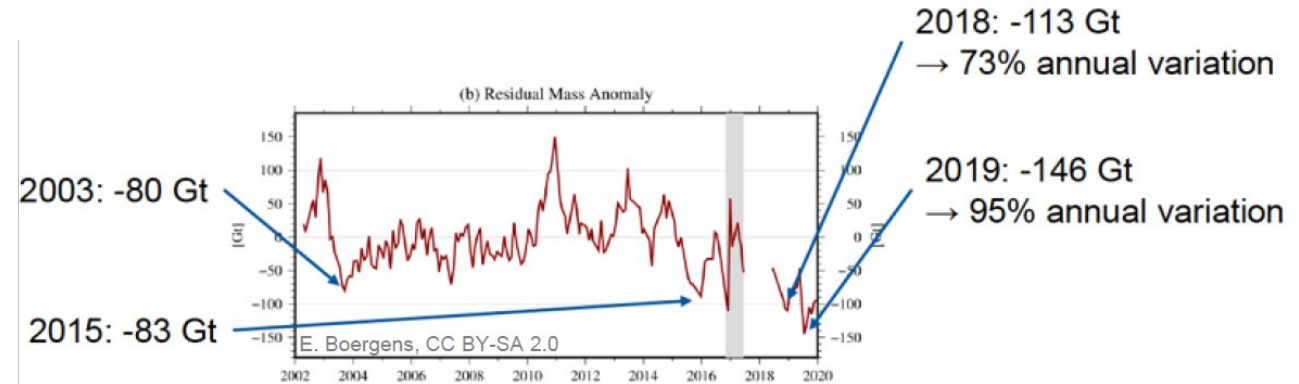
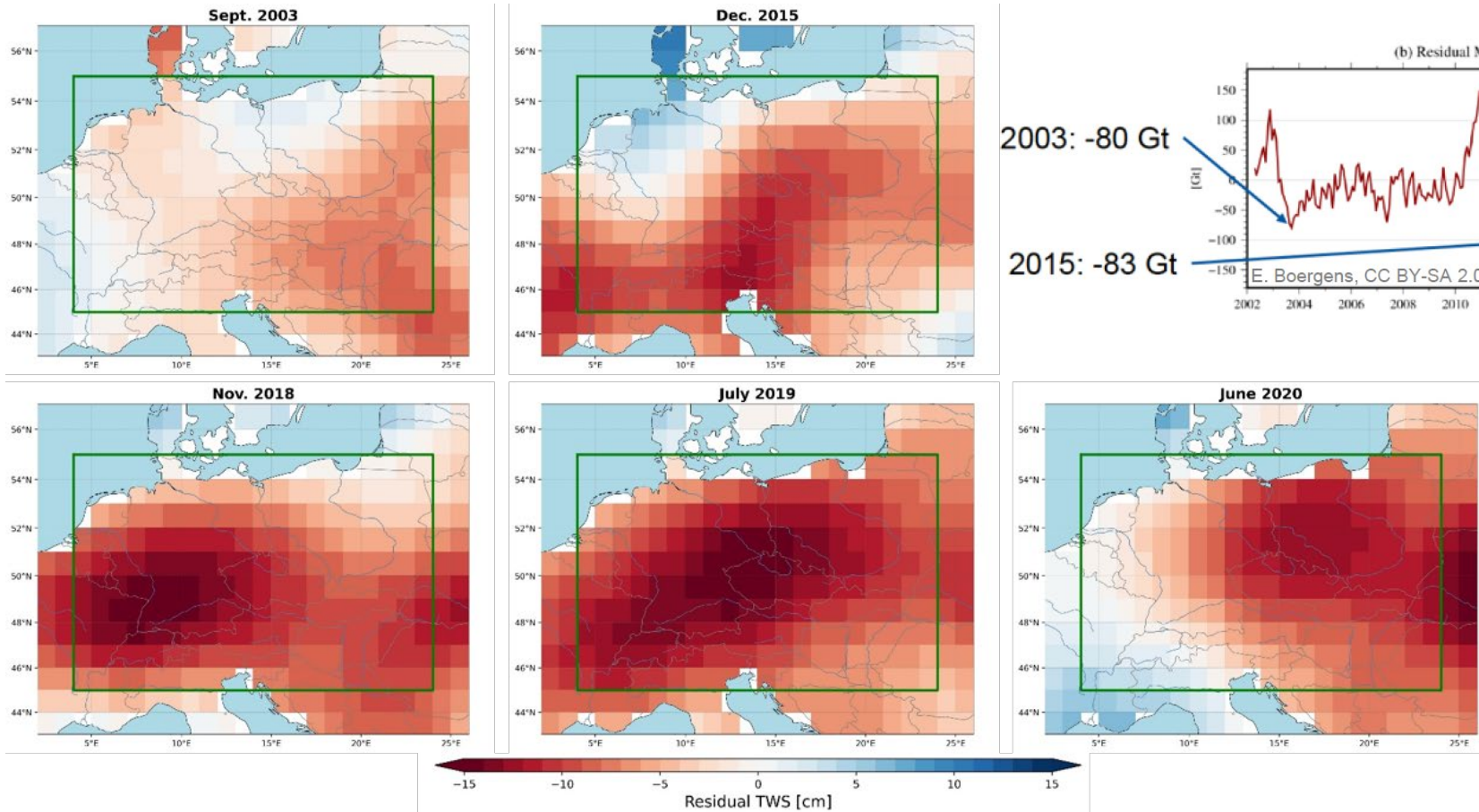
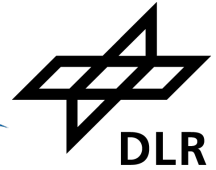
Groundwater = TWS - Glaciers - Snow - Soil Moisture - Storage in Surface Water Bodies



<http://www.g3p.eu>

Anwendungspotential und Forschungsrelevanz

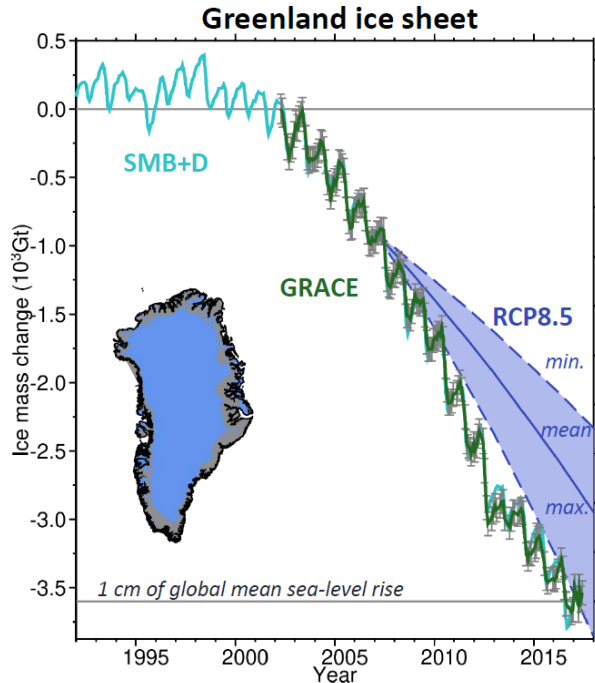
Dürre in Europa



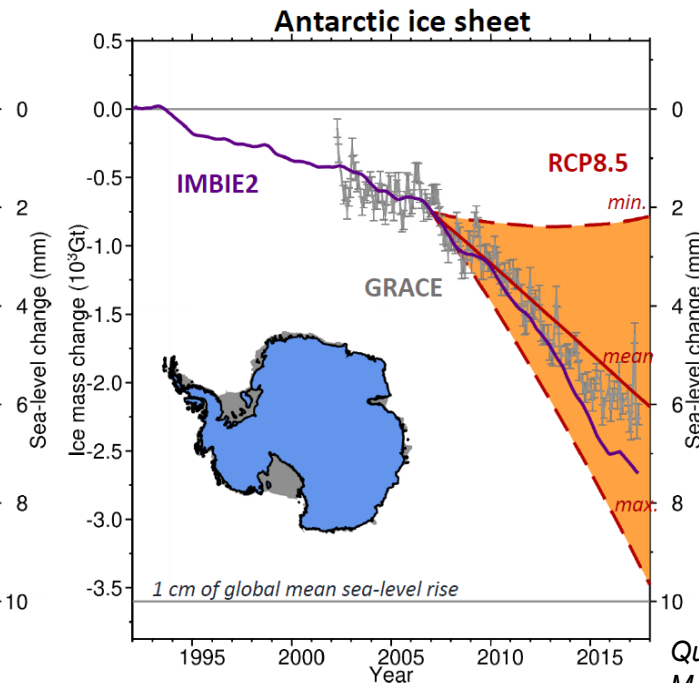
Trend zur Massenabnahme bzw. Verstärkung von Dürreereignissen kann nur durch lange Zeitreihen beobachtet werden

Quelle: Flechtner et al., 2020, <https://doi.org/10.1002/piuz.202101612>

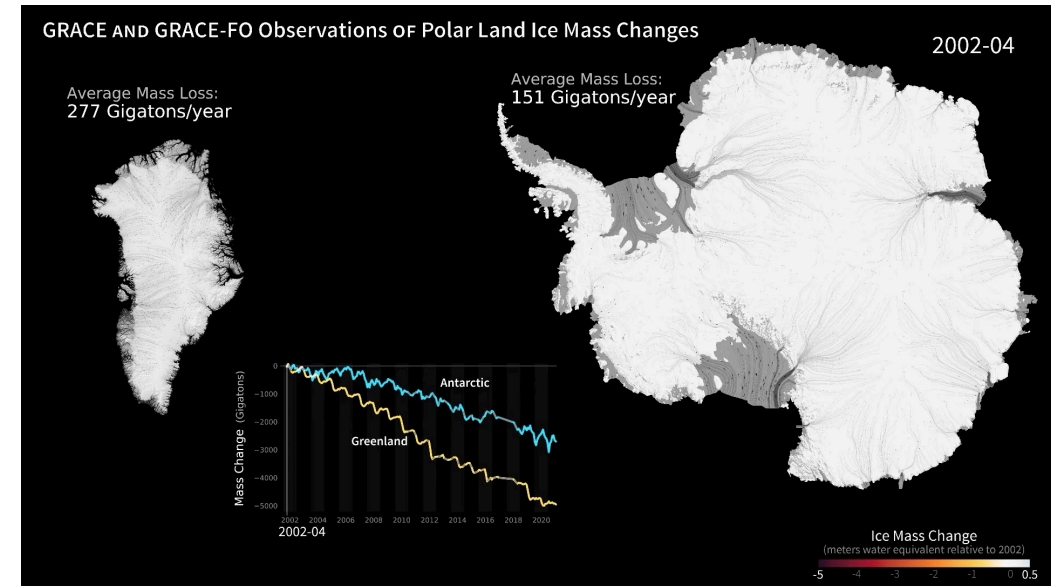
Anwendungspotential und Forschungsrelevanz Eismassenvariationen Grönland/Antarktis



SMB+D: Surface-mass balance + Discharge



IMBIE2: Ice-Sheet Mass Balance Inter-comparison



Quellen: J. Lenaerts; SMB: MAR3.7, D: Rignot et al. 2009, update; IMBIE2; Shepherd et al. 2018; RCP.8.5: IPCC Chapter 13

Quelle: F. Landerer (JPL)

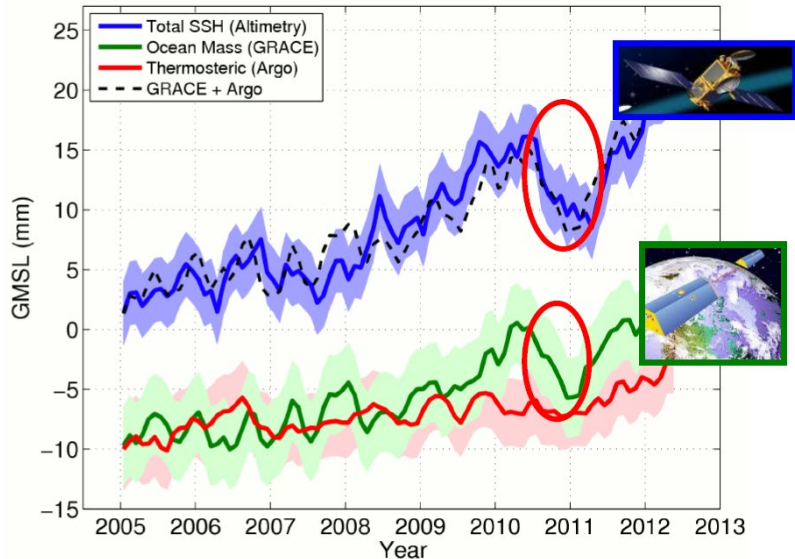
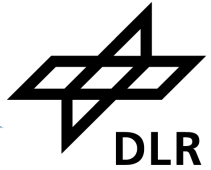
Grönland verliert deutlich mehr Masse als im IPCC AR5 projiziert, **Antarktis** liegt am unteren Ende der Projektionen. Im AR6 bestätigt.

GRACE/FO-Daten sind essentiell

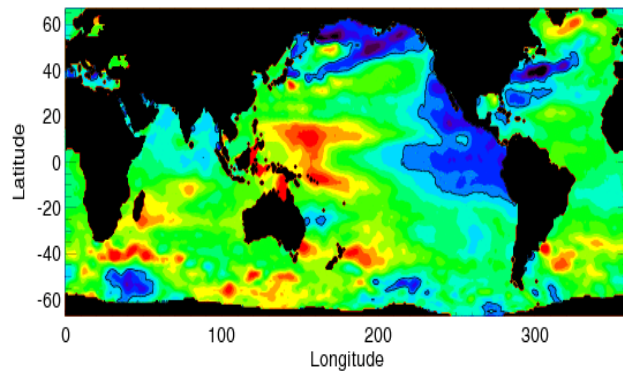
- für den Erkenntnisgewinn und um das System besser zu modellieren (Prozessverständnis)
- zur Initialisierung, Kalibrierung und Validierung von Projektionen.

Nachfolge(mission(en) nötig!

Anwendungspotential und Forschungsrelevanz Meeresspiegelanstieg

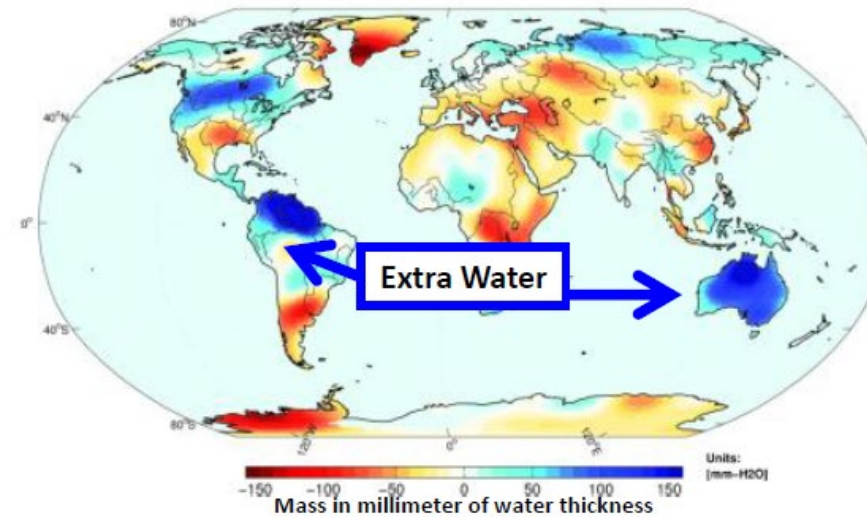
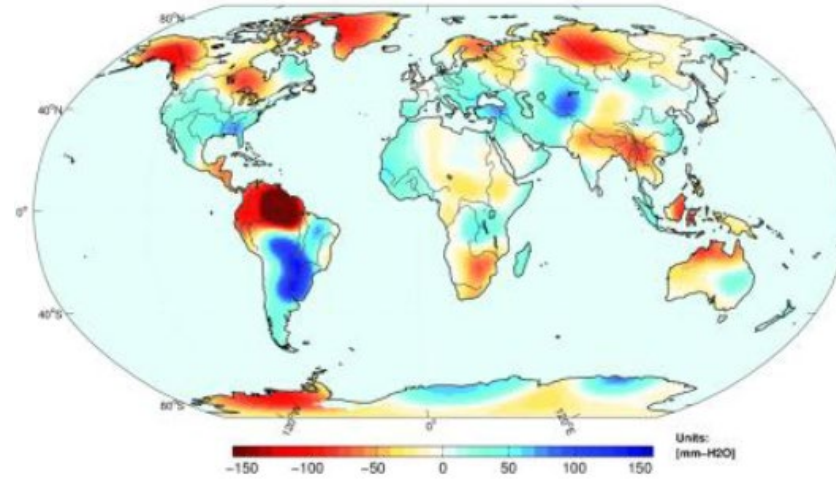


© IPCC AR5 (Church et al., 2013)



Trend [mm/year]

© NASA/JPL

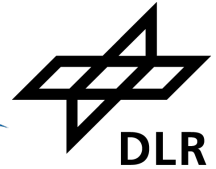


Mass in millimeter of water thickness

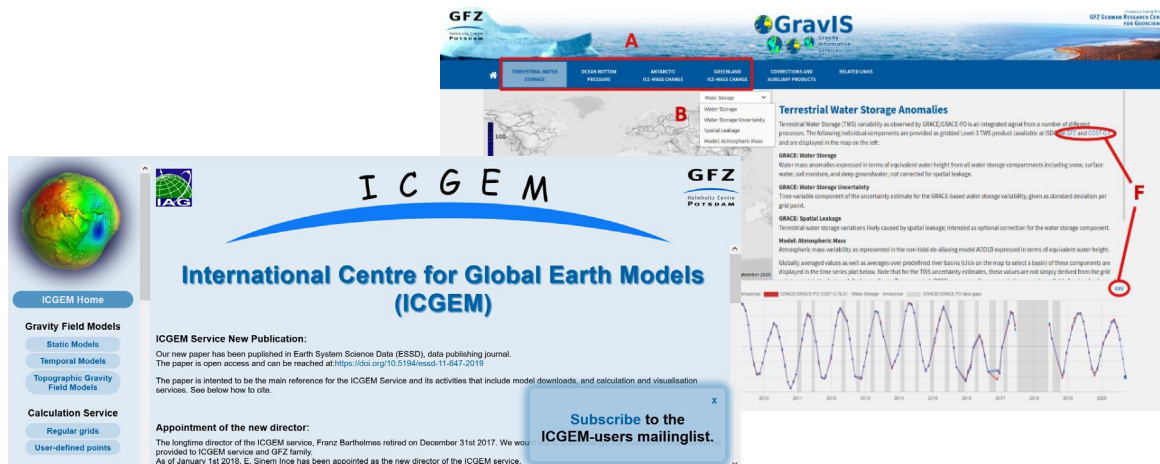
© NASA/JPL

- Starker Abfall des Meeresspiegelanstiegs in 2010/11 ist nicht temperatur-bedingt, sondern kann durch außergewöhnliche Speicherung von Niederschlägen, insbesondere in Australien, erklärt werden.
- Der Meeresspiegelanstieg muss global sowohl durch Altimetrie als auch durch Schwerefeldmissionen kontinuierlich beobachtet werden!

Nationale und internationale Bedeutung von Schwerefeldmissionen und Massentransportdaten



- GRACE ist die dritt-häufigst zitierte Satellitenmission im IPCC AR6
- Interdisziplinäre, internationale Forschung
- (Pre-)Operationelle Dienste: Dürre (USA), Grundwasser (EU)
- Fast 3000 Veröffentlichungen (viele Science/Nature) am GFZ gesammelt
- Tausende internationale Nutzer der Datenportale
 - ICGEM: 1000 Besucher pro Tag
 - GravIS: 2000 Besucher pro Monat



DFG SPP 1788 (Study of Earth System Dynamics with a Constellation of Potential Field Missions)

DFG SPP 1889 (Regional Sea Level Change and Society)

DFG FOR GlobalCDA (Understanding the global freshwater system using a calibration/data assimilation approach)

DFG FOR NEROGRAV (New Refined Observations of Climate Change from Spaceborne Gravity Missions)

EU H2020 G3P (Global Gravity-based Groundwater Product)

DFG GRK UPLIFT (Geophysical modelling of vertical motion processes constrained by geodetic and geological observations)

DynamicEarth SPP 1788

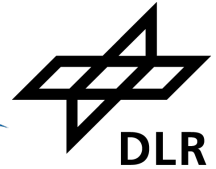
NEROGRAV
New Refined Observations of Climate Change from Spaceborne Gravity Missions

Messprinzip Satellite-to-Satellite Tracking (SST)

Industrielle Kompetenz

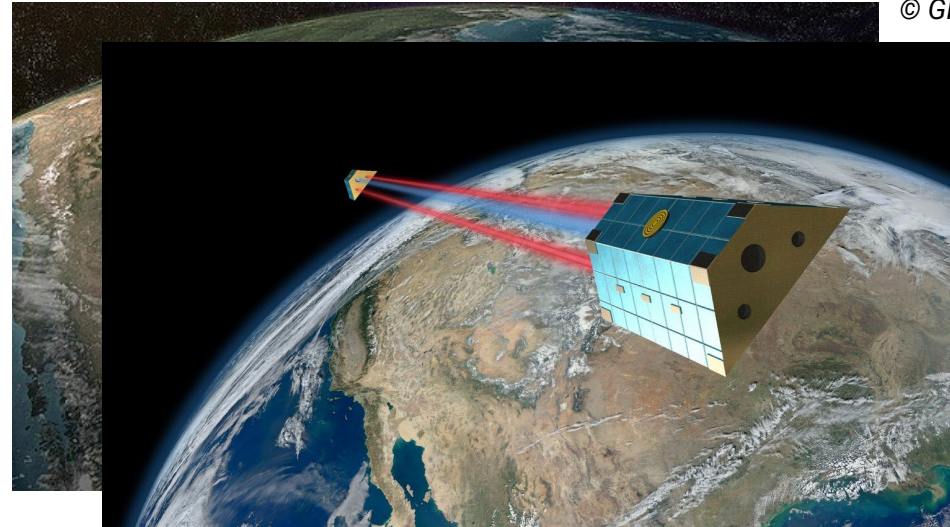


MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



© GRACE Tandem: DLR

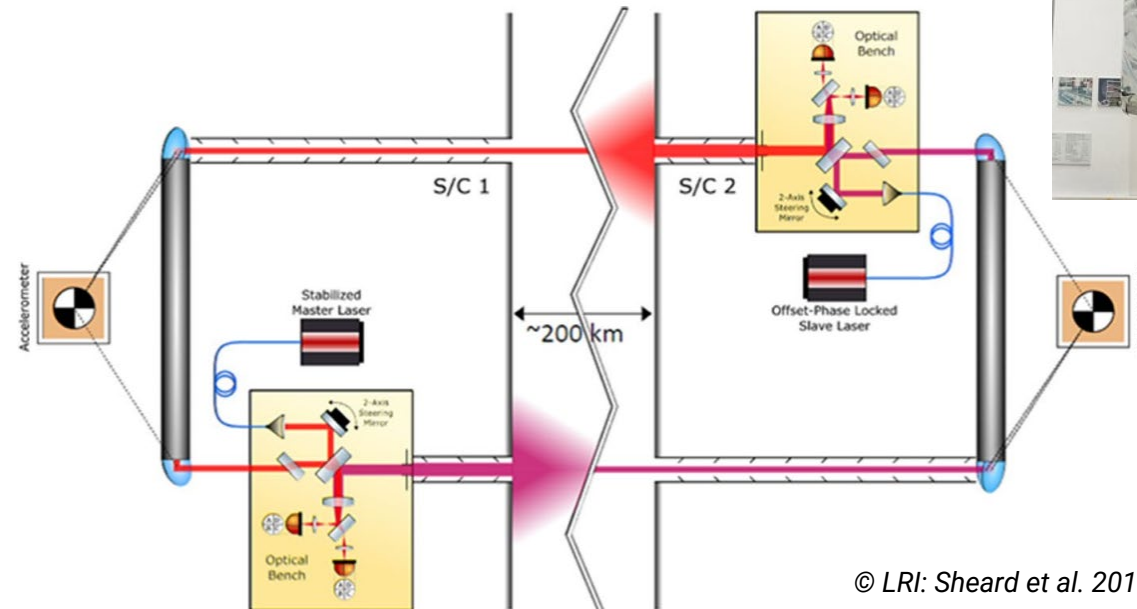
- Messprinzip von **GRACE** und **GRACE Follow-On** basiert auf **Satellite-to-Satellite Tracking (SST)**: Erfassung des Schwerefelds der Erde durch eine kontinuierliche Messung des Abstands zwischen zwei Satelliten
- **GRACE**: Mikrowellen-Instrument (**MWI**)
- **GRACE Follow-On**: MWI + Laser Ranging Interferometer (**LRI**) als Technologiedemonstrator → Amerikanisch-Deutsche Partnerschaft: Elektronik + Laser aus US, Optische Komponenten aus DE



© Earth: NASA "Blue Marble", GRACE FO Tandem: Schütze/Max Planck Institute for Gravitational Physics

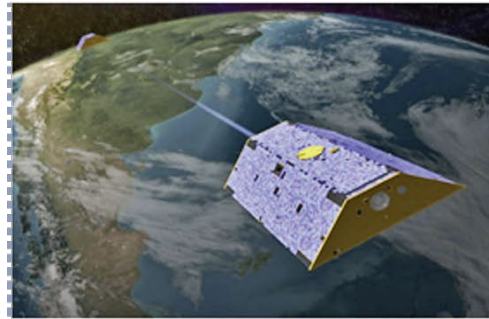


© Airbus



© LRI: Sheard et al. 2012

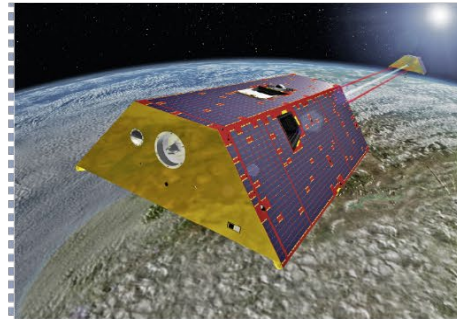
Fortführung der Schwerefeldmessung



GRACE 2002-2017



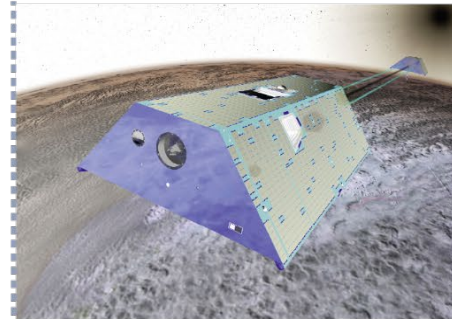
Erstmalige Beobachtung von Massentransporten aus dem Weltraum basierend auf Mikrowellen-Entfernungsmessungen zwischen 2 baugleichen Satelliten.



GRACE-FO 2018-2028



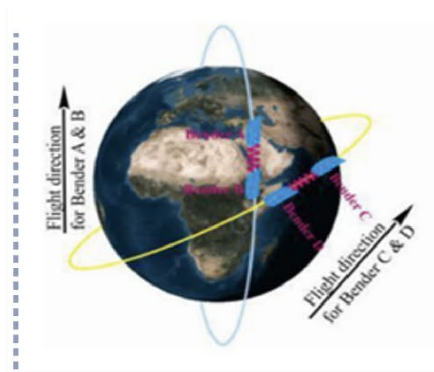
Fortsetzung der Zeitserie und zusätzlicher Betrieb eines Laser Ranging Interferometers (LRI) als Technologie-Demonstrator für künftige Schwerefeldmissionen.



GRACE/Mass Change 2028-2032



Datenkontinuität basierend auf LRI-Beobachtungen.



Zeiträume bei GRACE/Mass Change und NGGM sind TBD

NGGM 2031-2038



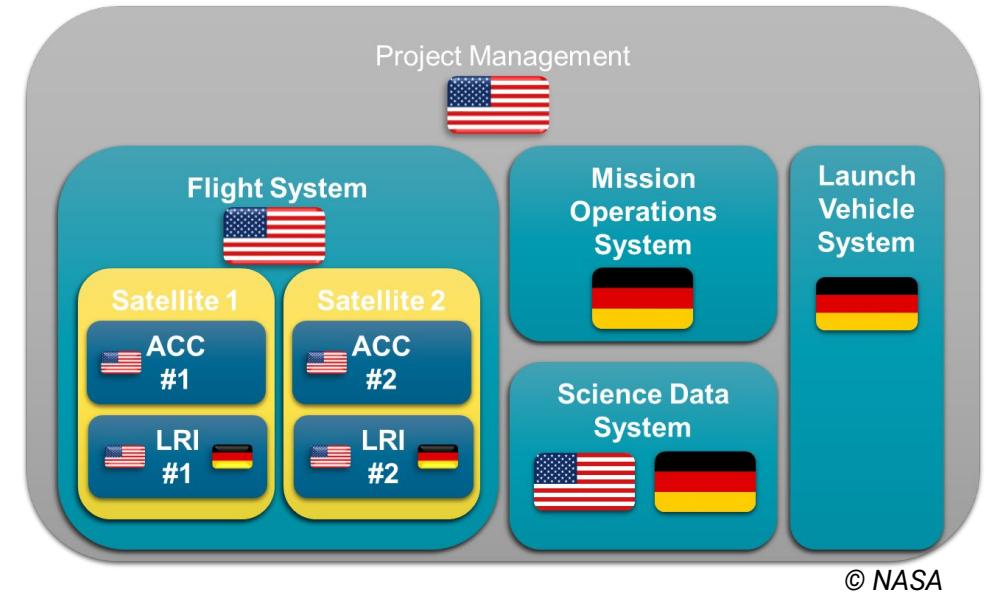
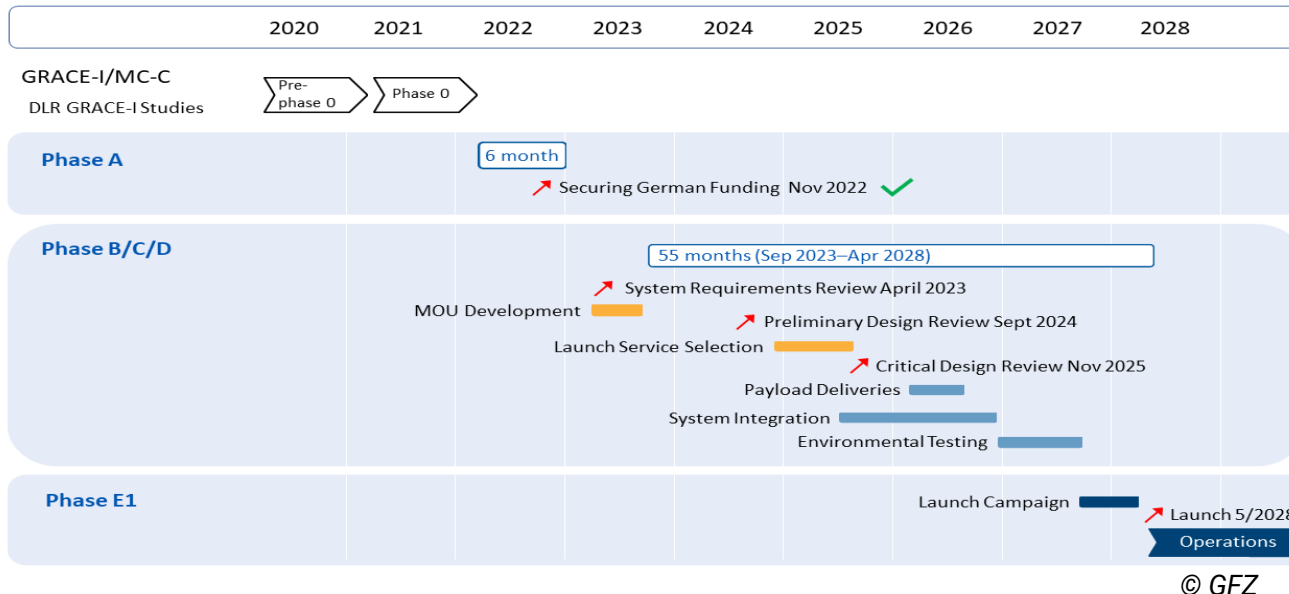
Erhöhte räumlich/zeitliche Auflösung basierend auf der Kombination von GRACE/Mass Change und einer inklinierten ESA Next Generation Gravity Mission (NGGM).



GRACE/Mass Change Überblick



- Vorbereitung von GRACE/Mass Change in Kooperation mit NASA/JPL seit 2019
- Partner in DE: DLR, GFZ, MPG-AEI:
 - Missionsmanagement: DLR RFA
 - Missionsbetrieb: GFZ
 - Finanzierung in gleichen Anteilen durch BMBF und BMWK
 - Zusätzlich finanzielle Beiträge von MPG-AEI und GFZ
 - Geplanter Beginn der Bauphase in 2023



Deutsche Beiträge ähnlich GRACE-FO: optische Komponenten LRI, Launcher, Missionsbetrieb, Beitrag zum Science Data System. Bau der Satelliten: Airbus (direkt beauftragt durch JPL); Management durch Deutsche Raumfahrtagentur.

