

Wasser: Eigenschaften, Vorkommen, Verwendung

F. Arendt, PL UMWELT

1996 trat in Deutschland das Kreislaufwirtschaftsgesetz in Kraft, mit dem die stoffliche und energetische Verwertung von Abfällen aus der Produktion und aus Produkten ausgeweitet werden soll. Der Gesetzestitel verwendet den Begriff der Kreisläufe, die ein unverzichtbarer Bestandteil von Nachhaltiger Entwicklung sind. Mit Kreisläufen lassen sich Forderungen nach der Schonung von begrenzten Rohstoffen und von Senken für anthropogen verursachte Emissionen in die Natur erfüllen, die sich aus den wirtschaftlichen und ökologischen Dimensionen von Nachhaltigkeit ergeben. Das gilt auch für Abwasser aus Haushalten und Industrie. In einigen Firmen wird gereinigtes Abwasser als Brauchwasser wiederverwendet. In Trockengebieten wird die Installation eines Brauchwassersystems in Haushalten erwogen, das mit geklärtem Abwasser gespeist wird.

Viele Menschen verbinden den Kreislaufgedanken mit positiven Erfahrungen. Schon in früher Kindheit wurde ihnen, meistens erfolgreich, der meteorologisch-hydrologische Wasserkreislauf erklärt. Er erlaubt es, lebensprägende Beobachtungen zu systematisieren und einzuordnen: die Vielfalt der meteorologischen und jahreszeitlichen Erscheinungen, das Wachstum in der Natur, Erfreuliches wie Wasser- und Wintersport, das Löschen des Durstes, Geheimnisvolles wie Höhlen, Bedrohliches wie Hochwasser, Gewitter, Erdbeben und Lawinen. „Alles fließt“ ist die Erkenntnis, die die altgriechischen Naturphilosophen daraus gezogen ha-

ben und die bis heute verstanden und akzeptiert wird.

Für das Leben auf der Erde ist Wasser unverzichtbar. Über die Photosynthese bringt es zusammen mit der Sonnenstrahlung die Elemente Sauerstoff und Wasserstoff in den Aufbau von organischen Molekülen ein. Für Organismen dient es als Transportmittel von Nahrung und Spurenstoffen.

Einige Aspekte des globalen Wasserkreislaufs sind weiterhin Gegenstand intensiver Forschungen. Dazu gehört die Rolle von Eis- und Wasserpartikeln der Atmosphäre beim Treibhauseffekt. Es ist unbestritten, dass mehr als 70 % des natürlichen Treibhauseffekts von über 33 K (mittlere Oberflächentemperatur der Erde von ca. 15°C statt ca. -18°C bei absorptionsfreier Atmosphäre) auf der Infrarotabsorption durch Wasserdampf und Wolken beruhen und dass die Absorptionsbanden des Wasserdampfes durch seine Konzentration in der Atmosphäre gesättigt sind. Der Einfluss von Wolken auf den zusätzlichen anthropogenen Treibhauseffekt, die einerseits die Albedo der Erde erhöhen und damit die Einstrahlung auf die Oberfläche verringern, andererseits aber die Rückstrahlung in den Weltraum behindern und damit temperaturerhöhend wirken, ist nicht abschließend quantifiziert. Das gleiche gilt für Prognosen über die regionalen Auswirkungen einer globalen Erwärmung, die durch verstärkte Verdampfung auf der Oberfläche und damit größere Freisetzung von Energie in der Atmosphäre die Häufigkeit, Intensität und Lage von

Stürmen und anderen meteorologischen Extremereignissen verändern kann. Ähnlich unklar sind mögliche Änderungen im Muster der Oberflächen- und Tiefenströmungen im Meer, die durch regionale Unterschiede in der Temperaturdifferenz zwischen Tiefen- und Oberflächenwasser sowie durch Dichteunterschiede auf Grund unterschiedlicher Salzkonzentrationen angetrieben werden (thermohaline Zirkulation). Korrekte Prognosen werden auch durch die sehr unterschiedlichen Zeitskalen der genannten gekoppelten Prozesse erschwert, die von Tagen bis zu Jahrtausenden reichen.

Die meisten natürlichen Kreisläufe werden auf der Ebene von Elementen betrachtet; sie sind chemisch bestimmt. Das gilt beispielsweise für den Kohlenstoff mit seinen vielfältigen Umwandlungen in der Biosphäre und seiner Mineralisation zu Karbonaten und Kohlendioxid ebenso wie für Stickstoff mit zahlreichen Nitritifizierungs- und Denitritifizierungsreaktionen oder Schwefel, Chlor und Metalle. Der Wasserkreislauf dagegen ist fast vollständig durch das Molekül und physikalische Prozesse bestimmt. Das liegt zum einen an der hohen Bindungsenergie des Wassers, zum anderen an physikalischen Eigenschaften des Moleküls wie Schmelz- und Siedetemperatur, die es unter den Bedingungen auf der Erde häufig wechselnd in allen Aggregatzuständen auftreten lassen. Weitere wichtige Eigenschaften sind die Zähigkeit des flüssigen Wassers, die schnelle Transportvorgänge ermöglicht, und die außerordentlich hohe Di-

elektrizitätskonstante des polaren Moleküls, die eine hohe Löslichkeit für Salze und andere Substanzen bedeutet. Deren Transporte in ihren natürlichen Kreisläufen werden damit durch Wasser vermittelt. Schließlich ist die Dichteanomalie bei ca. 4°C zu erwähnen, die die Schichtung der Ozeane und das Überleben von Organismen im Wasser bei tiefen atmosphärischen Temperaturen bestimmt.

Das Inventar an freiem Wasser auf der Erde wird mit knapp 1,4 Milliarden Kubikkilometern abgeschätzt. 97,4 % davon sind Meerwasser mit einem durchschnittlichen Salzgehalt von 3,4 %. Das entspricht einer mittleren Tiefe der Ozeane von 3800 m. 78 % oder 29 der 37 Mio. km³ Süßwasser (Salzgehalt unter 0,2 %) sind gegenwärtig als Eis überwiegend in den Polkappen gespeichert. Die mittlere Mächtigkeit des Festlandees liegt bei etwa 1800 m. Dieses Volumen würde ausreichen, um den Meeresspiegel um 75 m ansteigen zu lassen, wobei die Wassermenge über dem überfluteten Festland kaum ins Gewicht fällt. Ein Risiko in dieser Größenordnung innerhalb weniger Generationen besteht nicht. Eine einfache Bilanz zeigt, dass die Energie zum Schmelzen des Festlandees der gesamten jährlichen Sonneneinstrahlung auf die äußere Atmosphäre entspricht. Bezogen auf die Sonneneinstrahlung auf die Oberfläche vergrößert sich die Zeit in den Bereich von Jahrzehnten; für die Fläche der eisbedeckten Gebiete mit ihrer hohen Albedo und der Neigung der Polkappen gegen-

über der direkten Sonneneinstrahlung liegt sie bei Jahrhunderten. Allerdings sind Ereignisse dieser Größenordnung in der Vergangenheit vorgekommen: Während der großen Eiszeit vor rund 150 000 Jahren lag der Anteil des Eises am Süßwasserinventar bis über 90 %. Als Gründe für einen Anstieg des Meeresspiegels im Bereich von 1 m/Jahrhundert im Zusammenhang mit einer globalen Erwärmung kommen vor allem die Temperaturerhöhung und damit Ausdehnung der Ozeane (ca. 0,01 % pro Grad) und das Abbrechen von Schelfeis mit verstärktem Eisbergeintrag in Betracht. Manche Autoren argumentieren, dass solche Effekte durch verstärkten Niederschlag und damit zusätzliche Wasserbindung im Festlandeis kompensiert werden könnten.

Das flüssige und gasförmige Süßwasser auf der Erde beträgt weniger als 1 % des gesamten Wasserinventars und verteilt sich auf 8 Mio. km³ Grundwasser, 126 000 km³ in Seen, 61 000 km³ Bodenfeuchte, 14 000 km³ atmosphärischen Wasserdampf (der mittlere Gehalt der Troposphäre liegt bei 3 g/m³) und 1 100 km³ Flüsse. Der Umsatz im meteorologisch-hydrologischen Wasserkreislauf liegt bei 48 000 km³/a. Diese Zahlen belegen die große Bedeutung der Grundwasservorräte und zeigen die Zeitskalen von Jahrhunderten für die Grundwasserneubildung. Sie demonstrieren die besondere Verpflichtung für einen vorsorgenden Grundwasserschutz mit der Notwendigkeit, diffuse Verschmutzungen aus Niederschlägen (Luftverunreinigung) und

Landwirtschaft sowie lokale Verunreinigungsquellen in Altlasten, Deponien und Sedimenten der Oberflächengewässer zu verringern.

Die Wasserentnahme liegt in der Bundesrepublik Deutschland bei ca. 50 km³/a, davon 80 % aus Oberflächengewässern und 20 % aus Grundwässern. Knapp 60 % werden als Kühlwasser von den Wärmekraftwerken der öffentlichen Energieversorgung genutzt, etwa 25 % beansprucht der industrielle Bereich, etwa 12 % die öffentliche Wasserversorgung und den Rest die Landwirtschaft für Bewässerungszwecke. 70 % der 6,5 km³/a für die öffentliche Wasserversorgung werden aus Grund- und Quellwasser bereitgestellt, 22 % aus Oberflächenwasser (Flüsse, Seen) und der Rest ist Uferfiltrat von Flüssen.

Der Pro-Kopf-Verbrauch von Trinkwasser in deutschen Haushalten lag Anfang der 90-er Jahre bei 140 l/Tag mit leicht abnehmender Tendenz in den letzten Jahren. Davon werden 45 l für Toilettenspülung, 42 l für Baden und Duschen, 16 l für Wäschewaschen, 8 l für Geschirrspülen, 6 l für Gartenbewässerung und 3 l für Trinken und Kochen verwendet. Die medizinisch empfohlene Flüssigkeitsaufnahme liegt bei ca. 2 l pro Tag und Person.

Die Qualität des deutschen Trinkwassers ist gut. Die Belastung von Oberflächengewässern mit medizinisch wirksamen Substanzen, die aus dem physiologischen Wasserumsatz stammen und von Kläranlagen nicht zurückgehalten werden, wird be-

obachtet, doch wurden umfassende Aktionen bisher nicht für angebracht gehalten. Nur sehr vereinzelt werden bei Parametern wie Nitrat oder Pestizidbelastung im Grundwasser die Grenzwerte erreicht. Folglich stehen im Aktionskonzept des bmb+f „Nachhaltige und wettbewerbsfähige deutsche Wasserwirtschaft“, das im Jahr 2000 vorgelegt wurde, Fragen der Struktur der Branche und ihre institutionelle und technische Stärkung für den internationalen Wettbewerb im Vordergrund.

Während die Wasserversorgung in Deutschland qualitativ und quantitativ keine gravierenden Probleme bereitet, wird sie im globalen Maßstab als ein Schlüsselproblem des 21. Jahrhunderts betrachtet. Die Aufgaben sind regional sehr unterschiedlich. Sie reichen beispielsweise von politischen Lösungen für die Verteilung von Wasserreserven zwischen verschiedenen Staaten über die Bereitstellung von preis-

werten, ökologisch unbedenklichen und zuverlässigen Verfahren für die Trinkwasserentkeimung (insbesondere in den sogenannten Megacities) und technischen Verfahren für die Verbarmung spezifisch belasteter Grundwässer (Arsen, Nickel, zu hoher Salzgehalt) bis zu Strategien der Bewässerung in der Landwirtschaft, mit denen der spezifische Wasserverbrauch verringert werden kann.

Im Forschungszentrum werden viele der genannten Aufgaben und offenen Fragen bearbeitet. Auf Mikrowellen basierende Verfahren zur Messung der Bodenfeuchte liefern Daten über die Energieumsetzung durch Verdunstung, die in Modellen verwendet werden, mit denen regionale atmosphärische Prozesse beschrieben werden. Chemisch-physikalische Verfahren wie die innovative Nutzung von Ionentauschern, die Magnetabscheidung und die überkritische Oxidation dienen der Aufbereitung von Trinkwasser

und der Reinigung von Prozess- und Abwässern. Mit Überwachungssystemen für Deponien, dem Studium von Versauerungsprozessen in stehenden Oberflächengewässern und reaktiven Barrieren im Grundwasserstrom wird der vorsorgende Grundwasserschutz unterstützt. Über den Verbund Umwelt- und Geoforschung der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und über die Projektträgerschaft „Abwasser und Schlammbehandlung“ des bmb+f, die ihren Sitz im Forschungszentrum Karlsruhe hat, sind die Arbeiten mit anderen Forschungseinrichtungen verknüpft.