

Unterirdisches Grundwasser, überirdische Beobachtung

Franziska Konitzer

Mit Hilfe der Satellitengravimetrie können Geodäten und Hydrologen Veränderungen im Grundwasser erstmals global erfassen.

Es war keine typische Fernerkundungsmission, aber dennoch hatte das Satellitenpaar GRACE, kurz für »Gravity Recovery and Climate Experiment«, die Erde 15 Jahre lang im Blick: Von 2002 bis 2017 umrundeten die beiden Satelliten mit den Spitznamen »Tom und Jerry« die Erde, einer gefolgt vom anderen. Mal wurde der vordere Satellit etwas stärker von der Erde angezogen und damit ein wenig beschleunigt, mal zog ihn die Erde etwas weniger an, dann wurde er langsamer und sein Verfolger holte im Vergleich dazu auf. Abstandsmessungen zwischen den beiden Satelliten ließen Geodäten somit auf das Schwerefeld schließen.

Seit 2018 ist der Nachfolger rund 500 Kilometer über der Erdoberfläche im Einsatz: GRACE-Follow On, kurz GRACE-FO, heißt diese Mission. Sie funktioniert nach demselben Prinzip, hat aber einige technische Neuheiten wie ein Laserinterferometer an Bord, das als Technologie-demonstration für ein zukünftiges weltallbasiertes Gravitationswellenobservatorium dienen soll (siehe zfv 3/2016).

Die Unterwelt aus der Satellitenperspektive

Was sowohl GRACE als auch GRACE-FO global im Blick hatten oder haben – obwohl man es per Definition nicht sehen kann –, ist das Grundwasser. In manchen Regionen Deutschlands ist es so nah an der Erdoberfläche, dass es Kellerwände durchfeuchtet. Andernorts ist es so tief, dass man 160 Meter tiefe Brunnen bohren muss, um damit Bier zu brauen. Grundwasser stellt nur einen geringen Anteil allen Wassers auf der Erde dar, schließlich steckt der allergrößte Anteil in den salzigen Meeren und Ozeanen. Allerdings ist rund die Hälfte der derzeitigen Menschheit auf dieses Wasser angewiesen, von dem niemand so recht weiß, wie viel es davon eigentlich auf der Welt gibt. Auch Hydrologen nicht, jene Spezialisten für den globalen Wasserkreislauf.

»Hydrologische Modelle sind oft davon ausgegangen, dass sich in Bezug auf die relativen Anteile langfristig nichts ändert«, sagt Nico Sneeuw, Professor am Geodätischen Institut der Universität Stuttgart. »Sie modellieren natürlich das jahreszeitenabhängige Signal, aber in den Modellen gibt es oft die versteckte Annahme, dass die Erde im Gleichgewicht ist, was das Grundwasser angeht.« Doch dann fing GRACE an, seine Daten vom sich ändernden Schwerefeld der Erde zu sammeln. Diese Daten wurden ausgewertet und es zeigte sich: »Dieses Bild stimmt nicht.«

Denn was GRACE aufzeichnete, waren Veränderungen im Schwerefeld – also letztendlich lokale Veränderungen

der Erdmasse über den Missionszeitraum. »Diese Massenverlagerungen sind auf verschiedene Komponenten des Erdsystems zurückzuführen, aber insbesondere auf den Wasserkreislauf«, sagt Sneeuw. Diese Veränderungen machen sich zwar erst ab der fünften Nachkommastelle der Erdbeschleunigung, die oft verkürzt mit $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ angegeben wird, bemerkbar. Weder GRACE noch GRACE-FO können die absolute Menge an Wasser, ob Ozean, Grund- oder Oberflächenwasser, bestimmen, da sie lediglich Veränderungen registrieren können. Aber diese Satellitengravimetrie liefert Geodäten wertvolle – um nicht zu sagen, einzigartige – Signale über die Massentransporte auf unserer Erde.

Signalseparation des Wassers

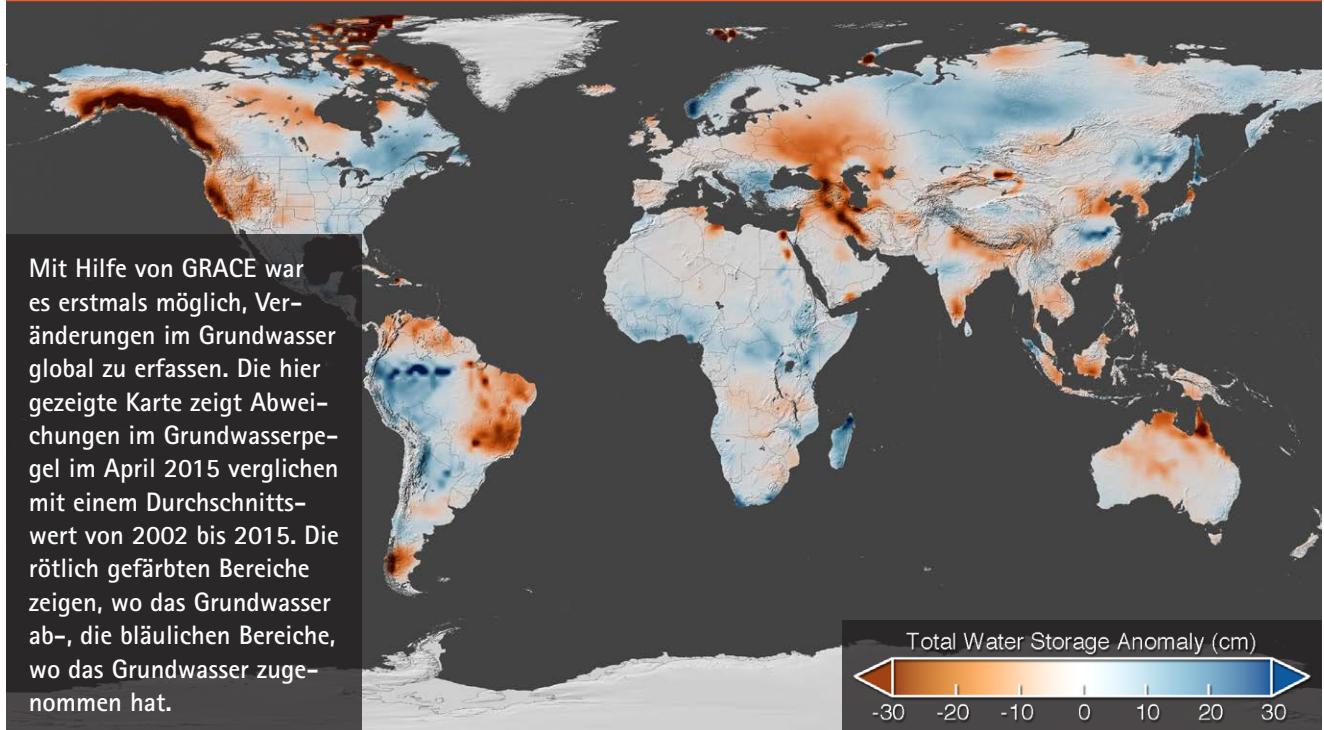
Diese Massentransporte gilt es allerdings aufzuschlüsseln, denn die Satelliten machen eine integrale Beobachtung, können also lediglich über sukzessive Flüge über eine Region feststellen, ob an dieser Stelle die Masse zu- oder abgenommen hat. »Wir als Geodäten sind die Experten für diese Beobachtung«, sagt Annette Eicker, Professorin für Geodäsie und Ausgleichsrechnung an der HafenCity Universität Hamburg. »Wir brauchen anschließend im Grunde alle anderen Geowissenschaften, um dieses eine Signal auseinanderzunehmen.«

Das heißt: Geodäten brauchen Glaziologen, die sich um das Eis kümmern, Ozeanographen mit ihren Fachkenntnissen und Modellen der Ozeane und schließlich Hydrologen, die ihr Wissen zum Wasser auf Land sowie ihre hydrologischen Modelle beisteuern. Man kann aber auch nicht annehmen, dass alle Massenänderungen auf Wassertransporte zurückzuführen sind. So können auch Erdbeben das Schwerefeld der Erde beeinflussen, wie beispielsweise das Erdbeben im Indischen Ozean vor Sumatra im Jahr 2004.

Aber wie steht es nun um das Grundwasser der Erde – fällt so ein scheinbar geringer Posten irgendwo an der fünften Nachkommastelle einem Satellitenpaar 400 Kilometer über der Erde überhaupt auf? »Die saisonalen Schwankungen dominieren ganz klar das Jahressignal«, erklärt Annette Eicker. »Da ist beispielsweise das Amazonasbecken sehr dominant. Danach kommen die Trends bei den Gletschern, also den schmelzenden Gletschern in Grönland, der Antarktis und Alaska. Aber dann kommen auch schon die Grundwassersignale.«

Von Kalifornien nach Nordindien

Was diese Daten angeht, so fallen dabei unter anderem zwei Gebiete auf: Kalifornien in den USA sowie Nordindien. Dort nämlich nimmt das Grundwasser im Boden ab.



»In diesen Regionen wird in riesigen Mengen Grundwasser entnommen und nicht mehr auf nachhaltige Weise aufgefüllt«, sagt Sneeuw.

So hat Kalifornien seit Jahren gegen eine Dürre zu kämpfen. Ein Drittel allen Gemüses sowie zwei Drittel allen Obstes und Nüsse der USA werden aber im kalifornischen Central Valley angebaut – und das kostet Wasser, Grundwasser. Eine neue Gesetzgebung zur Regelung der Grundwasserentnahme soll dieser Entwicklung gegensteuern. In Nordindien sind es vor allem Kleinbauern, die mit dem Grundwasser ihre Reis- und Weizenfelder bewässern. Diese Bewässerung ist nicht nachhaltig, da das Grundwasser dabei abnimmt, obwohl es in Nordindien derzeit normale Niederschlagsmengen gibt, welche die Grundwasserspeicher also eigentlich immer wieder auffüllen sollten. »Auch im Mittleren Osten findet GRACE noch eine nicht nachhaltige Abnahme im Grundwasser«, sagt Eicker.

»Man wird in Deutschland allerdings keine Unterschiede zwischen Hamburg und Hannover sehen können«, fährt sie fort. Auch Hamburg und Passau würde nicht funktionieren, denn laut Nico Sneeuw ist eigentlich der ganze Kontinent Europa für GRACE fast zu klein. »Die räumliche und zeitliche Auflösung ist nämlich ziemlich schlecht.« Auch der Nachfolger GRACE-FO ist in dieser Hinsicht nicht sehr viel besser: Auch GRACE-FO schafft nur eine Auflösung von dreihundert Kilometern. »Hydrologen verfolgen den Wasserkreislauf anhand von Flusseinzugsgebieten«, erzählt Nico Sneeuw. »Und da sind das Rhein- oder das Donau-Flusseinzugsgebiet fast zu klein.« Diese Tatsache allein macht andererseits klar, welches Ausmaß die Grundwasserentnahmen in Nordindien oder Kalifornien haben müssen, um so deutlich registriert zu werden.

Eine hydrologische Innovation

»Aber diese integrale Beobachtung ist eine Observable, die es vor GRACE schlicht und ergreifend nicht gab. Das ist eine ganz große Innovation für die Hydrologie«, sagt Sneeuw. Die bisherigen hydrologischen Messmethoden bestehen in Punktmessungen, also in Bohrungen und hydrologischen Messstationen, mit denen man ein möglichst flächendeckendes Netz anstrebt. Dies ist natürlich praktisch global nicht umsetzbar. »Solche einzelnen Brunnenbohrungen sind auch nicht unbedingt repräsentativ für ein 300 Kilometer großes Gebiet«, sagt Eicker.

Inzwischen arbeitet Annette Eicker an einem weiteren Schritt. Weil die Beobachtungen von GRACE und ihrem Nachfolger so einzigartig sind, ist es schwierig, sie anderweitig experimentell zu reproduzieren. Deshalb wurden die GRACE-Daten bislang vor allem dazu verwendet, um die bestehenden Vorhersagen von hydrologischen Modellen – die ihrerseits wieder auf Punktmessungen beruhen – zu überprüfen. »Aber in den letzten Jahren gibt es immer mehr Bemühungen, dass GRACE-Daten als zusätzliche Information mit in die Modelle eingebaut werden«, sagt Eicker.

In der Zwischenzeit überfliegen die zwei Satelliten von GRACE-FO weiterhin die Erde und verfolgen ihre bewegten Massen. Genau wie GRACE liefert der Nachfolger einmal im Monat ein Update, auch die räumliche Auflösung ist momentan noch nicht sehr viel höher. Hydrologen aber reicht das nicht, sie hätten gerne wöchentliche, wenn nicht sogar tägliche Wasserdaten. Einfach wäre das jedoch nicht: Denn aufgrund der Erdatmosphäre können die Satelliten nicht einfach tiefer fliegen, und für weitere Verbesserungen bräuchte es mindestens zwei, wenn nicht sogar drei, Satellitenpaare. »Aber wir machen uns bereits jetzt Gedanken, wie es nach GRACE-FO weitergehen könnte«, sagt Nico Sneeuw.

Kontakt: f.konitzer@gmail.com