

Wird Wasser knapp?

Dr.-Ing. Wulf Lindner

1. Wasser, ein besonderer Stoff

Was ist Wasser? Es ist mehr als nur Materie, es ist Energie und Energieträger, es liefert Informationen über das, was war, es ist Raum, es ist Zeit. Leben ist es nicht!

Zunächst ist es H₂O, zwei Wasserstoffatome und ein Sauerstoffatom, die das Wasser-Molekül bilden. Dieses Molekül ist sehr klein, mehr als 10 Mrd. passen auf einen Stecknadelkopf. Innerhalb des Moleküls sind die Ladungen nicht symmetrisch ausgeglichen. Die kleineren beiden Wasserstoffatome und das größere Sauerstoffatom sehen aus wie das Gesicht von Mickymaus, wobei die Ohren in einem Winkel von 104,7 ° stehen. Sie bilden einen permanenten Dipol, das negative Ende liegt beim Sauerstoffatom, das positive zwischen den beiden Wasserstoffatomen. Diese Eigenschaft begründet die ausgeprägte Neigung zu Verbindungen, insbesondere mit Salzen, aber auch mit anderen Wassermolekülen. Die Dipole verursachen aufgrund ihrer Anziehungskräfte Wasserstoffbrücken, die außerordentlich fest sind. Sie hängen fester zusammen als die Moleküle einiger Metalle. Der starke Zusammenhalt äußert sich in einer starken Oberflächenspannung, die jeder visuell erkennt, wenn er eine Nadel in einen Wassertropfen stechen möchte. Wasserstoffbrücken verbinden die Moleküle zu Clustern, Pfützen und Tropfen.

Wasser ist aufgrund der Mickymausform seines Moleküls zudem ein perfektes Lösungsmittel. Es verbindet sich leicht und löst Zucker, Salze, Eiweiße, Enzyme, Sauerstoff, Kohlendioxid, Schadstoffe. Wasser kann die Schwerkraft überwinden und bis in Baumwipfel hoch steigen. Die Oberflächenspannung erlaubt Tieren sogar übers Wasser zu laufen. Wasser leitet den Schall 4,5mal schneller als Luft. Wale verständigen sich so über Hunderte von Kilometern.

Wasser ist ein physikalisches Kuriosum: Flüssiges Wasser bei Raumtemperatur dürfte es gar nicht geben. Aufgrund des Molekulargewichts läge die Siede-Temperatur eigentlich bei -75 °C. Wegen der starken Wasserbrückenbindung wird aber eine Temperatur von +100 °C benötigt. Und nach dem Periodensystem müsste Wasser bei -120 °C gefrieren, d. h. flüssiges Wasser gäbe es eigentlich nur an den Polen unserer Erde.

Auch die Dichte ist ein Kuriosum. Ein Stoff verringert normalerweise mit sinkender Temperatur sein Volumen, die Dichte wird größer. So ist das auch mit Wasser im gasförmigen und im flüssigen Zustand von 100 bis 4 °C. Dann aber steigt das Volumen wieder, als Eis hat es 9 % Volumen zugelegt. Verantwortlich hierfür ist ein symmetrischer Aufbau der Eismoleküle mit einem weitmaschigen Gitter und durchgängigen Hohlräumen. Eis ist deshalb leichter und schwimmt im Wasser. Wäre es schwerer, würden Seen und Meere von unten her zufrieren. Bald wäre das Meer eine feste Eismasse und würde auch im Sommer kaum auftauen, da die Sonnenstrahlen nicht tief genug eindringen können. So bildet das Eis eine Frostschutzschicht für das Leben darunter. Da sich das Volumen des Wasserdampfes gegenüber flüssigem Wasser um das 1600-fache ausdehnt, können Dampfmaschinen betrieben werden. Ohne diesen Effekt hätte es keine industrielle Revolution gegeben. Wasserdampf ist mit 0,8 g/dm³ im Übrigen leichter als Sauerstoff (1,42 g/dm³) und Stickstoff (1,25 g/dm³) – das ist der Grund, warum Wolken schweben.

Wasser ist ein hervorragender Energiespeicher. Meere und Wasserdampf bilden eine gewaltige Klimaanlage. Ohne sie wären die Temperaturen zwischen Sommer und Winter, ja sogar zwischen Tag und Nacht tödlich für uns.

Wasser schafft aufgrund faszinierender chemisch-physikalischer Eigenschaften überhaupt erst die Voraussetzung für das Leben.

2. Wasser heißt Leben

Gäbe es kein Wasser, gäbe es kein Leben, die Erde wäre ein unwirtlicher Planet. Im Wasser begann das Leben, hier waren vor rund 4 Mrd. Jahren die ersten Lebewesen vor den tödlichen ultravioletten Strahlen geschützt. Aus dem Wasser und durch das Wasser eroberte das Leben aber auch langsam das Land, als es einzelligen Algen vor mehr als 2,6 Mrd. Jahren gelang, durch Photosynthese Kohlendioxid der Atmosphäre aufzunehmen und Sauerstoff freizusetzen. Sauerstoff stieg bis zur Stratosphäre auf, wo UV-Strahlen ihn in Ozon verwandelten. Ozon filtert die lebensfeindlichen UVB-Strahlen heraus, das Leben konnte sich nun auch auf dem Land entwickeln. Seitdem hat die Photosynthese ein Verhältnis von Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und anderen Gasen geschaffen, das heute die für unser Leben erforderliche Lufthülle bildet. Erdkörper, Lufthülle, und Wasser sowie die Pflanzen- und Tierwelt beeinflussen sich gegenseitig. Jedes Teilsystem befindet sich in einem voneinander abhängigen Gleichgewichtszustand. Immer wieder ist dieses Gleichgewicht gestört, Eis- und Warmzeiten belegen dies. Die Wassermenge insgesamt ändert sich jedoch nicht in für Menschen relevanten Zeiträumen, das unterscheidet Wasser von anderen Ressourcen wie Öl, Gas oder Kohle. Flüssig zirkuliert es auf dem Land, im Untergrund und in Meeresströmen, gasförmig in Wolken, und in festem Zustand liegt es zeitweise als Eis an Polen und auf Gletschern. Wasser regnet, versickert, wird genutzt von Menschen, Tieren und Pflanzen, strömt als Fluss- oder Grundwasser in Seen und Meere, wo es schließlich verdunstet und wieder zu Regen wird – jahrein, jahraus, immer, in einem nahezu konstanten Kreislauf.

3. Globale Verteilung des Wassers

Wenn man das Volumen der Erde mit 1 Billionen km^3 dem Wasservolumen von rund 1,4 Mrd. km^3 gegenüberstellt, dann entspricht dies in etwa dem Verhältnis eines Wasserballs zu einem Tischtennisball (1 : 800). Für den Menschen ist aber nur das Süßwasser nutzbar, wovon ihm allerdings nur ein Teil zur Verfügung steht. Insgesamt gibt es 36 Mio. km^3 Süßwasser, gegenüber dem Erd-Wasserball entspricht dies der Größe einer Murmel. Das meiste Süßwasser ist im Polareis gebunden oder befindet sich in großer Tiefe von rund 1000 m unter der Bodenoberfläche. Für die Lebewesen sind nur 10 % des Süßwassers nutzbar, also rund 4 Mio. km^3 , einer Erbse entsprechend. Von diesen 4 Mio. km^3 werden jährlich 40.000 km^3 umgesetzt, d. h. diese Menge steht der Natur und damit auch dem Menschen jedes Jahr aufs Neue zur Verfügung. Diese 40.000 km^3 sind folglich bewirtschaftbar, denn es ist wasserwirtschaftliches Prinzip, dass nur das bewirtschaftet werden darf, was ständig erneuert wird. Bezogen auf unseren Wasserball wäre das gerade einmal ein Kügelchen von 1 mm Durchmesser oder die Fläche Deutschlands 110 m hoch mit Wasser bedeckt. Geht man wie die Weltgesundheitsorganisation WHO davon aus, dass jeder Mensch zum Trinken und Waschen 80 l/d benötigt, könnten hiermit theoretisch 1,7 Billionen Menschen versorgt werden, also rund 280mal soviel wie heute.

Die Rechnung ist richtig, das Ergebnis ist jedoch falsch – wie die Praxis zeigt, denn

1. ist Wasser unterschiedlich verteilt,
2. werden Klimaänderungen prophezeit oder finden bereits statt,
3. wächst die Weltbevölkerung immens, steigt der Wasserbedarf.

Wird das nutzbare Wasser eventuell doch knapp auf dem blauen Planeten, der immerhin zu 70 % von Wasser bedeckt ist, werden wir gar verdursten?

4. Klimaänderungen

Rekordkälte in Schottland, Schneestürme in den USA, ungewöhnlich viel Regen in Mocambique, Kalifornien und China. In diesem Jahr waren besonders Süd- und Mitteleuropa betroffen. Vor allem ist uns die Hochwasserflut in Sachsen und Sachsen-Anhalt gegenwärtig, deren Folgen wir noch länger spüren werden. Überall treten Flüsse über ihre Ufer. Starke Niederschläge lassen das Land versinken wie in Bangladesch, wo der Monsunregen um 18 % zugenommen hat und regelmäßig 2/3 des Landes unter Wasser setzt. Wasser wird nicht knapp!

Auf der anderen Seite Hitzerekorde, Trockenheit und Dürre, z. B. in China und England. Selbst Norwegen, eigentlich ein wasserreiches Land, wartete in den 90er Jahren auf mehr Regen und hatte Schwierigkeiten, die Bevölkerung mit Wasser zu versorgen. Die Bürger Oslos mussten Wasser sparen. Doch besonders betroffen ist der Süden. Schon in Spanien ist das Wasser knapp, aber vor allem in Afrika herrschen schlimme Zustände. Die ohnedies trockenen Länder sind besonders betroffen.

Niederländische Forscher haben aufgezeigt, dass in Kanada und den USA der Niederschlag deutlich zugenommen hat, weniger allerdings der leichte Regen als vielmehr starke Regengüsse – das Wasser strömt ohne der Bodenfeuchte zugute zu kommen schnell ab. Extreme nehmen tatsächlich in ihrer Häufigkeit und zeitlichen Länge zu. Die Wasser- und Wärmemaschine in der Atmosphäre und den Ozeanen scheint gestört. In diesem Jahr trieben auf die kalifornischen Küsten Tiere zu, die eigentlich in viel wärmeren Meeresbereichen leben, El Nino soll dies bewirken. Naturkatastrophen sind auf dem Vormarsch. Verzeichnete Guatemala in den 50er Jahren noch 20 Naturkatastrophen, so waren es in den 90ern mehr als 80. Die Prämien der Versicherungen steigen in Problemgebieten auf das Unermessliche.

Ob ein Land arm oder reich war und ist, ob es eine Hochkultur entwickeln konnte oder nicht, wurde im Wesentlichen durch das Vorhandensein von Wasser bestimmt. Aride Gebiete – hierzu gehören 60 % der Landflächen – sind hier von vornherein benachteiligt. Denn selbst wenn der Regen überall auf der Welt gleichmäßig fallen würde, würde durch die höhere Verdunstungsrate in den ariden Gebieten stets Wassermangel herrschen.

Weltweit ist die Durchschnittstemperatur zwischen 1950 und heute um 1,5 °C auf 15 °C angestiegen. Ein weiterer Anstieg von 2 bis 6 °C wird in den nächsten 100 Jahren erwartet. Zum Vergleich: zur Zeit als die Dinos ausstarben (vor 65 Mio. Jahren) betrug die Durchschnittstemperatur 22 °C und in der letzten Eiszeit 10 °C. Temperaturschwankungen kamen immer wieder vor, auch relativ kurzzeitige. In einer Warmzeit um die Jahre 1000 bis 1220 gingen die Wikinger auf Reisen, besiedelten Grönland und entdeckten Amerika. Zwischen 1550 und 1850 wurde es dagegen deutlich kälter, viele Schweden, Norweger, Schotten, Iren und Engländer verhungerten in dieser „kleinen Eiszeit“. Alpengletscher dehnten sich aus, was die Menschen in Panik versetzte. Solche klimatische Zyklen wird es immer geben. Wahrscheinlich ist hierfür eine Änderung der Sonnenaktivität durch magnetfeldgesteuerte Sonnenflecken verantwortlich.

Auf der anderen Seite greift der Mensch in die Umwelt und damit auch in alle sich gegenseitig beeinflussenden Sphären ein und bewirkt durch rund 6 Mrd. Tonnen Kohlenstoff pro Jahr, die verbrannt werden, rund 22 Mrd. Tonnen Kohlendioxid im Jahr mehr, von denen nur ein geringer Teil von Pflanzen gebunden werden kann. Mit der Rodung großer Waldlandschaften, wie z. B. in Südamerika geht das Vermögen, durch Photosynthese Kohlendioxid CO₂ zu binden, drastisch zurück. Einen Kohlendioxidanstieg hat es natürlicherweise immer wieder gegeben, nur heute

erfolgt er 30mal schneller. Die fünf reichsten Länder emittieren 53 % des CO₂-Ausstoßes. Die fortschreitende Industrialisierung erhöht die Emission drastisch. Hinzu kommen Methan CH₄ (z. B. durch Reisanbau), Distickstoffoxid N₂O (Lachgas, durch Dünger und Brandrodung) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, ein ungiftiges Treibgas), die in die Atmosphäre gelangen und hier einen Treibhauseffekt bewirken. Kurzwelliges Sonnenlicht wird beim Auftreffen auf der Erde in langwellige Wärmestrahlen (Infrarot) umgewandelt. Spurengase in der Atmosphäre lassen zwar das kurzwellige Sonnenlicht durch, nicht aber die langwellige Wärmestrahlung. Somit verhindern die Spurengase die Reflexion der solaren Strahlen von der Erde in den Weltraum – die Temperatur steigt. Im Protokoll von Kyoto verpflichteten sich 1997 die Vertragsparteien (Staaten), bis 2012 ihre Gesamtemissionen von Treibhausgasen um mindestens 5 % unter das Niveau von 1990 zu senken (berechnet in CO₂-Äquivalenten). Es zeichnet sich ab, dass dies nicht erreicht wird.

Als Folge des Temperaturanstiegs wird sich mehr Wasserdampf in der Luft befinden, was zusätzlich die Abstrahlung der Wärme verhindert. Zudem könnten mit dem Auftauen von Dauerfrostböden Gigatonnen gefrorener Treibhausgase, vor allem Methan freigesetzt werden, was zusätzlich den Treibhauseffekt verstärken würde.

Einen sekundären Effekt auf die Erwärmung und so auf den Wasserhaushalt haben auch die Ozonlöcher an den Polen. FCKW werden in großer Höhe durch kurzwellige UV-Strahlen zerlegt und Chloratome freigesetzt. Dieses Chlor zerstört die Ozonatome und so die Ozonschicht, die uns vor den gefährlichen UVB-Strahlen schützt. Vor allem im antarktischen Frühling dehnt sich am Südpol das Ozonloch mehr und mehr aus. Tiere und Menschen sind hiervon in Australien und Südamerika unmittelbar bedroht. Für das Klima ist von Bedeutung, dass die UVB-Strahlen das Wachstum hemmen. Dadurch wird die Photosynthese gestört und weniger Kohlendioxid gebunden, was letztlich den Treibhauseffekt beschleunigt.

Auch wenn die Temperaturerhöhungen gering erscheinen, so können wir doch die Folgen am Rückgang der Gletscher in den Alpen deutlich erkennen. Allein in Österreich verflüchtigten sich 25 Gletscher in den letzten 150 Jahren. Niederschlag wird nun in geringerem Maße als Eis und Schnee zurückgehalten. So wie hier das Eis abnimmt, so wachsen die Eismassen an den Polen, da durch eine insgesamt feuchtere Atmosphäre dort mehr Niederschlag fällt. Zuvor (in den nächsten 100 Jahren) könnten die Pole aber erst einmal so weit schmelzen, dass der Meeresspiegel bis zu 80 cm ansteigt.

Was aber wirklich auf uns zukommt, ist nicht bekannt. Wahrscheinlich wird durch erhöhten Wasserdampf, der auch einen Wärmeaustrag ins All verhindert, der Treibhauseffekt verstärkt. Wasserdampf trägt viel mehr zum Treibhauseffekt bei als CO₂. Es erweist sich für uns als Vorteil, dass der Ozean ein hervorragender Wärmepuffer ist, der weit mehr Energie speichern kann als die gesamte Atmosphäre. Was wird aber passieren, wenn sich die Meeresströme durch einen Temperaturanstieg ändern? Jüngste Studien lassen vermuten, dass der Golfstrom an Kraft verlieren könnte, wodurch die Küstenregionen Nord- und teilweise Mitteleuropas unter sibirischer Kälte leiden müssten.

Vielleicht heben sich auch einzelne Effekte gegenseitig auf. Klimamodelle helfen uns in der Aussage über die regionale Klimaentwicklung bislang nicht wirklich weiter. Sie sind nur so gut wie ihre Randbedingungen – und die werden geschätzt. Wir können deshalb nur annehmen, dass aufgrund von Klimaänderungen regional der natürliche Wasserkreislauf anders sein wird als heute. Einige Forscher gehen der festgestellten Erwärmung zum Trotz davon aus, dass wir vor

der nächsten zyklischen Kaltzeit stehen. Wie dem auch sei, alle Änderungen des Klimas bewirken Änderungen im regionalen Wasserhaushalt. Eindeutig stehen dabei die ariden und semiariden Gebiete auf der Seite der Verlierer.

5. Bevölkerungsentwicklung und Wasserbedarf

Die Entwicklung der Bevölkerungszahlen ist relativ gut statistisch erfasst und erlaubt deshalb zuverlässigere Prognosen. Um Christi Geburt nahm die Erde statistisch betrachtet alle sechs Minuten um einen Erdenbürger zu. Dieser Zuwachs erfolgt heute 720mal schneller, es kommen pro Sekunde zwei Menschen zur Welt. Die Verdoppelungszeiten der Menschenzahl verkürzen sich ständig. Zur Zeit leben rund 6 Mrd. Menschen und damit mehr als alle bereits gestorbenen Menschen zusammenaddiert. Bis zum Jahre 2025 wird die Zahl der Menschen insgesamt auf 8,5 Mrd. ansteigen, obwohl die Bevölkerungszahl in Europa um 10 % sinken wird. Zum Vergleich: nach der letzten Eiszeit, als die Menschen begannen den Boden zu bewirtschaften, waren es nur 10 Mio. und im Jahre 1900 1,8 Mrd. Menschen.

Auffällig ist, dass die Bevölkerung immer ungleichmäßiger über die Erde verteilt zunimmt. Bereits in 30 Jahren werden 80 % aller Menschen in armen und gleichzeitig in wasserarmen Gebieten Asiens, Lateinamerikas und Afrikas leben. Und diese Menschen zieht es immer stärker in die Städte. Während es 1950 100 Städte mit einer Million Einwohnern gab, werden wir im Jahre 2025 ca. 650 Millionen-Städte haben. Schon heute leben 20 % der Menschen erbärmlich in Favelas. So werden in den Großstädten wie Mexiko-Stadt oder Bombay mit rund 20 Millionen Menschen im Jahre 2025 mehr als 30 Millionen wohnen. Hier muss die Wasserversorgung zusammenbrechen. Allein zum Trinken benötigt man in diesen Städten rund 0,5 Mio. m³/d, für die Körperpflege und Sonstiges kommen noch einmal rund 2,5 Mio. m³/d hinzu. Dies ist aber noch lange nicht alles. Um sie mit Nahrung zu versorgen, benötigt man weit mehr, der Hauptbedarf macht nämlich das Wasser für die Bewässerung von Feldern aus. Weltweit werden etwa 70 % des Süßwassers für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturflächen gebraucht, wovon mehr als die Hälfte verdunstet. So werden 30 % der Getreidegebiete bewässert. Vor allem in Asien ist der Bedarf für Bewässerungsmaßnahmen hoch. In Europa macht dagegen der Anteil, der für die Energieerzeugung benötigt wird – das Kühlwasser – den Hauptanteil aus.

Malin Falkenberg, eine schwedische Wasserexpertin, hat den Wasserbedarf in trockenen Zonen definiert und dabei vier Fälle unterschieden. Sie ging davon aus, dass für eine angemessene Lebensqualität 100 l/d = 36 m³/a und ein 5 bis 20fach höherer Bedarf für Landwirtschaft und Energieerzeugung pro Einwohner notwendig ist:

€ mehr als 1700 m ³ /a	↓	Wasserreichtum
€ 1700 bis 1000 m ³ /a	↓	lokale Wasserprobleme
€ 1000 bis 500 m ³ /a	↓	chronischer Wassermangel
€ weniger als 500 m ³ /a	↓	absoluter Wassermangel

Nach dieser Einteilung herrschte 1990 in 20 Ländern chronischer Wassermangel, im Jahre 2025 werden es bereits 34 Länder sein. Hierbei sind solche Länder, die im Mittel über genügend, örtlich jedoch über viel zu wenig Wasser verfügen, nicht aufgeführt, so dass die genannte Skala auf der optimistischen Seite liegt.

Zwar hat sich der Mensch das Wasser bewusst dienstbar gemacht, er staut es, er fördert es, bereitet es auf, führt es durch Leitungsnetze, reinigt verschmutztes Wasser und entsalzt Meerwasser,

doch es ist ganz offensichtlich, dass er mit dem Wasserbedarf durch den enormen Bevölkerungszuwachs, die Massenflucht in Städte und die erforderliche landwirtschaftliche Produktion zur Zeit nicht fertig wird. Und die Prognose: Während die Bevölkerung geometrisch wächst (2,4,8,16), steigt die Nahrungsmittelproduktion nur arithmetisch (2,4,6,8).

Immer weniger Menschen haben Zugang zu sauberem Trinkwasser und immer weniger haben Zugang zu sanitären Anlagen. Dies gilt natürlich im Besonderen in den Entwicklungsländern, wo Hunderte von Millionen Menschen betroffen sind. 1980 hatten 1,8 Mrd. Menschen kein sauberes Trinkwasser. Daraufhin haben die Vereinten Nationen die 80er Jahre zum Trinkwasser- und Gesundheitsjahrzehnt erklärt und den Bau von Wasserversorgungsanlagen und sanitären Einrichtungen gefördert. Mittlerweile haben weltweit 2 Mrd. Menschen zu wenig Wasser, 500 Mio. sind zeitweise vom Verdursten bedroht. Es fehlt Wasser zum Trinken und für die Hygiene. So haben 3 Mrd. Menschen keine Toiletten. Wasserknappheit ist auch das Resultat von Wasserverschmutzungen durch die Landwirtschaft (Versalzung, Düngung und Spritzmitteleinsatz), die Industrie (toxische Abfälle) und fehlende Kläranlagen der Kommunen bzw. den Kurzschluss von Sickergruben und Brunnen. In vielen Entwicklungsländern ist die Verschmutzung der Flüsse durch Abwasser tausendfach höher als empfohlene Grenzwerte für Badegewässer in Europa, besonders in Asien. Die Folge: eine hohe Sterblichkeit, vor allem von Kindern unter 5 Jahren. Alle 8 Sekunden stirbt ein Kind in Folge von Krankheiten, die auf eine Wasserverschmutzung zurückzuführen sind: Amöbenruhr und bakterielle Ruhr, Bilharziose, Cholera, Medinawurm und Typhus. Überhaupt sind 80 % aller tödlichen Infekte auf Verunreinigungen des Wassers zurückzuführen. Wasser heißt hier Leben **und** Tod!

Nicht unerwähnt bleiben darf, dass Ökosysteme, insbesondere aquatische, durch anthropogene Einflüsse leiden oder gar verschwinden. So führt zum einen die extensive Landwirtschaft zu einem Verlust an Biodiversität, zum anderen schädigt die Verschmutzung von Wasser Tiere und Pflanzen, schädliche Stoffe lagern sich in Tieren an und gelangen im Zuge des Fressens und Gefressenwerdens in die Nahrungskette. Tier- und Pflanzenarten sterben aus und mit ihnen eine wertvolle Geninformation. Und da die Natur nicht ruht, sondern sich in einem labilen Gleichgewicht im Kampf der Pflanzen und Kreaturen befindet, haben diese Änderungen der Lebensbedingungen auch weitgreifende Folgen für den Menschen.

6. Regionale Betrachtung

Nachfolgend soll die Frage, ob Wasser knapp wird, auf einzelne Regionen pars pro toto fokussiert werden. Dabei stößt man auch auf Länder, die nach der Malin-Falkenberg-Studie eigentlich wasserreich sind.

Saudi Arabien ist wasserarm, es gibt weder Flüsse noch Seen und der Jahresniederschlag beträgt nur 100 mm (= 100 l/m²), von denen das meiste verdunstet. Die Wasserversorgung des Landes erfolgt zu 75 % mit Grundwasser, wobei neunmal mehr entnommen wird als natürlicherweise dem Grundwasser zukommt. Es werden Grundwasservorräte geplündert, die sich in Jahrtausenden gebildet haben und die zur Regeneration wieder Jahrtausende benötigen würden. Unglücklicherweise unterstützt der Staat diesen Raubbau am Wasser durch Subventionen für landwirtschaftliche Bewässerungsobjekte. So wurde 1992 die Produktion von 4 Mio. Tonnen Weizen mit 2 Mrd. Dollar subventioniert, obwohl man den Weizen für ein Fünftel auf dem Weltmarkt hätte kaufen können. Für 1 kg Weizen benötigt man 2.000 l Wasser. Die Saudis halten zudem Kühe in aufwendig mit Wasser gekühlten Ställen. Jeder Liter Milch kostet 11.000 l Grundwasser. Die gesamte Ausdehnung des unterirdischen Wasserreservoirs ist zwar nicht bekannt, das Reservoir

ist aber begrenzt. Wahrscheinlich geht der Vorrat in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts zur Neige, wenn die Bevölkerung 40 Mio. Menschen deutlich überschritten haben wird. Die reichen Saudis werden dann sicherlich nicht mehr in Saudi Arabien leben.

Die Sahelzone ist ein Gebiet mit geringen, jährlich sehr stark variierenden Niederschlägen und länger andauernden Dürreperioden. Die Menschen lebten Jahrhunderte lang im Einklang mit den klimatischen Verhältnissen und zogen in den Dürrezeiten als Nomaden von Wasserstelle zu Wasserstelle. Das änderte sich jedoch mit der sicherlich wohlgemeinten, aber doch fehlgeplanten Entwicklungshilfe: Durch künstliche Bewässerung entstanden Weideflächen – man wurde sesshaft. Folglich nahm die Zahl der Tiere und Menschen schnell zu. Heute leidet das Land während der Trockenzeit unter der Überweidung, die den Boden zur Wüste werden lässt, und unter Wassermangel. Es gibt zudem Beispiele dafür, dass der Brunnenbau dort gefördert wurde, wo Wasser nur zeitlich begrenzt zur Verfügung stand. Trotz oder wegen dieser Hilfe wird Wasser also knapp! Schwer geschädigt sind Zentral Niger, Senegal, Mauretanien, Mali und der Tschad. Durch die Überbevölkerung und eine kurzsichtige Bevölkerungspolitik wurde die Katastrophe zum Dauerzustand.

Indien verfügt mit mehr als $2000 \text{ m}^3/\text{a}$ pro Kopf eigentlich über genug Wasser. Trotzdem leiden viele seiner 900 Mio. Menschen unter Wassermangel, das Wasser ist ungleich verteilt. So hat der nordwestliche Bundesstaat Radschastan, der über nur 1 % der Grundwasserressourcen Indiens verfügt, das Problem, dass hier 8 % der Bevölkerung leben. Und die Bevölkerung vermehrt sich rasch mit im Mittel 4,5 Kindern pro Frau. Wo wird man künftig Wasser hernehmen, wenn es heute schon knapp ist?

Amerika, das Land der unbegrenzten Möglichkeiten? Amerika verfügt mit rd. $10.000 \text{ m}^3/\text{a}$ pro Kopf über außergewöhnlich reiche Wasservorkommen. Doch örtlich übersteigt der Wasserbedarf das Dargebot. Kalifornien, der Bundesstaat mit der größten Bevölkerung (30 Mio. Menschen) und dem größten Bevölkerungszuwachs ist hierfür ein Beispiel. Die landwirtschaftliche Bewässerung nutzt in Kalifornien mehr Wasser als auf Dauer vorhanden. Zwar werden enorme Wassermengen von wasserreichen in wasserarme Gebiete transportiert, dennoch lebt man vom Bestand. Den Seen und Grundwasservorkommen wird mehr entnommen als zufließt.

Wasserwirtschaftlich defizitäre Verhältnisse hat Amerika auch im High-Plains-Grundwasserbecken im Mittelwesten. Auf einer Fläche, die größer ist als Deutschland, wird das 20fache der Grundwasserneubildung gefördert. Als Folge dieser Überbewirtschaftung fiel der Grundwasserstand im Mittel um 3 m, stellenweise gar um 30 m. Eine solche Vorgehensweise funktioniert nur zeitlich begrenzt. So kommt es, dass die Amerikaner die Bürger zum Wassersparen aufrufen. Das alleine hilft natürlich nicht.

7. Konflikte um das Wasser

Wenn schon um Öl Kriege geführt werden, dann sicherlich auch um Wasser, denn Wasser wird eines Tages einen höheren Wert als Öl haben – Wasser steht für Wohlstand. So kann die Knappheit der Ressource Wasser bestehende Spannungen verschärfen oder neue schaffen, die Krise wächst mit zunehmendem Bevölkerungsdruck. An Hunderten von Flüssen, Seen und Grundwasserbecken haben mehrere Länder Anteil. Alleine in Europa gibt es 150 Flüsse und 20 Seen, die durch Grenzen geteilt sind. Der Rhein berührt 6, sein Einzugsgebiet 8 Länder. Das Einzugsgebiet der Donau umfasst gar 17 Länder, der Fluss streift oder durchströmt 11 Länder. In Europa löst man erfolgreich potenzielle Konflikte in gemeinsamen Kommissionen und Arbeitsgemeinschaf-

ten, die aktiv dazu beitragen, wasserwirtschaftliche und ökologische Beeinträchtigungen zu minimieren. Doch so denkt man nicht überall in der Welt. „Everyone lives downstream“, unter diesem Motto hatte 1999 die UN den Tag des Wassers gestellt, um auf die Internationalität der Wasserwirtschaft hinzuweisen. Als potenzielle Konfliktherde sind nachfolgend pars pro toto die Flüsse Jordan, Nil, Euphrat und Tigris sowie der Aralsee in Vorder- bzw. Zentralasien genannt.

Israel kontrolliert 80 % des Wassers im Westjordanland und des Jordanflusses. Während Palästinenser mit Tankwagen versorgt werden und jedem Einwohner nur rund 50 l/d zur Verfügung stehen, verbrauchen die Israeli rund 200 l/d (zum Vergleich: In Deutschland liegt der Verbrauch bei 130 l/d). Die gewalttätigen Auseinandersetzungen gehen maßgeblich um die Nutzung des Wasserdargebots. Ursprünglich wollte die Arabische Liga Israel mit Staudämmen das Wasser verwehren, doch Israel setzte sich mit Waffen zur Wehr. Schließlich führten die israelischen Bombardierungen der Staudämme zum 6-Tage-Krieg 1967. Die Frage der Wasserrechte ist eine der umstrittensten in den stockenden Nahostverhandlungen. Ohne eine gerechte Wasseraufteilung wird es in dieser Region nie Frieden geben!

Der Euphrat und der Tigris strömen von der Türkei über Syrien, Irak in den Iran. Jordanien hatte einmal gehofft, Wasser vom Euphrat über große Leitungen zu beziehen, da die Israelis im besetzten Westjordanland dem Jordan und die Syrer dem Fluss Yamurk Wasser für die Trinkwasserversorgung und für Bewässerungszwecke entziehen, aber der Euphrat sowie auch der Tigris führen nicht mehr genug Wasser, seit die Türkei Stauseen zur Energiegewinnung und für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen gebaut hat. Der Atatürk-Stausee ist 12mal so groß wie der Bodensee. Die Türkei kann den Unterliegerstaaten buchstäblich den Wasserhahn zudrehen, schon heute kommt nur ein Drittel des normalen Abflusses in Syrien an – Konflikte, gar kriegerische, sind vorprogrammiert. Bilaterale Abkommen wurden von der Türkei nicht eingehalten. Der einstige türkische Staatspräsident Turgut Özal drohte zudem mit der Austrocknung Syriens, falls die Regierung nicht kurdische Rebellen der PKK des Landes verweisen würde.

Nilwasser teilen sich zehn Staaten. Vor allem Ägypten lebt vom Nil – es ist zu 95 % vom Flusswasser abhängig. Alle acht Monate gibt es eine Million Ägypter mehr. Sie benötigen das Wasser des Nils für die Trinkwassergewinnung, für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Industrie. Aber auch im Oberlauf des Nils im Sudan und in Äthiopien steigt der Bedarf infolge des Bevölkerungswachstums. Konflikte gibt es bei dem begrenzten Dargebot schon heute. Ex-UN-Generalsekretär Butros-Ghali warnt: Der nächste Krieg geht hier um Nilwasser, nicht um allgemeine Politik.

Bewässerungsmaßnahmen in Russland und Kasachstan entziehen auch dem Aralsee und dem Kaspischen Meer vor allem für die Bewässerung der Baumwolle-Plantagen große Mengen an Wasser. Der Aralsee schrumpfte bereits rapide: Seit 1960 ist die Wasserfläche um die Hälfte und das Volumen um 3/4 kleiner geworden, da der Zufluss um 90 % abgenommen hat – und dieser Trend hält an. Beim Kaspischen Meer kommt noch das Problem der Verschlammung hinzu. Der Fischfang ist drastisch zurückgegangen. Im Aralsee hat sich zudem die Salzkonzentration des Wassers versechsfacht. Die Luftfeuchtigkeit nimmt konstant ab, die Temperaturen steigen weiträumig. Und im Delta ist die Wasserversorgung gefährdet. Selbst wenn, wie geplant, Flüsse aus Sibirien umgeleitet in den Aralsee strömen würden, könnte nur ein Viertel des Wasserdefizits ausgeglichen werden. Es ist damit zu rechnen, dass bis zum Jahre 2025 die Seefläche nur noch ein Achtel der ursprünglichen beträgt. Da sowohl das Kaspische Meer als auch der Aralsee an mehrere Länder grenzen, sind erhebliche Spannungen vorhanden, die wohl wegen der militärischen Vormacht Russlands nicht zu offenen Auseinandersetzungen und Blutvergießen führen.

8. Situation in Deutschland

Die Situation in Deutschland passt so gar nicht in das bisher Genannte. Deutschland ist ein wasserreiches Land mit einem Dargebot von insgesamt 164 Mrd. m³/a (2.000 m³/a pro Kopf, d. h. mehr als 5.000 l/d pro Kopf.) Benötigt werden, vom Bedarf der Industrie abgesehen, 130 l/d pro Kopf. Und da das Wasser dem ewigen Kreislauf folgend immer zur Verfügung steht und die Bevölkerungszahl nahezu konstant bleibt, ist auch kein Wassermangel zu erwarten. In Deutschland wird in Vorsorge auf morgen nur das bewirtschaftet, was ständig erneuert wird. Dies ist ein Grundsatz der Wasserwirtschaft. Wir leben nicht vom Bestand, sondern von den wasserwirtschaftlichen Zinsen. Regionale Wasserknappheit wird über Fernwasserbezug ausgeglichen.

Wassersparmaßnahmen sind im Allgemeinen und von Ausnahmen abgesehen aus wasserwirtschaftlicher Sicht nicht erforderlich. Da das Wasser aber von der Förderung bis zum Wasserhahn transportiert werden muss, ist bei geringerem Wasserbedarf – also durch einen bewussten Umgang mit dem Wasser – ein Einsparen von Energie möglich. Auch können ökologische Gründe für ein Wassersparen sprechen, nämlich dann, wenn eine Wasserförderung ein Absinken des Grundwasserstands in Feuchtgebieten oder eine ökologisch nicht erwünschte Verringerung der Wasserführung in Flüssen und Bächen verursacht. Tatsächlich sind aquatische Biotope wie Bäche, Teiche, Seen, Feuchtwiesen, Moore etc. der bedrohteste Landschaftstyp in Deutschland, was allerdings nur in einem sehr geringen Maße der Wasserwirtschaft zuzurechnen ist.

Eine besondere Form des Wassersparens, die von einigen Umweltverbänden und politischen Kreisen propagiert wird, ist die Nutzung von Regenwasser, das auf Dach- oder Hofflächen aufgefangen wird, im Haushalt, z. B. für die Toilettenspülung. Mitunter fordern Politiker sogar die Nutzung des Dachablaufwassers zum Wäschewaschen oder zum Duschen. Ökologische Gesamtbilanzen zeigen jedoch, dass die Regenwassernutzung im Sinne des Umweltschutzes nicht den gewünschten Vorteil bringt, und wirtschaftliche Untersuchungen bestätigen, dass sich Regenwassernutzungsanlagen selbst langfristig nicht rechnen, und Hygieniker warnen davor, unseren erreichten Qualitätsstandard so billig aufzugeben.

Hohe Ansprüche an das Trinkwasser haben es in Deutschland zum bestüberwachten Lebensmittel gemacht. Doch sollte Trinkwasser nicht ein Produkt einer Wasserfabrik sein, es sollte natürlich rein sein und bleiben, nicht durch Düngemittel, Biozide, unerwünschte Stoffe wie z. B. Lösungsmittel verunreinigt. Leider ist das lange nicht überall der Fall. Um 1 kg Pflanzenschutzmittel aus dem Wasser herauszufiltern, muss man 100.000 € aufwenden, und 1 m³ Öl machen 1 Mio. m³ Trinkwasser unbrauchbar. Das Wasserhaushaltsgesetz fordert: „Die Gewässer“ – und dazu gehört auch das Grundwasser, aus dem 70 % des zur Trinkwasserversorgung erforderlichen Wassers stammt – „sind als Bestandteil des Naturhaushaltes ... zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass ... vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen unterbleiben.“ Dies dient dem Schutz unserer Trinkwasserressourcen, aber auch dem Schutz unserer aquatischen Biotope und des Naturhaushalts.

Ob Klimaänderungen langfristig auf den Wasserhaushalt in Deutschland Einfluss nehmen, ist nicht erwiesen, aber doch zu vermuten. Man kann feststellen, dass – abgesehen von diesem Jahr – Talsperren wegen geringer Niederschläge leerer sind als erwünscht und dass es im Sommer weniger regnet und im Winter weniger Wasser durch Eis und Schnee zurückgehalten wird – unsere Alpengletscher nehmen ab. Hinzu kommt eine Steigerung des direkten Niederschlagsabflusses, da mit einer Versiegelung und einer Flurbereinigung der Landschaft weniger Niederschlagswasser versickern und somit im Boden gespeichert werden kann. Wenn der Trend anhält, dann

werden die Hochwässer im Winter zunehmen, und im Sommer werden die Wasserstände sinken. Schmutzstoffe in den Flüssen werden somit im Sommer konzentrierter vorhanden sein und sie könnten im Winter bei Hochwasser mit einer Überflutung weit ins Land eingetragen werden, eine Problematik vor allem an unseren großen Strömen und Flüssen, wo Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung gewonnen wird. Wenn nicht gleichzeitig – wie am Rhein – auf Drängen der Wasserversorgungsunternehmen die Wasserqualität verbessert worden wäre, könnten die quantitativen Änderungen qualitative zur Folge haben.

Gegenüber den übrigen Wasserproblemen in der Welt leben wir mit unseren regionalen zwar berechtigten, aber vergleichsweise geringen wasserwirtschaftlichen Sorgen jedoch auf der Insel der Glückseligen.

9. Schlussfolgerungen und Lösungsansätze

Also zurück zu den globalen Wasserproblemen: Angesichts der sich abzeichnenden Klimaentwicklung und ihrer regionalen Beeinträchtigung des Wasserhaushalts, der Auswirkung menschlichen Handelns auf die Wassergüte und das Wasserdargebot, ganz besonders aber des mit der Bevölkerungsentwicklung steigenden Wasserbedarfs kann man in vielen Teilen der Welt keineswegs optimistisch in die Zukunft schauen.

Aus der Biologie ist bekannt, dass Lebewesen, denen ausreichend Nahrung – und das gilt auch für das Nahrungsmittel Wasser – geboten wird, sich schnell vermehren. Erst wenn das Nahrungsmittel knapp wird, verringert sich das Wachstum, bis es schließlich degressiv zu einer Verringerung der Individuen führt. Die Anzahl der Individuen beschreibt eine Gauß'sche Glockenkurve. Insofern richtet sich die Natur nach Angebot und Nachfrage. Doch den Verlauf der Bevölkerungskurve wird man, da der Mensch mit Intelligenz ausgestattet ist, nicht prognostizieren können. Kriege um das Wasser sind vorprogrammiert, aber auch Völkerwanderungen – Durst ist schlimmer als Heimweh; schon heute gibt es wegen Wasserproblemen mindestens 25 Millionen Flüchtlinge.

Die Vereinten Nationen sehen dieses Ziel seit der Gipfelkonferenz von Rio im Jahre 1992 in einer nachhaltigen Entwicklung „Sustainable development“. Sie verstehen darunter ein verantwortungsbewusstes Handeln, das die gegenwärtigen Bedürfnisse deckt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zur Deckung ihrer Bedürfnisse einzuschränken. Für die Wasserwirtschaft bedeutet dies, dass die Gewässer auch von unseren Nachkommen uneingeschränkt genutzt werden können müssen.

In Deutschland gilt dieses Prinzip der Nachhaltigkeit, wie bereits erwähnt, nicht erst seit Rio. Ob man es aber weltweit beachten wird, ist unwahrscheinlich, zumindest wird es ein Seiltanz, bei dem auf der einen Seite ökologische und auf der anderen Seite soziale und ökonomische Kräfte in den Abgrund ziehen. Es ist sicherlich äußerst schwer, einem wasserarmen Land klarzumachen, dass man nicht auf Kosten der Zukunft leben darf, dass man genügsam leben soll mit dem was man hat, auch wenn sich einem keine wirtschaftlichen Erfolgsaussichten bieten und sich der Bevölkerungszuwachs in einen -rückgang wandeln muss. Die größten Einsparpotenziale liegen darin, dass man den **Bedarf den Gegebenheiten anpasst**. Insofern ist es wenig sinnvoll, wenn Orangen in Ländern angebaut werden, in denen die erforderlichen 50 l Wasser pro Orange eigentlich nicht zur Verfügung stehen.

Da man für die Herstellung pflanzlicher Nahrungsmittel weniger Wasser benötigt als für die Produktion von Fleisch, wäre auch der **Vegetarismus** geeignet, besser mit dem Wasser zu haushalten.

Um Wasserknappheit zu begegnen, fallen dem Menschen immer wieder Lösungen ein, allerdings sind nicht alle praktikabel. So wurde schon vielfach die These vertreten, man könne Eis von den Polen mit Schiffen in wasserarme Gebiete transportieren, ganze Eisberge im Schlepptau in den Süden ziehen. Doch dies rechnet sich nicht. Der Aufwand des Transportes und die Trinkwasseraufbereitung aus Eis sind zu teuer. Ebenso wenig lohnt sich, Wolken mit Silberjodidausbringung zu veranlassen, sich als Regen zu entladen.

Erfolgversprechender ist die **Entsalzung des Meerwassers** in großem Maßstab, zumindest dort, wo ausreichend Energie zur Verfügung steht. Die Entfernung der Salzionen kostet zwischen 0,90 und 1,60 €/m³. Noch ist eine rein fossile Energieversorgung der Entsalzungsanlagen preiswerter als die Nutzung der Solarenergie oder kombinierte Verfahren. Wenn sich die Meerwasserentsalzung in den letzten 20 Jahren verdreizehnfach hat, dann liegt es vor allem daran, dass sich reiche Ölstaaten im persischen Golf den Energiebedarf und die Subvention der Entsalzung leisten können. Erst wenn Sonnenenergie ausreichend effizient genutzt werden kann, wird Meerwasserentsalzung auch für ärmere Staaten interessant werden.

Eine gute Lösung regionaler Wasserprobleme liegt im **Fernbezug** von wasserreichen in wasserarme Gebiete. Inder, Syrer, Griechen, Römer und viele andere Völker betrieben bereits vor 2.000 bis 4.000 Jahren gigantische Versorgungssysteme. Auch heute sind enorme **Transportleitungen** zur Lösung regionaler Wasserprobleme enorm wichtig. Doch sie müssen möglichst dicht sein, um die gewünschten Resultate zu erzielen, da anderenfalls nicht nur Wasser, sondern auch Transportenergie verloren geht. Die Weltbank berichtet, dass in den Entwicklungsländern mindestens 50 % der öffentlichen Wasserversorgung und bis zu 75 % des für die Landwirtschaft bestimmten Wassers verloren gehen. Dichte und beständige Leitungen kosten Geld, was man dort nicht hat. Entsprechende **Rohrleitungssysteme und Verlegeverfahren** sollten entwickelt werden. Hier sehe ich ein bedeutendes Aufgabenfeld für uns. Doch selbst in Europa gibt es, obwohl die technischen Möglichkeiten zur Verfügung stehen, zahlreiche Länder, die wegen maroder Leitungen Verluste von 30 % hinnehmen. Vor allem private Unternehmen sind gehalten (woran die Regierungen der Länder nicht unbeteiligt sind) aus Gründen des Shareholder Values und im Hinblick auf den globalen Wettbewerb weniger in die Rohrnetze zu investieren. In Britannien schätzt das Worldwatch Institute, dass ¼ des in die Verteilungsnetze gespeisten Wassers durch Leckagen versickern.

Und schließlich sei noch ein rationaler Umgang mit dem Wasser in den wasserknappen Gebieten geboten durch

- € **Wassermessung** bei den Abnehmern und **mengenabhängige Wasserpreise**, denn Wassersparen bedarf eines finanziellen Anreizes;
- € **Mehrfachnutzung des Wassers**: Grundwasser zum Trinken und zur Körperpflege, Abwasser für die Bewässerung der Felder. Hier werden angemessene und an die örtlichen Erfordernisse angepasste Technologien notwendig, die sich die wasserarmen Länder leisten können. „Sophisticated Technologies“, wie wir sie für unsere Belange in Europa entwickeln und nutzen, helfen nicht.

Die einfachsten Antworten auf die Frage, was man gegen Wasserknappheit tun kann, sind „Bevölkerungswachstum verlangsamen“ und „Umweltzerstörungen vermeiden“. Beides kann nur durch **Bildung, Aufklärung** und Einsicht erreicht werden. Unrealistisch? Nein, aber auch wenn dies keine leichte Aufgabe ist – der Menschheit bleibt letztlich keine andere Wahl!

Literatur

- € Bundesministerium für Forschung und Technologie, Unsere Erde im Wandel, 1992
- € Engelman, R. & LeRoy, P.: Mensch, Wasser! Balance Verlag, 1995
- € Mensch und Umwelt, Magazin des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit, 9. Ausgabe, 1994
- € Kundezewicz, Z. W. et al.: Floods and Droughts: Coping with Variability and Climate Change, Proceedings of the International Conference on Freshwater, Bonn 2001
- € Noll, R., Shirley, M. M. & Cowan, S.: Reforming Urban Water Systems in Developing Countries, University of Chicago Press, 2000
- € Rijsberman, F. R. & Molden, D.: Balancy Water Uses: Water for Food and Water for Nature; Proceedings of the International Conference on Freshwater, Bonn 2001
- € Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, WF VIII-149/91
- € Wolf, A. T.: Transboundary Waters: Sharing Benefits, Lessons Learned, Proceedings of the International Conference on Freshwater, Bonn 2001

Verfasser: Dr.-Ing. Wulf Lindner
DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
Josef-Wirmer-Straße 1-3
53123 Bonn
Telefon: (02 28) 91 88 – 8 50
Telefax: (02 28) 91 88 – 9 94
e-mail: lindner@dvgw.de