

Dieter Gerten

# WASSER

Knappheit, Klimawandel,  
Welternährung



C·H·Beck

es denkbar, dass der Tropfen auf eine bereits bestehende Wasseroberfläche fällt und so zur Füllung dieses Teichs oder Sees beiträgt. Auch kann er zunächst als Schneeflocke gefallen sein und erst nach der Schmelze seinen weiteren Weg suchen.

Für einen Tropfen, der von einem Gegenstand, etwa einer Baumkrone, für einige Minuten oder Stunden zwischengespeichert wird, gibt es nun prinzipiell zwei Möglichkeiten: Entweder er verdunstet von dieser Oberfläche zurück in die Umgebungsluft (Interzeptionsverdunstung), oder er tropft bzw. fließt entlang des Stamms der Schwerkraft folgend nach unten. Wie auch immer er am Ende die Bodenoberfläche erreicht – dort wird es wichtig, welchen weiteren Weg er einschlägt. Oberflächlich abfließen wird er vor allem dann, wenn der Grund hart bzw. versiegelt oder bereits so feucht ist, dass dieser kein zusätzliches Wasser mehr aufnehmen kann. Im anderen Fall wird er in den Boden eindringen, mehr oder weniger langsam in tiefere Schichten einsickern und unterirdisch wieder austreten oder langfristig dazu beitragen, den Grundwasservorrat aufzufüllen.

Ein Großteil des Bodenwassers verdunstet allerdings binnen Tagen oder Wochen: entweder als Evaporation direkt aus dem Boden oder – nach Aufnahme durch das Wurzelwerk und anschließendem Transport durch den Grashalm oder den Baumstamm, gegebenenfalls bis in höchste Baumhöhen hinauf – als Transpiration durch die Stomata. Diese Stomata sind die zahlreichen kleinen Porenöffnungen der Landpflanzen, die sich vor allem an deren Blattunterseiten befinden, und über die die Fotosynthese abläuft, indem Kohlenstoff aufgenommen und, unabdingbar, Wasser transpiriert wird. Was beachtlich ist: Die Stomata leiten den Löwenanteil des Wasserumsatzes in die Atmosphäre, mindestens  $40.000 \text{ km}^3$  jährlich!

Wie bereits erwähnt, summiert sich der Abfluss und damit die über das weltweite Flussnetz ins Meer transportierte Wassermenge auf durchschnittlich  $45.000 \text{ km}^3/\text{a}$  – in Einzeljahren mit Abweichungen um zum Teil mehr als 10 % nach oben oder unten, die hauptsächlich mit den oben gezeigten Niederschlagsschwankungen zusammenhängen. So spiegelt auch das räumliche Abflussmuster in wesentlichen Zügen die Niederschlagsverteilung wider, wie ein Vergleich der Abbildungen 1 und 3 zeigt. Doch fällt auf, dass einige ansonsten trockene Gebiete von sehr bedeutenden Zuflüssen gespeist werden, die ihren Ursprung in zum Teil weit entfernten Gegenden haben. Dazu zählen der Unterlauf des Nils, Teile des Niger und einige Flüsse in Zentralasien, die als lebenswichtige Adern die Trockengebiete durchziehen. Vor allem die Gebirge fungieren als «Wassertürme» der Erde: Etwa die Hälfte der weltweiten Wasserversorgung ist zumindest zeitweise von ihrem Zufluss abhängig. [13]



Abbildung 3: Modellierter räumliche Verteilung des entlang des globalen Flussnetzes akkumulierten Abflusses (Kubikkilometer pro Jahr, Mittelwert 1971–2000). Quelle: PIK – Simulation mit dem Biosphären- und Wasserhaushaltsmodell LPJmL.[14]

Für die Landwirtschaft ist von besonderer Bedeutung, dass die Niederschlags- und Abflussschwankungen gelegentlich zu weit über das Normalmaß hinausragenden Extremereignissen ausarten. Ein Beispiel für solche Extrema, die sogar kurz hintereinander in entgegengesetzte Richtungen ausschlugen, sind die mitteleuropäischen Sommer 2002 und 2003. Während vor allem die Anwohner der Elbe und ihrer Nebenflüsse nach tagelangen starken Niederschlägen im August 2002 ein Rekord-Hochwasser erlebten, wurden im Folgejahr bei anhaltender Hitze und Trockenheit historische Niedrigwasserstände der Elbe verzeichnet (die bereits in manchen Folgejahren noch unterboten wurden). 2013 folgte direkt auf das im Juni fast ganz Mitteleuropa beherrschende Rekordhochwasser (in seinem Ausmaß wohl nur noch in den Jahren 1342 und 1501 übertroffen) einer der trockensten Sommer der vergangenen Jahrzehnte. Ein ähnliches Beispiel sind die 2012 in Südengland nach einem ausgesprochen nassen April aufgetretenen Überschwemmungen, die so unmittelbar auf eine vorangegangene Dürre folgten, dass gleichzeitig zur Hochwassersituation noch Bewässerungsverbote – mit bis zu 1000 £ strafbare *hose pipe bans* – in Kraft waren. Allein diese Überschwemmungen verursachten Ernteeinbußen in einer Höhe von 600 Millionen £.[15] Nicht nur ein Zuwenig, sondern auch ein Zuviel an Wasser kann also katastrophal für die Landwirtschaft sein. Solche Aufeinanderfolgen unterschiedlicher Extrema verdeutlichen, wie schwierig es ist, geeignete Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu planen.

### 1.3 Planetare Grenze für die Wassernutzung

Meist wird statt des Niederschlags – von dem ja ein größerer Anteil früher oder später verdunstet – der Abfluss (einschließlich des in Seen, Talsperren und Grundwasserleitern zwischengespeicherten Anteils) als die für eine menschliche Nutzung maximal verfügbare Wassermenge angesehen. Aber selbst dies ist eine eher theoretische, optimistische Größe. Zum einen ist alles Wasser, das in Hochwasserereignissen abfließt, unzugänglich, falls keine Speichermöglichkeiten bestehen. Zum anderen fließen große Wassermengen durch entlegene, dünn besiedelte Landschaften wie das Amazonasgebiet oder Sibirien und können unter derzeitigen Bedingungen ebenfalls nicht erschlossen werden. Allein diese Umstände reduzieren die weltweit erreichbare bzw. nutzbare Süßwassermenge auf kaum  $16.000 \text{ km}^3/\text{a}$ , Wasserspeicherungen durch Talsperren bereits eingerechnet. [16] Ein Teil dieser Gewässer wiederum ist zu stark verschmutzt oder sollte zum Erhalt der Fluss- und Auenökosysteme von einer Wasserentnahme durch den Menschen ausgenommen bleiben (was in der Realität vielfach jedoch nicht der Fall ist).

Im aktuellen Rahmenkonzept der «planetaren Grenzen», das unter anderem vorsieht, ein akzeptables Höchstmaß an Verschiebungen des Wasserkreislaufs zu berechnen, wird nach vorläufiger Schätzung sogar vorgeschlagen, dass global nur maximal  $4000 \text{ km}^3$  Wasser pro Jahr verbraucht werden sollten. [17] Ein menschlicher Eingriff in den Wasserhaushalt, der dieses Ausmaß übersteigt, berge das Risiko schwerwiegender Konsequenzen für das Erdsystem mit seinen Ökosystemen und menschlichen Gesellschaften. Deshalb solle der historische, einigermaßen stabile Zustand vorsorglich nicht verlassen werden. Nimmt man den Mindestwasserbedarf, der zur Aufrechterhaltung der Ökosysteme im Fluss bleiben müsste, ernst, bleiben pro Jahr nur noch um die  $2800 \text{ km}^3$  (siehe Abbildung 4), bei strengen Vorgaben noch niedrigere Mengen für eine Nutzung übrig [18] – ein verschwindend kleiner Teil der gesamten Wasservorräte der Erde und nur ein minimaler Bruchteil der Süßwasservorräte!

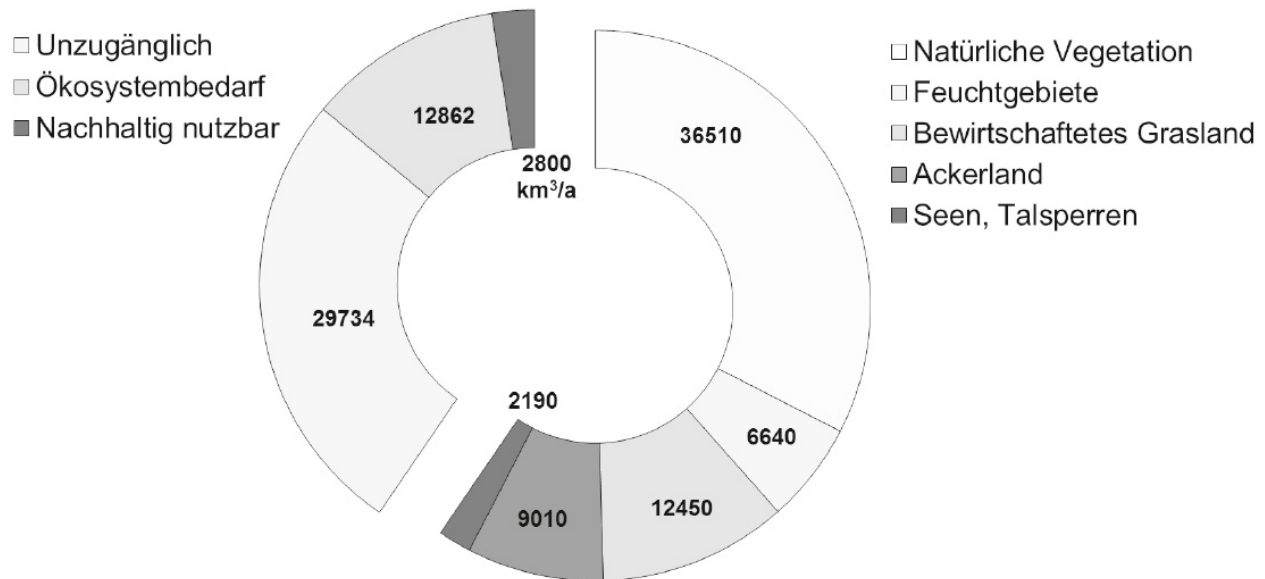


Abbildung 4: Globale Summen von Komponenten des Abflusses (links) und der Verdunstung (rechts) auf den Landflächen der Erde. Die Gesamtsumme entspricht dem Niederschlag (etwas niedriger als in Abbildung 2, da hier unter anderem Eisflächen und kleinere Inseln ausgeschlossen sind). Angaben in Kubikkilometern pro Jahr, Mittelwerte 1971–2000.[19] Der nachhaltig nutzbare Anteil des Abflusses entspricht der aktuell geschätzten planetaren Grenze für den menschlichen Süßwasserverbrauch.

Das Gute daran: Die zwar stets zirkulierende, aber global immer gleich bleibende erneuerbare Wassermenge ist theoretisch unendlich lange nutzbar. Man mag daher die wunderliche Rechnung aufstellen,[20] dass sämtliche Tiere, die je die Erde bevölkert haben, mindestens zehn Millionen mal so viel Wasser getrunken und wieder ausgeschieden haben wie das gesamte Menschengeschlecht (bisher vermutlich 108 Milliarden Menschen). Ohne den noch sehr viel höheren Wasserumsatz durch die Stomata aller je existenten Vegetation mitzuzählen, ist das zusammengenommen mehr als das Tausendfache der erneuerbaren Süßwassermenge. Stets war es dasselbe uralte, immer und immer wieder umverteilte Wasser; jeder einzelne Tropfen hätte eine abwechslungsreiche, Milliarden Jahre (womöglich bis in die Zeit vor Entstehung unseres Sonnensystems) zurückreichende Geschichte zu erzählen: Nicht unwahrscheinlich also, dass das Wasser in Ihrem Trinkglas schon einmal von längst ausgestorbenen Urzeitwesen konsumiert wurde. Das Wasser wird uns also auch in Zukunft nicht ausgehen – jedenfalls nicht, bevor in spätestens 1,3 Milliarden Jahren die unaufhaltsame Austrocknung der Erde und ihrer Ozeane aufgrund der dann enorm gesteigerten Leuchtkraft der Sonne beginnt.[21]

An drei Tatsachen kommt man mit solchen Überlegungen jedoch nicht vorbei. Erstens ist und bleibt das Süßwasser regional höchst unterschiedlich verteilt; zweitens ist die Weltbevölkerung (auch und vor allem in Trockengebieten) inzwischen auf 7,5 Milliarden angewachsen; und drittens ist Wasser, anders als

zum Beispiel Öl, nicht substituierbar: Es bleibt als Trinkwasser, als Industriemotor und für den Wuchs natürlicher und landwirtschaftlicher Pflanzen auch in Zukunft alternativlos. Die Menschheit kommt also nicht umhin, die regionale und globale Wassernachfrage besser als bisher auf das Angebot (oder, so der schöne Ausdruck deutschsprachiger Hydrologen, das «Wasserdargebot») abzustimmen.

#### 1.4 Blaues Wasser, grünes Wasser

Bei allen Unkenrufen über immer knapper werdende Wasserressourcen ist Folgendes zu beachten: Das im Boden von unbewässerten Äckern und Weideflächen zwischengespeicherte und über die verschiedenen Pfade verdunstende Wasser kommt dem Menschen eigentlich auch zugute, gewährleistet es doch die auf diesen Flächen ausgeübte Land- und Viehwirtschaft. Berücksichtigt man dieses Wasser also in der Bilanz, ist die gesamte nutzbare Süßwassermenge doch um einiges größer.

Vor diesem Hintergrund hat ein von der schwedischen Hydrologin Malin Falkenmark geprägtes Begriffspaar Prominenz erlangt, das ihre bis in die 1970er Jahre zurückreichenden Bemühungen zur Klärung grundlegender Zusammenhänge von Wasserverfügbarkeit und Welternährung schlaglichtartig zusammenfasst: «blaues Wasser» und «grünes Wasser».[22] Falkenmarks Kernbotschaft ist, dass spätestens seit der Grünen Revolution immer nur das in Flüssen, Seen, Grundwasserspeichern und künstlich errichteten Talsperren vorhandene und zur menschlichen Entnahme (vor allem zur Bewässerung) nutzbare blaue Wasser im Mittelpunkt steht. Das «unsichtbare», in den Boden eingedrungene Regenwasser – das grüne Wasser[23] – wurde hingegen bis vor kurzem in der Forschung und der Wasser- bzw. Landwirtschaftspraxis vernachlässigt. Das ist erstaunlich, ist dieses Wasser doch Voraussetzung für den weitaus größten Teil der Biomasseproduktion der Erde: Es nährt nicht nur sämtliche natürlichen Landökosysteme, sondern auch die gesamte unbewässerte Landwirtschaft (einschließlich des Weidelands) sowie immer auch Teile der bewässerten Landwirtschaft. Die Verdunstung grünen Wassers auf Acker- und Weideflächen summiert sich derzeit auf über 21.000 km<sup>3</sup> pro Jahr (vgl. Abbildung 4, die für diese Flächen die Verdunstung von ca. 1200 km<sup>3</sup> blauem Bewässerungswasser enthält).

«Nur wenn wir sie in Worte kleiden, geben wir den Dingen Wirklichkeit», meinte einmal Oscar Wilde. Es lässt sich natürlich nicht sagen, inwieweit Falkenmarks Begriffspaar dazu beigetragen hat, dass seit einigen Jahren vermehrt neue Wege zu einer effizienteren Wassernutzung in der Landwirtschaft diskutiert werden und dass sich diese Diskussion mehr und mehr vom allzu engen Fokus auf die Bewässerung emanzipiert. Tatsache ist jedenfalls, dass eine erweiterte