

Potenziale der Satellitengravimetrie zur Bestimmung von Veränderungen der Wasserspeicherung auf der Erde

Die Abfolge mehrerer Jahre mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen und hohen Lufttemperaturen hat in Deutschland zuletzt vielfach zu Wassermangelsituationen und ökologischen wie ökonomischen Dürreschäden geführt. Das insbesondere in den Sommermonaten der letzten Jahre wiederkehrende Wasserdefizit löste eine breite öffentliche Diskussion über den Zustand und die künftige Verfügbarkeit der Wasserressourcen in Deutschland und Europa aus. Sind die letzten Jahre der Beginn einer im Zuge von Klimaänderungen und anderen Umweltveränderungen fortschreitenden Zehrung der Wasserressourcen? Wie sicher ist die künftige Wasserverfügbarkeit für die verschiedenen Sektoren der Wassernutzung?

Eine essentielle Grundlage für die Bewertung des aktuellen hydrologischen Zustands und für die Erarbeitung von Prognosen zur künftigen Entwicklung sind Messdaten der meteorologischen und hydrologischen Zustandsgrößen sowie der Wasser- und Energieflüsse über lange Zeiträume. Auch wenn in Mitteleuropa vergleichsweise dichte Messnetze vorliegen, bestehen Herausforderungen in der Datenerhebung einerseits hinsichtlich einer ausreichenden räumlichen Abdeckung der Messungen und deren Regionalisierung für große Gebiete, und andererseits im Anspruch einer umfassenden Bemessung aller Komponenten des Wasserkreislaufs. Für diese Herausforderungen sind komplementäre Messungen mit bodengestützten Beobachtungsnetzen und mit kontinuierlichen fernerkundlichen, insbesondere satellitengestützten Verfahren, essentiell.

Im Zuge der genannten Herausforderungen ist insbesondere auch die Erfassung von zeitlichen und räumlichen Änderungen der Wasserspeicherung eine fundamentale Grundlage für die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen. Die Veränderungen der Wasserspeicherung bilden hierbei in einer integrativen Weise den Gesamteffekt ab, wie er sich aus den Veränderungen der Wasserflüsse von Niederschlag, Verdunstung und Abfluss im hydro-klimatologischen System einstellt und sie sind für das Schließen der Wasserbilanzgleichung als vierter Term essentiell. Wegen dieser grundlegenden Bedeutung als Klimaindikator und ihrer Bedeutung für Rückkopplungseffekte auf das Klimasystem wurde die terrestrische Wasserspeicherung (TWS; Terrestrial Water Storage; Gesamtwasserspeicherung) kürzlich von der World Meteorological Organization (WMO) und dem Global Climate Observing System (GCOS) als neue Essentielle Klimavariablen (Essential Climate Variable ECV) deklariert (<https://gcos.wmo.int/en/publications/gcos-implementation-plan2022>).

Die umfassende Messung von Veränderungen der Wasserspeicherung ist mit klassischen Verfahren sehr aufwändig. Der Grund: Die TWS umfasst die verschiedensten Speicherkompartimente. Diese müssten mit den entsprechenden Messverfahren jeweils einzeln erfasst und dann in einer konsistenten Weise aufsummiert werden. Je nach der regionalen hydrologischen Situation sind unterschiedliche Speicherkompartimente zu berücksichtigen, zum Beispiel das Grundwasser, die ungesättigte Bodenzone, diverse Oberflächengewässer, die Schneedecke und Gletscher. Es gibt nur eine Methode, mit der sich die Veränderungen der Wasserspeicherung integrativ großflächig erfassen lassen: die Satellitengravimetrie.

Die Satellitenpaare von GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment; 2002 bis 2017) und GRACE-FO (GRACE Follow-On, seit 2018) messen monatliche und räumliche Veränderungen des Schwerefeldes der Erde. Sie "sehen" damit Massenverlagerungen im Erdsystem, so auch die Veränderungen der Wassermassen wie sie durch die hydrologischen Prozesse in allen genannten Speicherkompartimenten auf den Kontinentalflächen der Erde hervorgerufen werden und schließen Veränderungen weit unter der Erdoberfläche mit ein. Die Satellitengravimetrie kann daher den für die Wasserbilanz erforderlichen Term der Speicheränderungen in einer integrativen Weise bereitstellen.

In der vorliegenden Ausgabe der HyWa sollen die Potenziale und Einschränkungen der Methodik der Satellitengravimetrie daher erläutert und die Ergebnisse für das Gebiet von Deutschland aus den bisherigen rund 20 Jahren Beobachtungsdaten dargestellt und diskutiert werden.

Neben der großräumigen satellitengestützten Messung des zeitvariablen Schwerefeldes der Erde und damit der Speicheränderungen wäre wie für viele andere Fernerkundungsverfahren auch ein komplementäres bodengestütztes Messnetz zur Evaluierung der Satellitendaten und zur Ableitung räumlich höher aufgelöster Datensätze der Wasserspeicherung wünschenswert. Die grundsätzliche Machbarkeit der Erfassung von Speicheränderungen in der Landschaft mit In-situ-Messungen durch sogenannte Gravimeter, also Messgeräten, die die Veränderungen der Erdschwerebeschleunigung lokal erfassen können, wurde in den letzten Jahren durch zahlreiche wissenschaftliche Studien gezeigt (Güntner et al. 2017, Landscape-scale water balance monitoring with an iGrav superconducting gravimeter in a field enclosure, in HESS).

Aufgrund des vergleichsweise großen technologischen Aufwands, der mit den hierfür benötigten hochpräzisen Gravimetern verbunden ist, werden diese Messungen bisher nur an wenigen Punkten kontinuierlich durchgeführt. Das mit der Realisierung eines präzisen und einheitlichen Schwerestands für Deutschland befasste Bundesamt für Kartografie und Geodäsie (BKG) strebt dennoch ein deutschlandweites Messnetz solcher Stationen, an um damit in Kombination mit den Satellitendaten ein regionales Monitoring von Speicheränderungen zu ermöglichen (vgl. Jährliche Pressekonferenz des BKG vom 15. November 2022). Einzelne Messstandorte von Gravimetern anderer Einrichtungen, wie sie beispielsweise vom Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) oder der Universität Bonn betrieben werden, können in ein derartiges Messnetz künftig ebenso einbezogen werden wie Stationen des Internationalen Geodynamics and Earth Tide Service (IGETS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) in den Europäischen Nachbarländern.

Die Satellitenmissionen GRACE und GRACE-FO haben über die Hydrologie hinaus eine große Sichtbarkeit in vielen Teildisziplinen der Geo- und Klimawissenschaften und gelten als erfolgreichste Erdbeobachtungsmission der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA, zu der deutsche Wissenschaft und Technik einen ganz wesentlichen Beitrag geleistet haben. So können Massenver-

lagerungen in anderen Komponenten des Erdsystems ebenfalls in zuvor unerreichter Weise erfasst werden, wie zum Beispiel das winterliche Anwachsen und sommerliche Abschmelzen der polaren Eisschilde oder der Vergletscherung großer Gebirgszüge, der massenbedingte Anteil am globalen Meeresspiegelanstieg oder auch geodynamische Prozesse, wie die von großen Erdbeben ausgelösten Massenveränderungen im Untergrund. Entsprechend gehört GRACE/GRACE-FO im jüngsten Bericht des zwischenstaatlichen Expertengremiums für den Klimawandel IPCC zu den drei meistgenannten Satellitenmissionen.

Die Finanzierung der deutschen Anteile an der auf GRACE-FO folgenden Mission der Satellitengravimetrie von NASA und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) ab voraussichtlich dem Jahr 2027 konnte kürzlich durch Bundesmittel gesichert werden. Etwa im Jahr 2031 soll diese GRACE-FO-Nachfolge mission mit einem weiteren, technisch weiterentwickelten

NGGM-Satellitenpaar (Next Generation Gravity Mission) kombiniert werden. Durch die um etwa 20 Grad gegenüber den polaren GRACE-Bahnen geneigte Bahn werden eine signifikant erhöhte zeitliche und räumliche Auflösung der Massentransportbeobachtungen angestrebt. Die Realisierung dieser "Mass-change And Geoscience International Constellation" (MAGIC) wurde von der ESA-Ratstagung auf Ministerebene Ende 2022 ebenfalls zugesagt. Diese erfreuliche Entwicklung wird die Beobachtung des Wasserkreislaufs und insbesondere der Veränderungen der Wasserspeicherung über einen klimarelevanten Zeitraum von mehreren Dekaden ermöglichen. Um die Bedeutung der GRACE-Satellitenmissionen, deren Services, Produkte und weitere Entwicklungen noch stärker in die gesellschaftliche Breite zu tragen, wird derzeit am GFZ Potsdam eine umfangreiche Informationsplattform entwickelt, die aktuelle Informationen, Karten und Trends für unterschiedliche Zielgruppen zur Verfügung stellt.

*Prof. Dr. Andreas Güntner,
Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ Potsdam) und
Universität Potsdam*

*Prof. Dr. Frank Flechtner,
GFZ Potsdam*

*Prof. Dr. Susanne Buiter,
Wissenschaftliche Vorständin GFZ Potsdam*

*Prof. Dr. Jürgen Kusche,
Universität Bonn*

*Prof. Dr. Paul Becker,
Präsident Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*