

# Wasser weltweit

Wie groß sind die globalen Süßwasserressourcen, und wie nutzt sie der Mensch?

von **Petra Döll**

■ Viele Menschen dieser Erde stellt die Beschaffung sauberen Wassers vor größere Herausforderungen, wie diesen Jungen im halbtrockenen Nordosten Brasiliens.

Ohne Wasser kein Leben – die ersten organischen Moleküle entwickelten sich im Wasser, aus Wasser plus Kohlenstoff und Stickstoff, und auch heute brauchen Pflanzen, Tiere und Menschen viel Wasser, um zu überleben. Die Erde ist der einzige Planet mit flüssigem Wasser und der einzige Planet, auf dem es Leben gibt, zumindest in unserem Sonnensystem. Zwei Umstände bewirken gemeinsam, dass nur die Erde die richtige Temperatur für flüssiges Wasser an ihrer Oberfläche hat: ihr Abstand zur Sonne und ihre Masse. Aufgrund ihrer ausreichend großen Masse kann sie eine Atmosphäre halten, die die mittlere Oberflächentemperatur von  $-18\text{ °C}$  auf  $+15\text{ °C}$  erhöht. Nur daher konnte sich im Frühstadium der Erdentstehung das Wasser, das in großen Mengen aus dem Erdinnern ausgaste, an der Oberfläche als flüssiges Wasser in den Ozeanen sammeln.

Im Anthropozän [siehe Seite 57] wird das Wasser nun knapp. Immer mehr Menschen brauchen immer mehr Wasser und greifen immer stärker in den natürlichen Wasserkreislauf ein. Das beeinträchtigt das Wohlergehen nicht nur von Menschen, sondern auch von aquatischen Ökosystemen. So fehlen Fischen im Unterstrom von Stauseen die natürlichen jahreszeitlichen Wasserstandsschwankungen und damit zum Beispiel geeignete Laichplätze, oder die Vegetation in Feuchtgebieten stirbt ab, wenn diese durch Wasserentnahmen für Bewässerung trocken fallen. Wasserknappheit bezieht sich aber nicht nur auf die Wassermenge, sondern auch auf die Wasserqualität. Ist Wasser nicht von ausreichend guter Qualität, dann ist es nicht nachhaltig nutzbar. Aber auch ein Zuviel an Wasser schafft zunehmend Probleme. Immer mehr Menschen wohnen in hochwassergefährdeten Gegenden, und durch den anthropogenen Klimawandel werden sich fast überall die Hochwässer häufen.

## Wassernutzung

Wir Menschen nutzen Wasser auf vielfältige Weise: zum Trinken und Waschen, zur Herstellung von Nahrungsmitteln und von industriellen Gütern, zur Stromerzeugung – und zum Vergnügen. Wir nutzen es direkt (etwa wenn wir uns waschen) oder indirekt als sogenanntes »virtuelles« Wasser (zum Beispiel, wenn wir essen). Als virtuelles Wasser wird diejenige Wassermenge bezeichnet, die benötigt wird, um ein Produkt herzustellen. Der britische Wissenschaftler John Anthony Allan, der sich mit der Wasserknappheit im Nahen Osten befasste, entwickelte die Idee, Wasser in virtueller Form als Nahrungsmittel zu importieren, wenn eine Ausweitung der (bewässerten) Landwirtschaft wegen der Wasserknappheit nicht mehr möglich ist.<sup>[1]</sup> Um das Konzept des virtuellen Wassers für die Identifizierung nachhaltiger Entwicklungsstrategien



nutzen zu können, müssen sozioökonomische Aspekte einbezogen werden. So ist Landwirtschaft die Einkommensquelle von Milliarden von Menschen (zum Beispiel in Indien von 800 Millionen Menschen), und für den Import von Nahrungsmitteln sind beträchtliche finanzielle Ressourcen notwendig.

Der Verbrauch an virtuellem Wasser zeigt den »Wasserfußabdruck« eines Menschen oder eines Landes (www.waterfootprint.org), vergleichbar mit dem »ökologischen Fußabdruck«, der den Flächenverbrauch widerspiegelt. Der Konsum von Nahrungsmitteln hat den weitaus größten Anteil am Wasserfußabdruck, da beim Wachstum von Feldfrüchten große Wassermengen verdunsten.

Und schließlich: Wir nutzen »blaues« und »grünes« Wasser. **3** Das blaue Wasser ist die Domäne der Wasserwirtschaft: das Wasser in Flüssen, Seen und im Grundwasser, das – meist durch Pumpen – entnommen und einer menschlichen Nutzung zugeführt werden kann. In der Landwirtschaft wird blaues Wasser insbesondere zur Bewässerung eingesetzt. Ein Teil des entnommenen blauen Wassers verdunstet während der Nutzung und wird als konsumtiv genutzte Wassermenge bezeichnet, da sie anderen Wassernutzern nicht mehr zur Verfügung steht. Als grünes Wasser bezeichnet man das Regenwasser, das auf Ackerflächen verdunstet, um die Produktion von Feldfrüchten zu ermöglichen. Die Begriffe »grünes Wasser« und »blaues Wasser« wurden von der schwedischen Wissenschaftlerin Malin Falkenmark eingeführt, um den engen Fokus auf die Bewässerung, das heißt auf blaues Wasser, der im landwirtschaftlichen Wassermanagement vorherrschte, zu erweitern. Dadurch wollte sie in der Diskussion um weltweite Nahrungsmittelsicherheit eine integrierte Analyse dieser beiden »Wasserarten« unterstützen.<sup>[2]</sup>

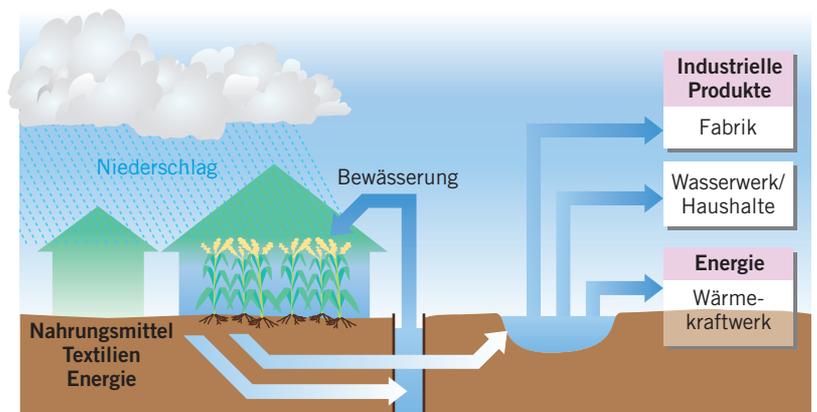
Für eine nachhaltige Entwicklung unseres Planeten ist es notwendig, auch den Wasserbedarf natürlicher Ökosysteme zu berücksichtigen. Aquatische Ökosysteme brauchen blaues, terrestrische Ökosysteme grünes Wasser.

**Wo ist das Wasser knapp?**

Im Allgemeinen versteht man unter dem Begriff Wasserressourcen den Anteil des Niederschlags, der,



**2** Bewässerungskanal: Das bei Weitem meiste Wasser geht dem blauen Wasser durch die Bewässerung von Feldfrüchten, wie hier im brasilianischen Bundesstaat Ceará, verloren. Deshalb lohnt es sich für Staaten in trockenen und halbtrockenen Klimazonen, darüber nachzudenken, ob sie nicht Nahrung aus Ländern importieren können, deren Landwirtschaft auf Regenwasser basiert.



**3** Blaues Wasser, das aus Flüssen, Seen oder dem Grundwasser stammt, wird für die Wasserversorgung von Haushalten, Industriebetrieben und Wärmekraftwerken ebenso wie für die Bewässerung von Feldern genutzt. Für die Produktion von Feldfrüchten wird darüber hinaus auch grünes Wasser aus dem Regen genutzt, zusammen mit blauem Wasser im Falle von Bewässerung. Ein großer Teil des Bewässerungswassers geht durch die Verdunstung für die weitere Nutzung verloren. Hingegen steht das blaue Wasser, das für andere Zwecke entnommen wird, nach der Nutzung größtenteils wieder zur Verfügung, falls es nicht zu stark verschmutzt wurde.

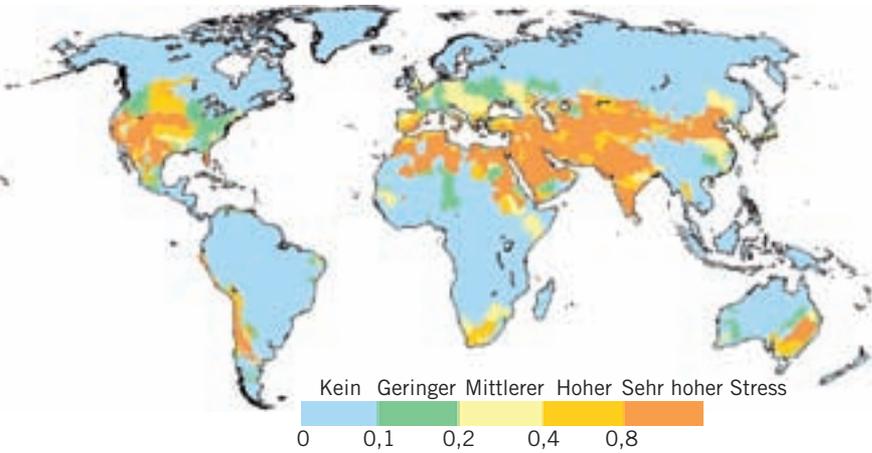


**4** In Ceará decken die Menschen ihren Wasserbedarf aus Stauseen, doch in trockenen Jahren trocknen diese aus, so dass auf Grundwasser zurückgegriffen werden muss. Grundwasser ist jedoch aufgrund der hohen Verdunstungsraten versalzen und muss in entsprechenden Anlagen aufbereitet werden.

im langjährigen Mittel, nicht verdunstet, sondern in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer fließt und dort genutzt werden kann. Diese traditionelle Fokussierung auf das blaue Wasser behindert jedoch die integrierte Betrachtung von Ernährung, Wasser und natürlicher Umwelt, da das grüne Wasser eine wichtige Ressource für terrestrische Ökosysteme einschließlich

**Glossar:**

<p><b>blaues Wasser:</b> Wasser in Flüssen, Seen und im Grundwasser. Die Domäne der Wasserwirtschaft.</p>	<p>verdunstet, um die Produktion von Feldfrüchten zu ermöglichen.</p>	<p>die Blätter (Transpiration).</p>	<p>zung für andere Nutzer verloren geht.</p>
<p><b>grünes Wasser:</b> Regenwasser, das auf Ackerflächen</p>	<p><b>Evapotranspiration:</b> Verdunstung über den Boden (Evaporation) und über</p>	<p><b>konsumtiv genutzte Wassermenge:</b> diejenige Wassermenge, die durch Verdunstung bei der Wassernut-</p>	<p><b>virtuelles Wasser:</b> Wassermenge, die benötigt wird, um ein Produkt herzustellen.</p>



☐ Wasserstress in Flusseinzugsgebieten um das Jahr 2000. Wasserstressindikator ist das Verhältnis zwischen Wasserentnahmen und erneuerbaren Wasserressourcen (Niederschlag minus Evapotranspiration). Die Wasserressourcen wurden als langjähriges Mittel der Jahre 1961–1990 berechnet.

der Agrarökosysteme ist. Daher sollte der Niederschlag über Flusseinzugsgebieten als die eigentliche erneuerbare Wasserressource dieses Einzugsgebiets betrachtet werden.

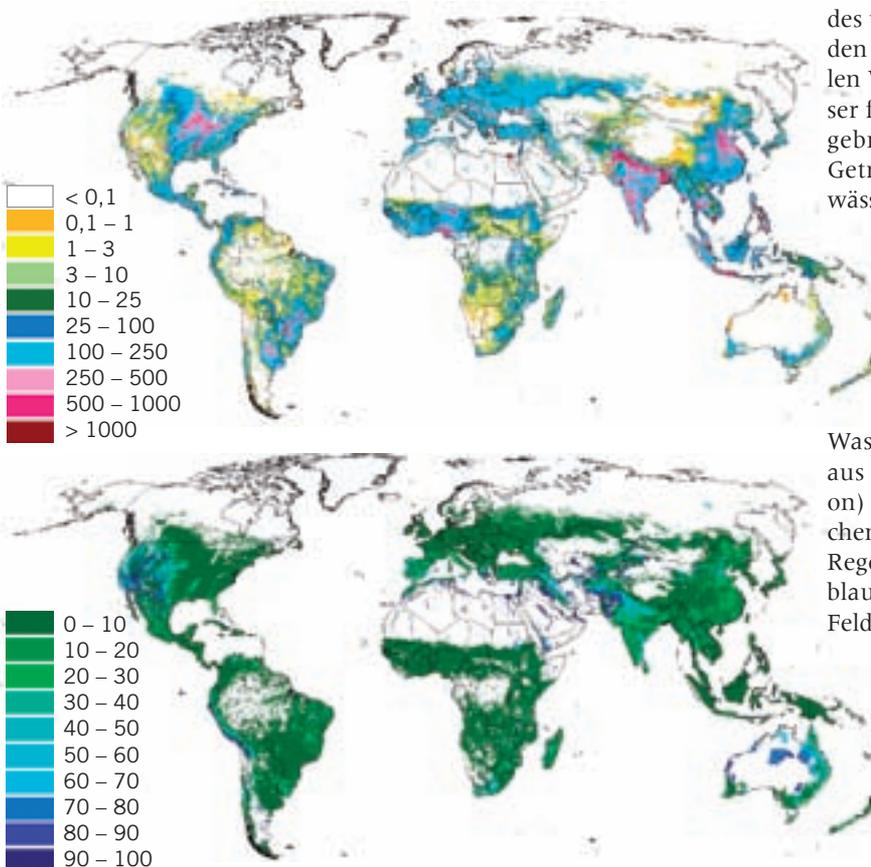
Modelle können dazu dienen, Daten und Wissen zu integrieren und so zu quantitativen Abschätzungen von Größen zu gelangen, die von einer Vielzahl von Prozessen abhängen. Ein solches Modell ist das globale Süßwassermodell WaterGAP, mit dem Wasserressourcen (und andere hydrologische Variablen) sowie die sektoralen Wasserentnahmen (und die konsumtive Wassernutzung) räumlich hoch aufgelöst in allen großen Flusseinzugsgebieten der Erde sowie in einzelnen

0,5°-Zellen abgeschätzt werden können [siehe »Globale Wassermodelle«, Seite 58]. Mithilfe dieses Modells können beispielsweise Indikatoren der Wasserknappheit konsistent berechnet und so die Wassersituation in den verschiedenen Einzugsgebieten der Erde miteinander verglichen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Berechnungsergebnisse generell mit einer hohen Unsicherheit belastet sind.

Wird Wasserknappheit über einen Indikator angezeigt, der als Verhältnis von Wasserentnahmen zu erneuerbaren Wasserressourcen (blaues Wasser) definiert ist, so zeigt sich, dass nicht nur die trockenen Einzugsgebiete unter Wasserknappheit leiden, sondern auch dicht besiedelte Gebiete in wohlhabenden Ländern der humiden Klimazone. ☐ Dort führen die hohen Wasserentnahmen allerdings nicht zu einer physischen Wasserknappheit, sondern der Indikator drückt die allgemeine Belastung der natürlichen Wasserressourcen aus, da zwar ein Großteil des dort vorwiegend für Haushalte und Industrie entnommenen Wassers wieder in die Gewässer zurückfließt, jedoch in mehr oder weniger stark veränderter Qualität.

**Wassereinsatz für die Produktion von Nahrungsmitteln**

Der Handel mit virtuellem Wasser, über den Handel mit Gütern und insbesondere Nahrungsmitteln, kann als eine Möglichkeit verstanden werden, der Wasserknappheit zu begegnen. Er führt zu einem Anstieg der globalen Wasserproduktivität, das heißt des Ertrags von Feldfrüchten als eine Funktion des eingesetzten Wassers, da Netto-Exportländer von virtuellem Wasser eine höhere Wasserproduktivität haben als Netto-Importländer. Für wasserarme Länder bietet der Import von virtuellem Wasser die Chance, ihre eigenen Wasserressourcen zu schonen. Für ein besseres Verständnis des virtuellen Wasserhandels ist es jedoch notwendig, den Anteil des blauen und grünen Wassers am virtuellen Wasser zu quantifizieren. Werden 1000 Liter Wasser für die Produktion eines Kilogramms Brotgetreide gebraucht, so ist es ein großer Unterschied, ob das Getreide bewässert wurde oder nicht. Das blaue Bewässerungswasser steht in Konkurrenz zu einer Wassernutzung durch Haushalte, Industrie und aquatische Ökosysteme, während grünes virtuelles Regenwasser zum Anbau von Feldfrüchten nur in Konkurrenz zum Wachstum von natürlichen terrestrischen Ökosystemen steht. In Deutschland werden sogar die blauen Wasserressourcen durch Ackerflächen, die grünes Wasser »verbrauchen«, erhöht, da die Verdunstung aus dem Boden und den Blättern (Evapotranspiration) von Ackerflächen geringer ist als die des natürlichen Ökosystems Wald. Anders gesagt, fließt von dem Regenwasser, das auf Ackerflächen fällt, mehr in den blauen Wasserkreislauf als bei Waldflächen, weil die Feldfrüchte weniger Wasser verdunsten als der Wald.



☐ Konsumtive Wassernutzung für die Produktion von Feldfrüchten um das Jahr 2000: oben: Gesamtwasserverbrauch aus Niederschlag und Bewässerung, in mm/a, pro 5-Minuten-Zelle; unten: Anteil des blauen Wassers aus Bewässerung, in Prozent. Ein Millimeter Wassersäule entspricht einem Liter Wasser pro Quadratmeter Fläche.

Unter Verwendung des globalen Modells GCWM [siehe »Globale Wassermodelle«, Seite 58] haben wir nicht nur ein genaues Bild der räumlichen Variabilität des Gesamtwasserverbrauchs (konsumtive Nutzung) für die Produktion von Feldfrüchten gewonnen. Durch die konsistente Modellierung der blauen und grünen Wasserflüsse auf bewässerten und nichtbewässerten Flächen ist es auch erstmals möglich, den Anteil des blauen Wassers am virtuellen Wasser, das für die Produktion von Feldfrüchten notwendig ist, zu quantifizieren. Dieser Anteil entspricht dem Bewässerungswasserbedarf und ist in trockenen (ariden) und halbtrockenen (semiariden) Gebieten mit einer gut ausgebauten Bewässerungsinfrastruktur am höchsten, zum Beispiel im Westen der USA, im Norden Chinas, in Indien und Pakistan, in Nordafrika und im Nahen Osten. In feuchten (humiden) Gebieten wie Deutschland liegt der Anteil des blauen Wassers an der Gesamtwassernutzung im Ackerbau unter 10 Prozent, da zum einen der Anteil bewässerter Ackerbauflächen gering ist, und zum anderen auch auf bewässerten Flächen der überwiegende Anteil des evapotranspirierten Wassers aus dem Regen und nicht aus der Bewässerung stammt.

**Ein globaler Blick auf Wassernutzung und Wasserressourcen**

Globale Summenwerte von Wassernutzung und Wasserressourcen verbergen die starken regionalen Unterschiede, erlauben es jedoch, die wichtigsten Kenngrößen des globalen Süßwassersystems auf einen Blick zu erfassen. Weltweit verdunsten jährlich bei der Produktion von Feldfrüchten 6500 km<sup>3</sup>, wovon 80 Prozent Niederschlagswasser sind. Der Anteil von 1200 km<sup>3</sup> pro Jahr, der bei der Bewässerung evapotranspiriert, übersteigt bei Weitem die Verdunstung von blauem Wasser durch Wassernutzung in Haushalt, Industrie und Wärmekraftwerken, die sich zu nur 100 km<sup>3</sup> pro Jahr aufsummiert (entsprechend 8 Prozent der gesamten konsumtiven Nutzung von blauem Wasser), da der größte Teil des Wassers bei der Nutzung nicht verdunstet. Signifikante Reduktionen des Durchflusses in Flüssen treten daher vorwiegend in Gebieten mit starker Bewässerung auf, beispielsweise im Einzugsgebiet des Colorado in den USA oder im Falle des Gelben Flusses in China. Die Wasserentnahmen für die Bewässerung sind mit 2500 km<sup>3</sup> pro Jahr mehr als doppelt so groß wie die konsumtive Wassernutzung, da ein Großteil des entnommenen Wassers im Untergrund versickert oder in ein Oberflächengewässer abfließt. Für die Wasserressourcen am schonendsten ist es, wenn die Pflanzen das zu ihrer Bewässerung eingesetzte Wasser vollständig aufnehmen und verdunsten. Die Wasserentnahmen für Haushalt, Industrie und Wärmekraftwerke betragen 1100 km<sup>3</sup> pro Jahr (30 Prozent der gesamten Wasserentnahmen).

Die Wassernutzung wird aus Wasserressourcen gespeist: Das sind jährlich 110 000 km<sup>3</sup> Niederschlag auf den Landflächen der Erde (ohne Antarktis), die durch die Evapotranspiration auf 39 000 km<sup>3</sup> erneuerbare blaue Wasserressourcen reduziert werden. Ein Drittel der erneuerbaren Wasserressourcen wird als Grundwasser gespeichert, das sich gegenüber Oberflächenwasser durch eine im Allgemeinen bessere Qualität und eine zeitlich konstante Verfügbarkeit auszeichnet.

**Das Anthropozän**

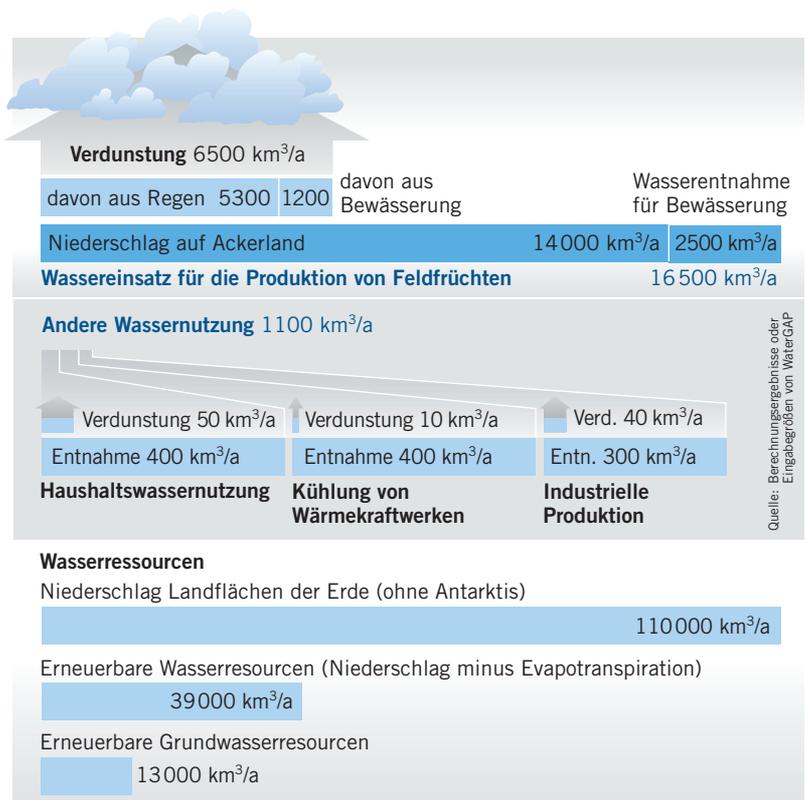
Der Begriff Anthropozän wird zunehmend verwendet, um die Epoche der globalen anthropogenen Umweltveränderungen, in der wir uns gerade befinden, zu bezeichnen. Paul Crutzen, Atmosphärenchemiker und Nobelpreisträger, hat diesen Begriff für den Zeitraum vorgeschlagen<sup>41</sup>, als dessen Anfang man ungefähr das späte 18. Jahrhunderts wählen kann, da das Polareis für diesen Zeitpunkt den Beginn des globalen Anstiegs von Kohlendioxid und Methan in der Atmosphäre anzeigt. Im Anthropozän, aber insbesondere seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs, zeigen eine Vielzahl von Indikatoren für

anthropogene Umweltveränderungen einen oft exponentiell ansteigenden Verlauf: Bevölkerung, Energieverbrauch, Treibhausgasemissionen, Stickstoffemissionen aus Kunstdüngern und Verkehr, organische Mikroverunreinigungen, Artensterben, landwirtschaftliche Flächen, Bewässerung, Dämme und vieles mehr. Auch Geologen und Geologinnen betrachten den anthropogenen biotischen, geochemischen und sedimentären Wandel als so stark und stratigrafisch erkennbar, dass es aus ihrer Perspektive sinnvoll erscheint, dem Holozän die geologische Epoche des Anthropozäns folgen zu lassen.<sup>151</sup>

**Auswirkungen des Klimawandels auf das Süßwassersystem**

Wie sich der Klimawandel auf das Süßwasser auswirken wird, kann nur mit großen Unsicherheiten quantifiziert werden, aber qualitative Veränderungen sind sicher zu prognostizieren. Während die Temperatur aufgrund des Klimawandels weltweit steigen wird und die Berechnungsergebnisse der verschiedenen Klimamodelle recht gut übereinstimmen, wird der Niederschlag in manchen Regionen (und Jahreszeiten) zunehmen und in anderen abnehmen. Wie die regionalen Änderungen des Niederschlags aussehen werden, ist schwer abzuschätzen, insbesondere weil die Si-

Globale Werte der direkt und indirekt durch die Menschen genutzten Wassermengen.



## Globale Wassermodelle

Das globale Wassernutzungs- und Wasserressourcenmodell WaterGAP berechnet Wassernutzung und Wasserressourcen weltweit (außer Antarktis) mit einer räumlichen Auflösung von 0,5 Grad  $\times$  0,5 Grad (entsprechend einer Fläche von 55 km  $\times$  55 km am Äquator). Es umfasst Module zur Berechnung der Haushaltswassernutzung, der Wassernutzung zur Kühlung von Kraftwerken und für industrielle Zwecke und der landwirtschaftlichen Wassernutzung (vor allem für Bewässerung). Das hydrologische Modul von WaterGAP berechnet, welche Anteile des Niederschlags evapotranspirieren, als Oberflächenabfluss abfließen, das Grundwasser neu bilden, in Boden, Grundwasser und in Oberflächengewässern zwischengespeichert werden und schließlich die Flüsse erreichen. Dabei wird berücksichtigt, dass die Wassermenge in Flüssen durch konsum-

tive Wassernutzung, vor allem in der Bewässerungswirtschaft, reduziert wird. Zur Berechnung wird auf eine Vielzahl von klimatischen und physiogeografischen Daten zurückgegriffen, zum Beispiel auf Zeitreihen des Niederschlags zwischen 1901 und 2006 und auf Daten zur Wasserspeicherkapazität des Bodens. Das hydrologische Modul wurde anhand von Durchflüssen geeicht, die an 1235 Stationen gemessen wurden, so dass die erneuerbaren Wasserressourcen realitätsnah berechnet werden können. Die Genauigkeit für die Wassernutzungsmodule abzuschätzen, wird dadurch erschwert, dass es nur wenig zuverlässige Daten zur Wassernutzung gibt.

Eine Ergänzung zu WaterGAP ist das neue globale Modell des Wasserbedarfs und der Produktion von Feldfrüchten GCWM. GCWM berechnet nicht nur, wie das Bewässerungsmodul von WaterGAP, den

Wasserbedarf der Feldfrüchte, der durch Bewässerungswasser (blaues Wasser) gedeckt wird, sondern auch die konsumtive Nutzung von Regenwasser durch die Transpiration der Feldfrüchte (grünes Wasser). GCWM basiert auf einem ebenfalls neu entwickelten globalen Datensatz landwirtschaftlicher Anbauflächen für den Zeitraum um das Jahr 2000, der für 26 Feldfruchttypen (zum Beispiel Weizen oder Baumwolle) angibt, in welchem Monat welche Flächen unter bewässerten und nichtbewässerten Bedingungen in jeder 5-Minuten-Zelle (8 km  $\times$  8 km am Äquator) bebaut werden.

Publikationen zu den Modellen WaterGAP und GCWM sowie zu verschiedenen globalen Datensätzen finden Sie unter <http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/publikationen/>



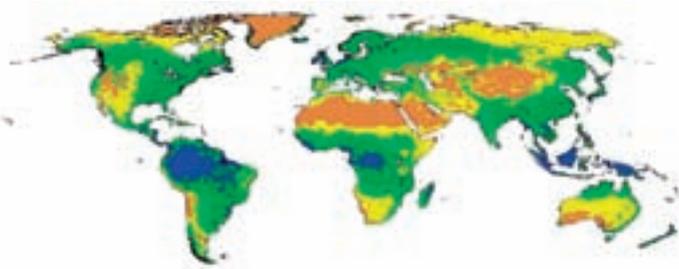
Bei der Bewässerung mit Mikro-Sprinkler-Anlagen, wie hier auf Kreta, kommt das Wasser zum großen Teil den Pflanzen zugute. Nur Tröpfchenbewässerung aus gelochten Schläuchen ist noch effizienter.

mulation von Niederschlag durch Klimamodelle noch immer unrealistisch ist. So stimmen für den Großteil der Landflächen der Erde höchstens 11 der 15 untersuchten Klimamodelle zumindest darin überein, ob der Jahresniederschlag jeweils steigt oder fällt.<sup>13)</sup> Nur in den nördlichen Breiten (Alaska, Kanada, Skandi-

narien, Sibirien) sind sich fast alle Klimamodelle über einen Niederschlagsanstieg einig (nicht aber über das Ausmaß des Anstiegs), und man kann von einer Niederschlagsabnahme im Mittelmeerraum, im Westen der USA, in Mittelamerika und in Südafrika ausgehen. Regional unterschiedliche Niederschlagsänderungen zusammen mit Temperaturanstiegen führen auch zu Änderungen der erneuerbaren Grundwasserressourcen. Nach Modellrechnungen mit WaterGAP können sich die Grundwasserressourcen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts in manchen Gebieten wie in Nordostbrasilien und im Mittelmeerraum um mehr als 70 Prozent verringern. 



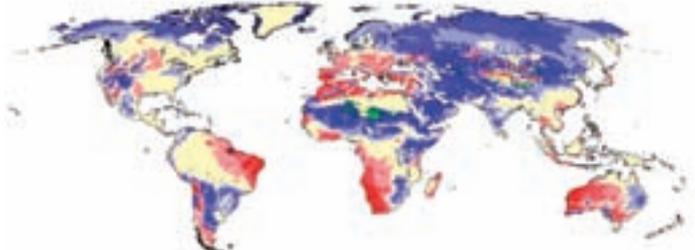
In manchen Gebieten, wie hier in Pontianak im indonesischen Teil von Borneo, sind die Menschen von jeher an viel Wasser gewöhnt. Der Klimawandel wird jedoch zu noch stärkeren Regenfällen und Überschwemmungen führen.



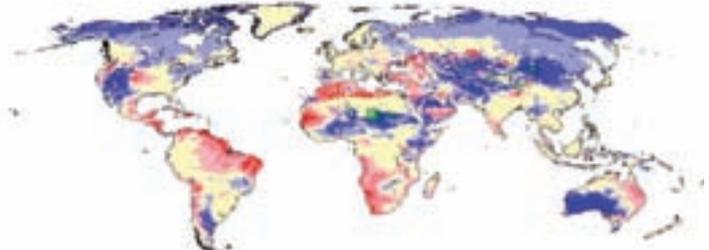
Jährliche Grundwasserneubildung  
(langjähriges Mittel 1961–1990)  
0 2 20 100 300 1000 mm/Jahr

Prozentuale Änderung der Grundwasserneubildung  
zwischen 1961–1990 und den 2050er-Jahren  
-100 -70 -30 -10 10 30 70 100 Zunahme\*  
\*die prozentuale Änderung kann nicht berechnet werden da GWNB = 0 im Zeitraum 1961–1990

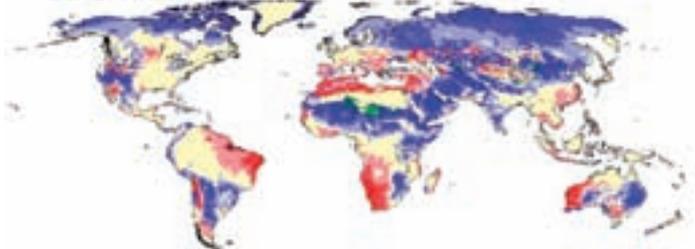
A2-ECHAM4



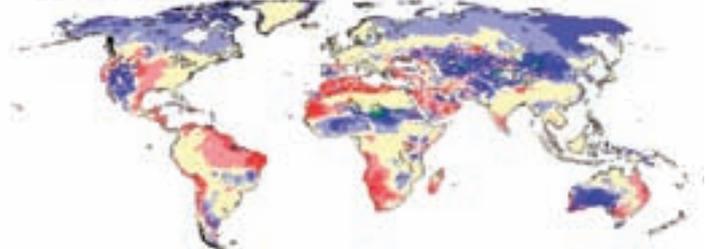
A2-HadCM3



B2-ECHAM4



B2-HadCM3



Zudem ist aufgrund des Klimawandels eine erhöhte Variabilität des Niederschlags zu erwarten, das heißt, Dürren und Starkregenereignisse werden in Zukunft fast überall zunehmen. Bei höheren Temperaturen wird weniger Winterniederschlag als Schnee und Eis gespeichert werden, was zu mehr Abfluss im Winter und weniger Abfluss im trockenen Sommer führen wird. Steigende Meeresspiegel bewirken in flachen Küstengebieten, dass Süßwasser von Salzwasser verdrängt wird.

Einfluss des Klimawandels auf die erneuerbaren Grundwasserressourcen. Änderung der Grundwasserneubildung zwischen 1961–1990 und 2041–2070. Berechnung unter Verwendung des globalen Wassermodells WaterGAP und der Änderungen von Niederschlag und Temperatur, wie sie von den globalen Klimamodellen ECHAM4 und HadCM3 für die IPCC-Emissionsszenarien A2 und B2 prognostiziert werden. In B2 sind die Treibhausgasemissionen deutlich geringer als in A2.

Eine Anpassung an den Klimawandel ist notwendig und sollte vor allem dadurch geschehen, dass wir die anthropogene Belastung des Süßwassersystems, insbesondere Wassernutzung und Wasserverschmutzung, verringern. Dann werden wir gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auf das Süßwassersystem weniger empfindlich sein. Maßnahmen zum Klimaschutz, das heißt die Reduktion von Emissionen, verringern den Anpassungsdruck. Dazu gehören Aufforstung, die Nutzung von Wasserkraft und der Anbau von Bioenergiepflanzen, doch diese Maßnahmen können negative Effekte auf die Wasserressourcen hervorrufen, die es zu berücksichtigen gilt.

## Die Autorin



**Prof. Dr. Petra Döll**, 46, entdeckte während ihres Geologie-Studiums an der University of Colorado in Boulder (USA), dass das Wasser und seine mathematische Modellierung »ihr Thema« ist. Sie arbeitete am Geologischen Landesamt Hamburg, an der Technischen Universität Berlin und an der Universität Kassel, bevor sie 2003

Professorin für Hydrologie an der Goethe-Universität wurde. Ihr Forschungsschwerpunkt ist die globalskalige Modellierung von Wasserressourcen und deren Nutzung während des 20. und 21. Jahrhunderts. Daher ist sie eine der Leitautorinnen des vierten Sachstandsberichts des Weltklimarats IPCC. Ein zweiter Forschungsschwerpunkt liegt auf der Modellierung gesellschaftlicher Akteure, wodurch die Akteure bei der Identifizierung von Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Naturressourcen unterstützt werden sollen. An ihrer Arbeit als Professorin in der Physischen Geografie schätzt sie insbesondere die gegenseitige Befruchtung von Forschung und Lehre.

p.doell@em.uni-frankfurt.de  
<http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/>

### Literatur

- <sup>1/1</sup> Allan, J.A. (2003): Virtual water: the water, food, and trade nexus – useful concept or misleading metaphor? *Water International* 28: 4–11.
- <sup>2/2</sup> Falkenmark, M. (2007): Shift in thinking to address the 21st century hunger gap – Moving focus from blue to green water management. *Water Resources Management* 21(1): 3–18.
- <sup>3/3</sup> IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 Seiten (<http://www.ipcc.ch/>)
- <sup>4/4</sup> Crutzen, P.J. (2002): Geology of mankind. *Nature* 415(3): 23.
- <sup>5/5</sup> Zalasiewicz, J. et al. (2008): Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*: 18(2), 4–8.