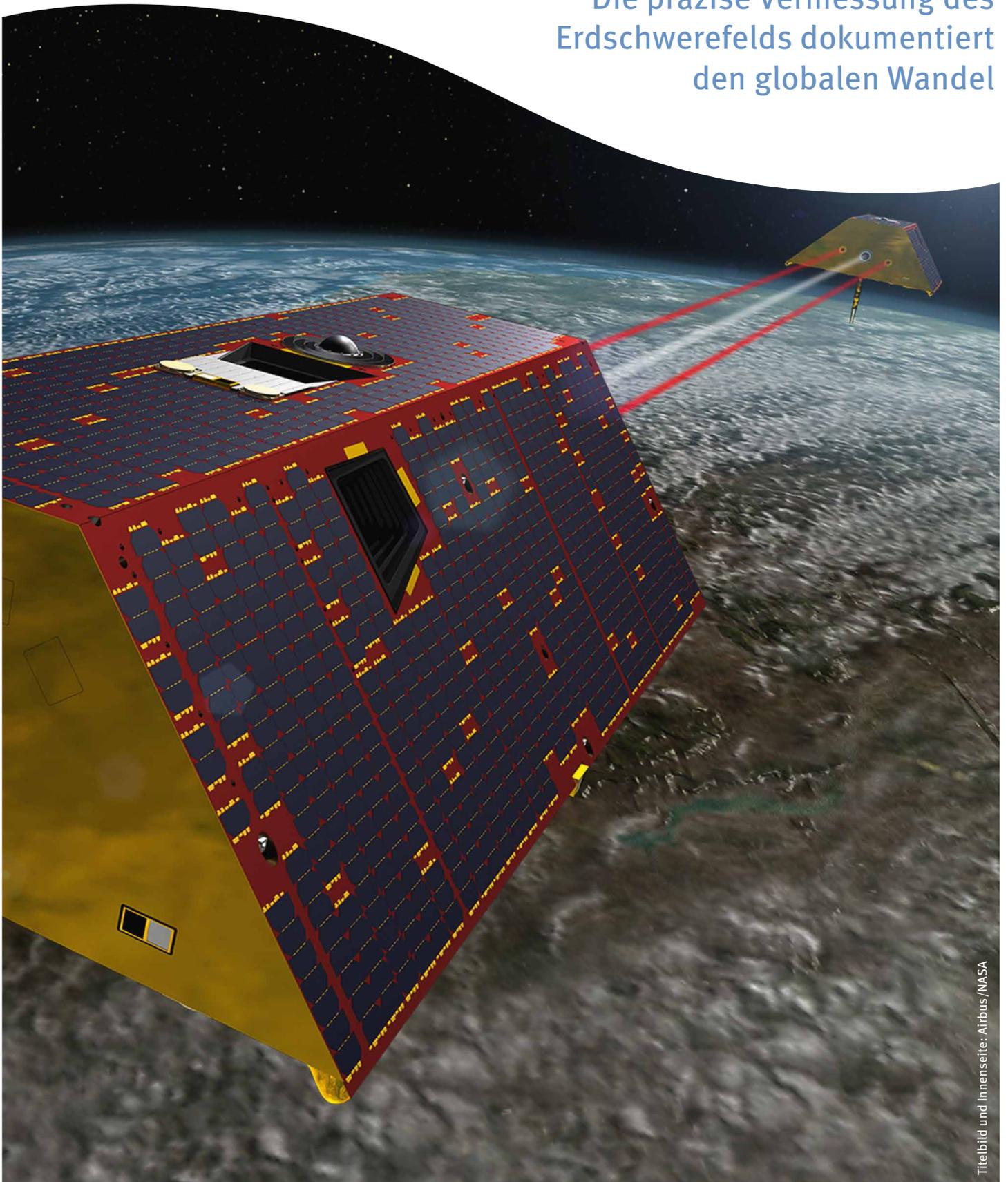


**GFZ**

Helmholtz-Zentrum  
**POTS DAM**

# GRACE Follow-On

Die präzise Vermessung des  
Erdschwerefelds dokumentiert  
den globalen Wandel

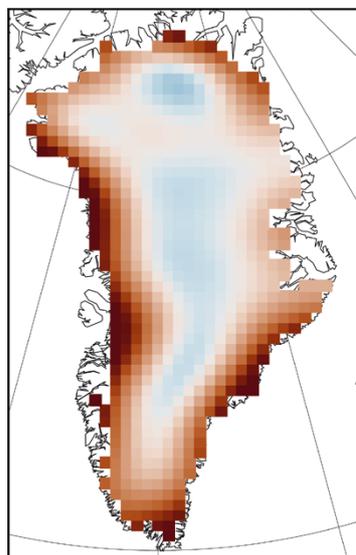
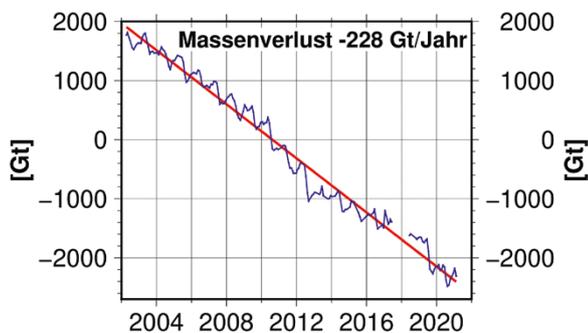


Das Satellitenpaar GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) hat von 2002 bis 2017 das Erdschwerefeld sehr genau vermessen. Dabei wurden räumliche und zeitliche Änderungen erfasst, die unter anderem den Verlust von Eismassen oder Übernutzung von Grundwasservorkommen dokumentieren. Die Nachfolgemission GRACE Follow-On führt diese Messreihe seit Mai 2018 fort und ermöglicht es damit, die dynamischen Prozesse im System Erde über längere Zeiträume zu beschreiben und damit auch besser zu verstehen.

## Erdanziehung und Messung

Die Massenverteilung im Erdkörper und auf der Oberfläche unseres Planeten ist nicht überall gleich. Im Erdinneren bewegen sich glutflüssige Gesteinsmassen, Wassermassen fließen in den Ozeanen und auf den Kontinenten, und auch die Luftmassen sind in stetiger Bewegung. Da die Anziehungskraft eines Körpers von seiner Masse abhängt, hat die ungleiche Massenverteilung unseres Planeten ein ungleichförmiges Feld der Gravitation zur Folge.

### Eismassenverlust Grönland



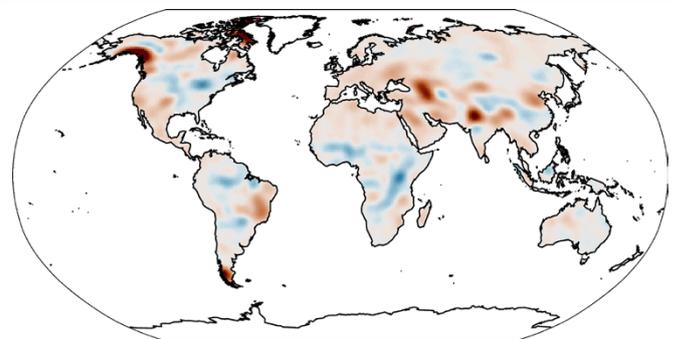
Trend Äquivalente Wassersäule [mm/Jahr]

Die Abbildung zeigt den Trend des Eismassenverlustes in Grönland gemäß der GRACE und GRACE-FO-Daten zwischen 2002 und 2021. Der Masseverlust betrug rund 230 Giga Tonnen (= Milliarden Tonnen) pro Jahr.

Die in einem Abstand von rund 220 km hintereinander fliegenden Satelliten der Mission GRACE Follow-On werden daher, zeitlich etwas versetzt, mal stärker und mal schwächer angezogen – je nachdem, wie viel Masse sich unter ihnen befindet. Dies führt zu einer kleinen Änderung des Satellitenabstands, der dank eines präzisen Mikrowellenverfahrens bis auf einige Tausendstel Millimeter genau bestimmt wird. Das entspricht etwa dem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares. Als Ergebnis können damit auch geringe Massenunterschiede im System Erde erfasst werden.

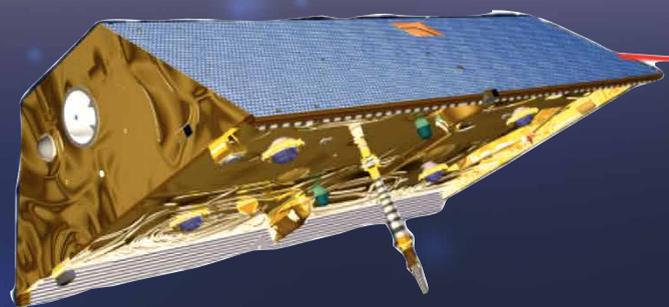
## Instrumente

Jeder der beiden Satelliten ist mit einem GPS-Empfänger zur Positionsbestimmung ausgerüstet. Hinzu kommt ein Beschleunigungsmesser im Schwerpunkt der Satelliten. Dieser wird zur Korrektur der Abbremsung durch die Restatmosphäre und der Sonnenstrahlung genutzt. Mit drei Sternsensoren kann die genaue Satellitenlage im Raum bestimmt werden.



Trend Äquivalente Wassersäule [cm/Jahr]

GRACE und GRACE-FO-Messungen dokumentieren, wie sich Wasserressourcen auf den Kontinenten im Lauf der Zeit ändern (Verlust in Rot, Zunahme in Blau).



Mit Hilfe verschiedener Messungen entstand diese stark überhöhte Darstellung des globalen Schwerfelds und damit verbundener Abweichungen vom idealen Rotationsellipsoid. Sie wird auch als „Potsdamer Kartoffel“ bezeichnet.



An den Satelliten sind Laserreflektoren montiert, die am GFZ entwickelt wurden. Sie werfen Laserlicht, das von ausgewählten Beobachtungsstationen abgestrahlt wird (darunter am GFZ) zurück. Aus diesen Messungen kann der Abstand zur Erde und damit die Umlaufbahn sehr genau bestimmt werden.

Herzstück der Instrumentierung ist das Distanzmesssystem HAIRS (High Accuracy Intersatellite Ranging System), das auf Mikrowellentechnik basiert. Zusätzlich ist als Technologie-Demonstrator ein neuartiges Laser-Messverfahren (Laser Ranging Interferometer) montiert. Es misst den Abstand zwischen den Satelliten über eine Entfernung, die etwa dem von Potsdam nach Hannover gleicht, sogar bis auf 20 Nanometer (Millionstel Millimeter) genau. Das entspricht etwa der Größe eines Corona-Oberflächenproteins („Spike“).

Zur Komplettierung der Instrumente hat das GFZ einen Laser-Retroreflektor für beide Satelliten gefertigt. Damit kann die Entfernung zu den beiden Satelliten von der Erde auf wenige Millimeter genau bestimmt und die auf der Basis von GPS-Daten errechneten Satellitenbahnen unabhängig überprüft werden.

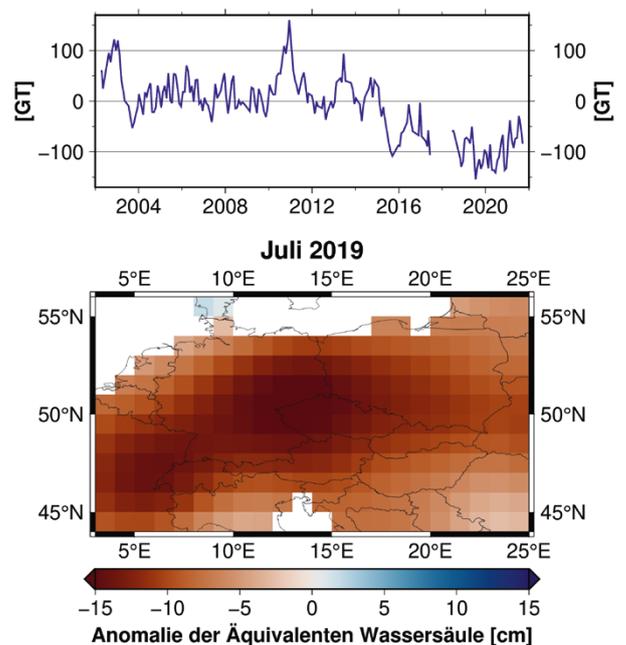
## Wasser – der große Akteur im Klima

Durch die extreme Genauigkeit der Abstandsmessung ist es möglich, auch sehr kleine Änderungen des Erdschwerefeldes, und das zusammen mit den Daten der Vorgänger GRACE-Mission über einen Zeitraum von zwei Dekaden Monat für Monat zu bestimmen. Aus diesen Informationen können neue Erkenntnisse über den kontinentalen Wasserkreislauf, über die Veränderung der Eisbedeckung an den Polen und auf Grönland, über Ozeanströmungen und den Meeresspiegelanstieg gewonnen werden.

Mit GRACE Follow-On wird sehr genau beobachtet, welche Mengen an Wasser, Eis und anderer Materie im Laufe der Zeit umverteilt werden. Damit erhält man nicht nur ein vollkommen neues Bild der dynamischen Vorgänge in und auf der Erde; sondern auch sind diese Größen wesentlich, um Wasser-Austauschprozesse zwischen Land, Ozean und Atmosphäre zu verstehen und zu beschreiben. Diese Daten fließen schließlich auch in Klimamodelle ein und verbessern damit unser Verständnis des sich ändernden System Erde.

Hierzu tragen auch die zusätzlich täglich gewonnenen vertikalen Temperatur- und Wasserdampfprofile bei, die mit einem Verfahren namens GPS-Radiokkultation an etwa 200 global verteilten Messpunkten täglich erhoben werden. Die Methode basiert auf dem Umstand, dass die auf GRACE Follow-On empfangenen Funksignale hinter der Erde verschwindender GPS-Satelliten infolge temperatur- und feuchtebedingter Dichteänderungen der Atmosphäre unterschiedlich stark gebrochen werden. Diese Änderungen lassen sich aus den GPS-Signalen, die an Bord der Satelliten aufgezeichnet werden, rekonstruieren. Die Atmosphärenmessungen von GRACE Follow-On werden mit einer Verzögerung von ca. zwei Stunden an verschiedene internationale Wetterzentren geliefert, um deren tägliche Vorhersagen zu verbessern.

### Anomalie des Wasserspeichers Mitteleuropas



Die mitteleuropäische Dürre 2018-2020 beobachtet mit GRACE-FO im Vergleich zur gesamten GRACE und GRACE-FO Zeitreihe. Die Anomalie des Wasserspeichers zeigt die Massenabweichung vom langjährigen mittleren Jahresgang (ca 160 Gt Unterschied zwischen Februar und September). Das Ausmaß der Dürre in ganz Mitteleuropa wird für den trockensten Monat (Juli 2019) gut sichtbar.

## Die Mission GRACE Follow-On im Überblick

- › Satelliten: zwei baugleiche Raumfahrzeuge, hergestellt von Airbus in Friedrichshafen
- › Start: am 22. Mai 2018 an Bord einer Falcon-9-Rakete von SpaceX von der Vandenberg Air Force Base/Kalifornien
- › Orbit: Umlaufbahn über die beiden Pole, in rund 490 km Höhe
- › Abstand der Satelliten zueinander: ca. 220 km
- › Dauer eines Umlaufs: ca. 90 Minuten
- › Missionsbetrieb: Raumfahrtkontrollzentrum des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR/GSOC) Oberpfaffenhofen im Auftrag des GFZ
- › Missionsdauer: um weitere 3,5 Jahre bis Dezember 2026 in Planung
- › Die Mission GRACE Follow-On ist eine Kooperation mit der US-Raumfahrtagentur NASA. Die deutschen Beiträge der Mission werden vom GFZ geleitet und gemeinsam finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, die Helmholtz-Gemeinschaft sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt und das GFZ.



Foto: NASA

Helmholtz-Zentrum Potsdam –  
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ

Telegrafenberg  
14473 Potsdam

Telefon: +49 (0)331 288-1040  
e-mail: presse@gfz-potsdam.de

www.gfz-potsdam.de

## Datenaufbereitung und -bereitstellung

Die Mission GRACE Follow-On erfasst kontinuierlich Daten aus allen Regionen der Erde. Sie werden vorrangig über die GFZ-eigene Empfangsstation Ny-Ålesund auf Spitzbergen empfangen und weitergeleitet. Für die Auswertung und Verteilung der wissenschaftlichen Daten ist auf europäischer Seite das GFZ – namentlich der Co-PI der Mission, Prof. Frank Flechtner, und sein Team – verantwortlich. Die Instrumenten- und Schwerfeld-Produkte können beim Informationssystem und Datenzentrum (ISDC) heruntergeladen werden: <http://isdc.gfz-potsdam.de>

Visualisierungen von verschiedenen anwendungsbereiten Schwerfeldprodukten sind beim Gravity Information Service zu finden: <http://gravis.gfz-potsdam.de>



Die GFZ-eigene Empfangsstation auf Spitzbergen liegt so weit im Norden, dass die Satelliten nach jeder Erdumrundung Kontakt haben und die Daten rasch zu den Nutzern gelangen.

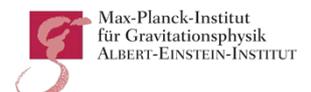


Foto: Airbus

Die beiden Satelliten wurden in Deutschland gebaut und ausführlich auf ihre Weltraumtauglichkeit getestet, bevor sie zum Startplatz nach Kalifornien gebracht wurden.



HELMHOLTZ



AIRBUS