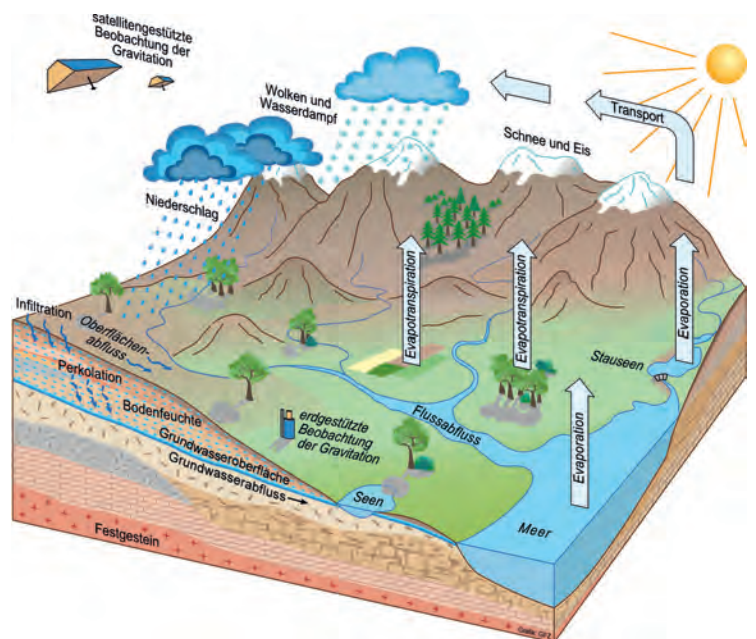
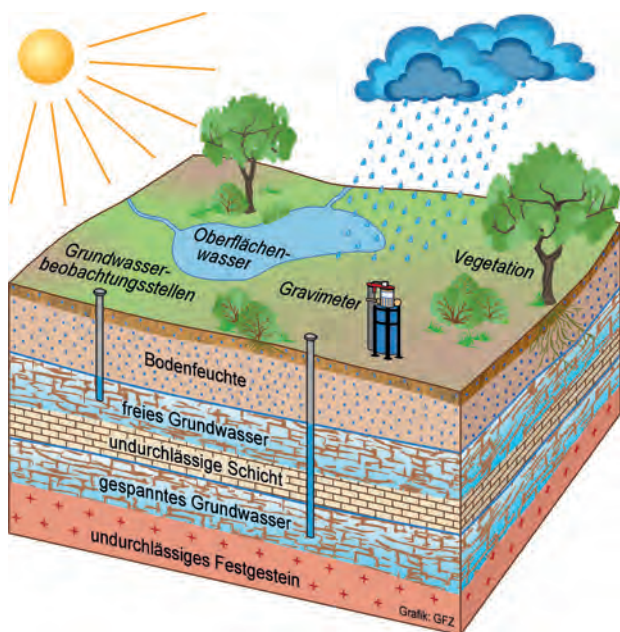


## Wasser – ein anziehendes Element

*Zwar ist der Wasserkreislauf im Allgemeinen bekannt, die genaue Quantifizierung des Wassers und seines Vorkommens ist jedoch immer noch ein aktuelles Forschungsthema. Mit neuartigen Messungen der Erdschwere lässt sich die Umverteilung von Wasser auf unserer Erde bestimmen. Aus dem All erkundet das Satellitenpaar GRACE großflächig die konti-*

*nentale Wasserspeicherung. Hochpräzise Gravimetremessungen wiederum ermöglichen die Untersuchung der Grundwasservorkommen vor Ort. Diese neuartigen Messverfahren zur Erkundung des Wasserkreislaufs können somit einen Beitrag zur effektiveren Nutzung der wertvollen Ressource Wasser und zur Klimaforschung leisten.*





Der Wasserkreislauf, unterirdische Wasserspeicher sowie unterschiedliche Messsysteme zur Erfassung der zeitlichen Variation der Erdschwere.

### Wasser ist Leben

Unser Wasserbedarf wird aus den Süßwasserressourcen der Erde gedeckt: Wasser in Bächen, Flüssen, Seen, Sümpfen, Schnee und Grundwasser. Insbesondere das im Untergrund gespeicherte Wasser ist eine wichtige Ressource für Haushalte, Landwirtschaft und der Industrie: ca. 50 Prozent seines Wasserbedarfs deckt der Mensch aus dem Grundwasser. In ländlichen Gebieten kann diese Zahl bis auf 90 Prozent steigen. Die Verfügbarkeit von Wasser kann den wirtschaftlichen Erfolg oder Misserfolg einer Region bestimmen. Insbesondere in einer sich verändernden Umwelt wird die zukünftige Verfügbarkeit von Wasser ein kritischer Punkt in vielen Regionen werden. Hinzu kommt, dass die Wasserbilanz der Kontinente eine entscheidende Rolle im globalen Klimageschehen spielt.

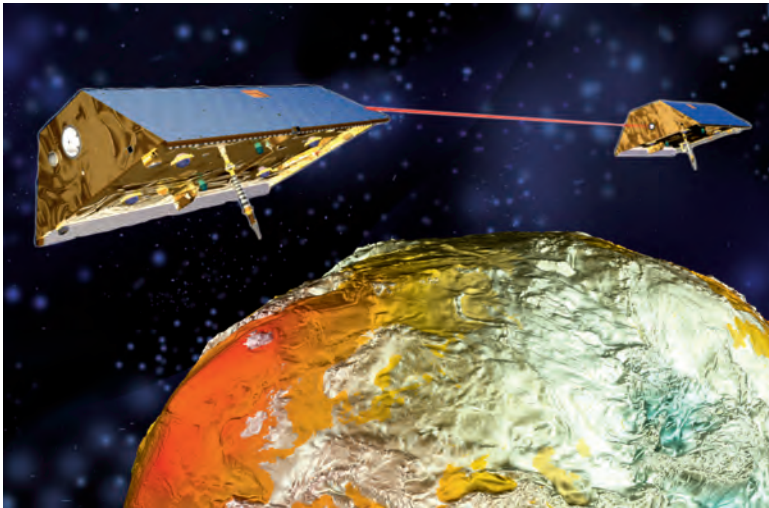
### Wasser – ein unsichtbares Element

Wasser auf, in und über der Erde ist ständig in Bewegung. Die Quantifizierung des Kreislaufs ist jedoch äußerst schwierig. Dies trifft insbesondere für das Wasser im Untergrund zu, da es nur schwer zu erfassen

und nicht direkt zugänglich ist. Der herkömmliche Weg zur Messung von Grundwasser ist, Brunnen zu graben und den Grundwasserspiegel direkt zu beobachten. Um aus dem Grundwasserstand die Grundwassermenge abzuleiten, müssen jedoch die Eigenschaften des Untergrundes bekannt sein. Diese können nur mit aufwendigen Tests bestimmt werden. Zur Massenbestimmung des Wassers sind daher neue Methoden nötig.

### Wasser ist Gravitation

Hydrologen nutzen heute geodätische Methoden, die eigentlich zur Vermessung der Erde und der Gravitation entwickelt wurden. Wasser ist Masse und übt deshalb eine Anziehungskraft aus. Da die Anziehungskraft eines Körpers von seiner Masse abhängt, bedingt die Umverteilung von Wassermassen durch Fließen oder Verdunsten eine Veränderung der Erdschwere. Somit bieten Messungen der Gravitation die Möglichkeit, auch unterirdische Wasserspeicheränderung sichtbar zu machen. Um jedoch Veränderung des Wassers im Untergrund zu erfassen, sind hochgenauen Messinstrumenten zur Erfassung der Erdschwere erforderlich.

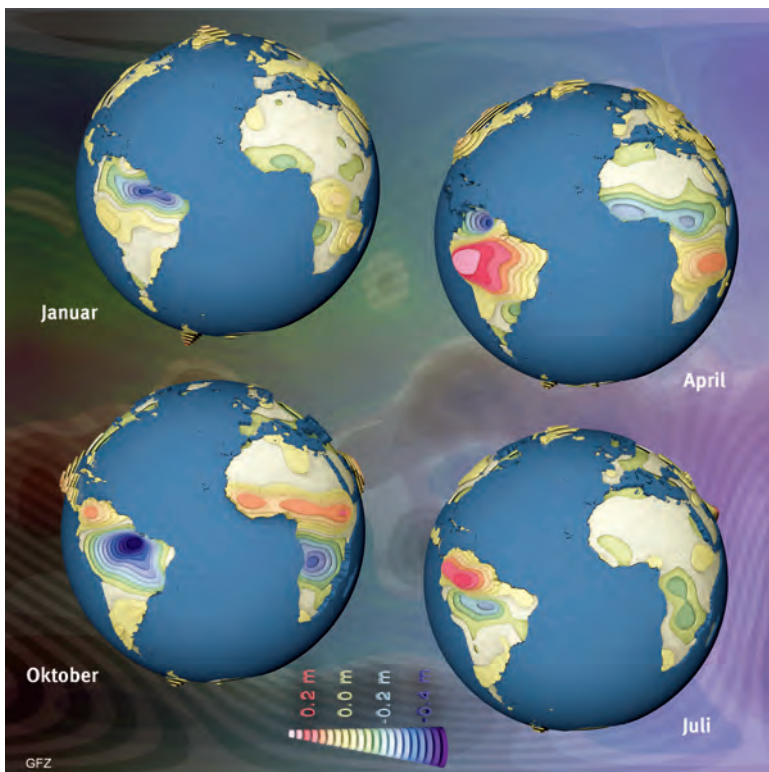


Der Zwillingssatellitenpaar GRACE über dem Geoid

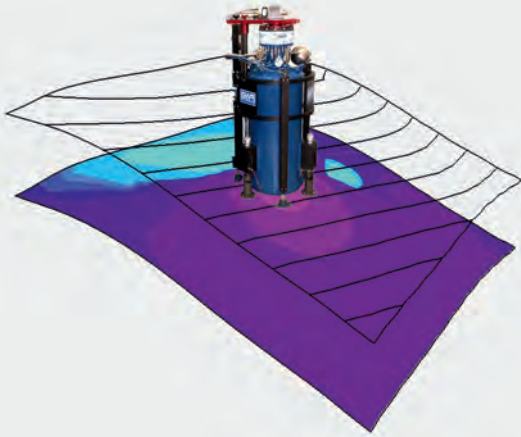
## GRACE – globale Beobachtung der Wasserspeicher

Die Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) erkundet weltweite oder kontinentale Wasserspeicher. Seit 2002 vermisst das Satellitenpaar GRACE hochgenau und global die Erdanziehungskraft und ihre zeitliche Veränderung mit hoher Präzision. Die beiden in einem Abstand von etwa 220 km hintereinander fliegenden GRACE-Satelliten erfassen kleinste Änderungen des Erdschwerefeldes, indem sie den Abstand zwischen sich bis auf einige tausendstel Millimeter erfassen. Fliegen die beiden GRACE-Satelliten über Gebiete mit unterschiedlichen Mengen an Wasser, so werden die hintereinander herfliegenden Satelliten mal stärker und mal schwächer angezogen. Dies führt zu einer Änderung des Abstandes zwischen beiden Satelliten. Daraus lassen sich selbst geringe Massenunterschiede im System Erde ableiten.

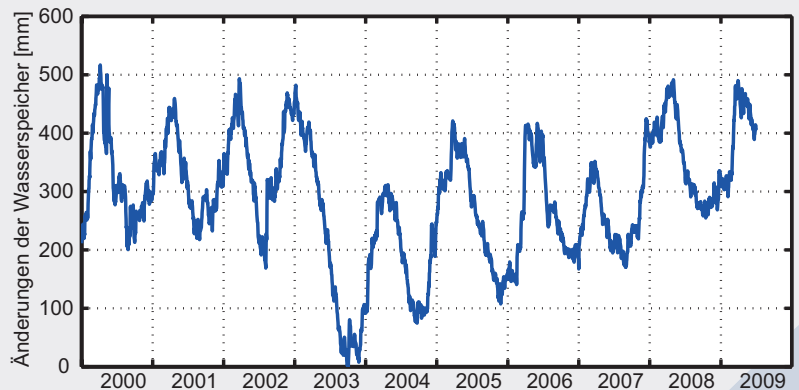
Die GRACE-Satellitenmessungen ermöglichen die Bestimmung von großflächigen Wassermassenumlagerung für gesamt Einzugsgebiete, wie das Donau- oder das Amazonas-Einzugsgebiet. Beispielsweise konnte mit den GRACE-Satelliten eine starke Abnahme des Grundwassers in Nordindien erfasst werden, die darauf zurückzuführen ist, dass mehr Wasser aus dem Grundwasser gepumpt wird, als auf natürlichem Wege nachfließt. Sind jedoch detaillierte Informationen von Wasserressourcen direkt vor Ort gefragt, so helfen Satellitenmessungen nicht weiter, da die räumliche Auflösung zu grob ist.



Variation der kontinentalen Wasserspeicherung abgeleitet von GRACE Schweremessungen für Januar (links oben), April (rechts oben), Juli (links unten) und Oktober (links unten) 2008.



*Hochgenaue Gravimeter ermöglichen den Blick in den Untergrund um Wasserspeicheränderungen zu erfassen*



*Saisonale Schwankungen der Wasserspeicher gemessen mit einem hochgenauen Gravimeter im Bayerischen Wald von 2000 bis 2009. Die Abnahme der Wasserspeicher während der Trockenheit im Sommer 2003 ist klar zu erkennen.*

### Gravimeter – lokale Untersuchung der Wasserspeicher

Um Wasserressourcen direkt vor Ort zu erkunden, werden Gravimeter eingesetzt. Moderne Supraleitgravimeter können die Erdschwere auf 0,1 Mikrogal genau bestimmen, das entspricht einem Milliardstel der Erdbeschleunigung. Sie zeichnen sehr genau und hochaufgelöst jegliche zeitliche Veränderung der Erdschwere auf, die durch Wassermassenveränderung verursacht wird.

Nehmen Pflanzen das Wasser im Boden auf und verdunsten es in die Atmosphäre oder wird Grundwasser aus dem Untergrund gepumpt, verändert sich die Masse im Untergrund. Diese Massenumlagerung wird vom Gravimeter registriert. Gravimetermessungen können somit als Hilfsmittel zur Erkundung von Wasserressourcen im Untergrund eingesetzt werden, ohne dabei aufwendige Bohrungen oder Grabungen durchzuführen. Auch helfen die Gravimetermessungen ein weiteres Problem in der Hydrologie lösen. Wasserressourcen in der Landschaft unterscheiden sich von Ort zu Ort über kürzeste Entfernungen; um diese Unterschiede zu erfassen, sind

sehr viele Messungen notwendig. Gravimeter besitzen hingegen ein sehr viel größeres Messvolumen als herkömmliche Sensoren und können somit über diese Unterschiede in der Landschaft hinweg einen Gesamtwert messen, die einen Blick in den Untergrund erlaubt.

### Wasser ist Zukunft

Beide neuartige Messinstrumente zur Erfassung der Erdschwere – GRACE-Satelliten und Gravimeter – ergänzen sich somit, wenn sowohl klein- als auch großräumige Veränderungen der Georessource Wasser erkundet werden sollen. Sie liefern Daten, wo und in welchen Mengen Wasservorräte auf der Erde vorhanden sind; wie schnell sie sich erneuern oder an welchen Orten sie abnehmen. Diese Informationen können in Computermodelle über den Wasserkreislauf einfließen, um diese zu verbessern und um die zukünftige Entwicklung zu prognostizieren. Dieses Wissen ist eine unverzichtbare Voraussetzung für eine effiziente Wassernutzung und ein integriertes Wassermanagement, um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen.