

Rita Triebkorn
Jürgen Wertheimer *Hrsg.*

Wasser als Quelle des Lebens

Eine multidisziplinäre Annäherung

Wasser als Quelle des Lebens

Rita Triebkorn • Jürgen Wertheimer
(Hrsg.)

Wasser als Quelle des Lebens

Eine multidisziplinäre Annäherung

Herausgeber
Rita Triebkorn
Institut für Evolution und Ökologie
Universität Tübingen
Tübingen
Deutschland

Jürgen Wertheimer
Germanistisches Seminar
Universität Tübingen
Tübingen
Deutschland

ISBN 978-3-662-46267-6
DOI 10.1007/978-3-662-46268-3

ISBN 978-3-662-46268-3 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung: Merlet Behncke-Braunbeck

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer-Verlag Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Zum Geleit

Wasser privatisieren? Wie soll das denn gehen – Wasser privatisieren? Das Wasser an sich haben große Konzerne noch nicht im Visier, aber die Leitungsnetze, aus denen wir uns heute fast ausschließlich mit Wasser versorgen, sind ein begehrtes Objekt. Die Erfahrungen der Städte, die solche Offerten angenommen haben, sind überwiegend negativ. Die Leitungsnetze sind ein sehr langlebiges Anlagevermögen. Bis man als Verbraucherin und Verbraucher merkt, dass das Wasser unterwegs in Lecks verschwindet oder seine Qualität sinkt, dauert es einige Jahre, vielleicht sogar Jahrzehnte. Ein „Geschäftsmodell“ eines privaten Wassernetzbetreibers kann darin bestehen, die Investitionen über ein Jahrzehnt drastisch zu kürzen und so bei gleich bleibenden Preisen einen fetten Gewinn zu machen. Wird der Gewinn ausgeschüttet und die Haftung begrenzt, kann das Unternehmen danach entweder mit der Begründung von Investitionen die Preise deutlich erhöhen oder das Netz an die Stadt zurückgeben und in Konkurs gehen. Die herausgewirtschafteten Gewinne sind dann schon privatisiert. Klingt nach einer Verschwörungstheorie? Leider nein, wurde so praktiziert.

Der Zugang zu sauberem Wasser muss ein Menschenrecht sein. Die Wasserversorgung ist daher kein Gut wie jedes andere. Es ist kein Zufall, dass die erste erfolgreiche europäische Bürgerinitiative sich gegen einen Zwang zur Privatisierung kommunaler Wasserversorger gewendet hat. Es mag einer Stadt oder Gemeinde freigestellt sein, sich auf das Risiko einer privaten Wasserversorgung einzulassen. Niemals sollte man aber dazu gezwungen werden. Gut, dass die EU-Kommission das eingesehen hat. Gut, dass die Stadtwerke Tübingen auch weiterhin unser Wasser liefern. Sicher, sauber und preiswert.

Oberbürgermeister Tübingen

Boris Palmer

Vorwort

Von der 58. Generalversammlung der Vereinten Nationen wurde der Zeitraum 2005 bis 2015 zur Internationalen Aktionsdekade „Wasser für das Leben“ ausgerufen, durch die sowohl die breite Öffentlichkeit als auch Entscheidungsträger für die Bedeutung des Wassers für Mensch und Umwelt sensibilisiert werden sollen. Neben dem Recht auf sauberes Trinkwasser als Menschenrecht ist Thema der Dekade auch das integrierte Wasserressourcenmanagement und damit verbunden die Reduktion der Wasserverschmutzung sowie der nachhaltige Schutz der Umwelt und der biologischen Vielfalt. Die Dekade betont somit die Bedeutung des Wassers als essenzielle Grundlage für das Leben auf der Erde sowie seinen Status als fundamentales Schutzgut.

Dem Wasser als lebensnotwendigem Bestandteil alles Lebendigen widmet sich auch das vorliegende Buch. Es basiert auf der interdisziplinären Vortragsreihe „Wasser als Quelle des Lebens“, die im Rahmen des Studium generale der Universität Tübingen im Wintersemester 2013/2014 stattfand und in der die zahlreichen Facetten des Wassers aus den Blickwinkeln der Naturwissenschaften, der Geistes- und Sozialwissenschaften sowie der Kunst beleuchtet wurden.

Den 14 Kapiteln vorangestellt ist das Gedicht „W.A.S.S.E.R.“ von Heinz Ratz, Liedermacher und Umweltaktivist, der im Rahmen seiner Schwimm- und Konzerttour „Die Lee(h)re der Flüsse“ 1000 km durch deutsche Flüsse schwamm und sich mit dieser Aktion für den Gewässerschutz und für Artenschutzprojekte einsetzte.

Im ersten Kapitel, das den Titel „H₂O: Ein Molekül mit Bedeutung für das Leben auf der Erde“ trägt, beschreiben Frank Sacher und Astrid Thoma vom TZW Karlsruhe die besonderen Eigenschaften des Wassers aus der Sicht eines Chemikers und seine Bedeutung als unverzichtbares Lebensmittel.

Der „Entwicklung des Lebens aus dem Wassers“ widmet sich Davit Vasilyan, Fachbereich Geowissenschaften der Universität Tübingen. Hier wird die Entwicklung des Lebens aus dem Urozean heraus und die damit verbundene Eroberung des Landes vor ca. 500 Mio. Jahren nachgezeichnet.

Über Wassertransportproteine in Zellen, die Aquaporine, für deren Entdeckung 2003 der Nobelpreis für Chemie vergeben wurde, berichtet Eric Beitz von der Pharmazeutischen und Medizinischen Chemie der Universität Kiel unter dem Titel „Ein Urozean im Innern des Menschen“. Der Autor beschreibt die Beteiligung dieser Wasserkanäle an grundlegenden Körperfunktionen und zeigt, wie ihre Fehlfunkti-

onen Erkrankungen verursachen können und welche Bedeutung ihnen bei der Entwicklung neuer Arzneistoffe zukommt.

Der katholische Theologe Jochen Hilberath berichtet vom „Wasser und Geist“ als Quelle des Lebens. In Religionen wird dem Wasser als lebensnotwendigem Element symbolische Bedeutung zuerkannt. Im Symbol fällt das, was augenfällig und alltäglich ist, mit dem, was die existenzielle Tiefe des Menschseins angeht, zusammen. Welche Bedeutungen dem ambivalenten Phänomen des Wassers als lebenserhaltendem und zerstörendem Phänomen zugeschrieben werden, hängt entscheidend vom biografischen, soziologischen und kulturellen Kontext ab. Der Vortrag betrachtet diese Zusammenhänge – mit Seitenblicken auf andere Religionen – aus der Perspektive des Christentums (Taufe als Wasser- und Geisttaufe) und fragt (im Sinne des französischen Philosophen Paul Ricœur), was die Symbolisierungen existenziell zu denken geben.

Mit ihrem „GLOWA Jordan River Project“, das 2013 für den Deutschen Nachhaltigkeitspreis nominiert wurde, zeigte Katja Tielbörger vom Institut für Evolution und Ökologie der Universität Tübingen, wie Wissenschaft Grenzen überwinden kann. Ihr Beitrag, der sich mit dem „Kampf ums Jordanwasser“ beschäftigt, illustriert eindrucksvoll, wie wissenschaftsbasierte Lösungen Eingang in politische Entscheidungen finden konnten und mit welchen Mitteln ein für die Region einzigartiger Dialog zwischen Wissenschaftlern und Politikern der wichtigsten Anrainerstaaten des Jordans angestoßen wurde.

Helmfried Meinel, Ministerialdirektor des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, berichtet aus Sicht der Umweltpolitik über den Schutz des Wassers als Zukunftsaufgabe des Landes Baden-Württemberg. Er beschreibt Herausforderungen und Aktivitäten des Landes für eine langfristige und nachhaltige Sicherung der Ressource Wasser.

Janina Klassen ist Professorin für Musikwissenschaft an der Hochschule für Musik Freiburg/Breisgau und widmet sich nicht nur der musikalischen Umsetzung der Geräusche und Klänge des Wassers, sondern auch komplexeren Zusammenhängen: einer neuen Dimension der Auseinandersetzung mit Wasser in Klang- und Raumkunst sowie Umweltsonifikation, in der musikalische „Wasser“-Konzepte auch mit einer ästhetischen Ökologie verbunden sind.

„Frostige Zeiten: Leben und Überleben in Eis und Schnee“ nennt Ewald Müller, Professor im Ruhestand und ehemaliger stellvertretender Leiter der Abteilung Physiologische Ökologie der Tiere der Universität Tübingen, seinen Beitrag, mit dem er Anpassungsstrategien von Organismen an Temperaturen unter dem Gefrierpunkt beleuchtet und zeigt, wie es vielen „kaltblütigen“ Tieren gelingt, selbst in der Arktis, wo im Winter die Temperatur monatelang weit unter -40°C liegen kann, zu überleben.

Kristina Köhler studierte bis 2014 Neuere Deutsche Literatur und Amerikanistik an der Eberhard Karls Universität in Tübingen. In ihrem Beitrag „Der Brunnen als Strukturelement der Identitätsgenese“ zeigt sie am Beispiel von Thomas Manns Romantetralogie *Joseph und seine Brüder*, dass der Brunnen ein Omnitopos ist, ein Alles-Ort, welcher exemplarisch aufzeigt, wie eng Wasser, Leben und Identität miteinander verwoben sind.

Michael Ronellenfitsch, ehemaliger Lehrstuhlinhaber und Professor für Öffentliches Recht und Verwaltungsrecht an der Universität Tübingen und seit 2003 Hessischer Datenschutzbeauftragter, entdeckt das Wasser und die Wasserverläufe als Markierungen und Garanten der Zivilisation: Die Spannweite reicht von Wassernutzungsansprüchen und Schutzverpflichtungen bis hin zu Fragen des Wasserwirtschaftsrechts und dem Wasserstraßenrecht in der globalen Rechtsordnung.

Die freie Schriftstellerin Oya Erdoğan geht von der Lehre des griechischen Philosophen Thales von Milet aus, wonach alles Wasser sei. Thales leitet alle Dinge davon ab und demnach ist das Wasser Quelle des Lebens und aller Dinge. Mit dieser Aussage eröffnete er vor mehr als zweieinhalbtausend Jahren den philosophischen Diskurs. Auf der Schwelle zwischen Mythos und Logos taucht Wasser als eine spannende Denkfigur auf. Das physische Wasser wie auch sein Sinnbild und Begriff erschließen Dimensionen, die das menschliche Bewusstsein und viele unserer Denkströmungen beeinflusst haben.

Das „Leben auf der Schwelle zum Licht“ beleuchtet Reinhard Gerecke, freischaffender Biologe und Mitarbeiter am Institut für Evolution und Ökologie der Universität Tübingen, indem er sich mit Quellen als Scharnierstellen zwischen zwei extrem unterschiedlichen Lebensräumen, dem im Dunkel der Gesteine liegenden Grundwasser und dem aus der Quelle entspringenden Bach beschäftigt.

Jürgen Wertheimer zeigt vor allem anhand des Romans *Moby Dick* von Hermann Melville und am Beispiel des Meeres auf, dass Wasser nicht nur Materie, sondern auch Medium großer menschlicher Projektionen zwischen Kreativität und absoluter Destruktion ist.

Im letzten Kapitel setzt sich Rita Triebkorn vom Institut für Evolution und Ökologie der Universität Tübingen mit dem „Fußabdruck des Menschen in unserem Wasser“ auseinander, der durch Stoffeinträge aus Industrie, Landwirtschaft und Privathaushalten entsteht. Es wird berichtet, wie z. B. Arzneimittel, Pflanzenschutzmittel oder Inhaltsstoffe aus z. B. Spülmitteln oder Kosmetika in den Wasserkreislauf gelangen und was getan werden kann, um diese Einträge zu reduzieren.

Das Buch versucht – dies soll der kursorische Überblick zeigen –, die Rolle des Wassers als Impulsgeber für Technologie und Wissenschaft, Kunst und Philosophie so perspektivenreich wie möglich darzustellen, um ein möglichst großes Auditorium und vor allem nicht nur die Experten miteinander ins Gespräch zu bringen.

Die Vorlesungsreihe wie auch die Publikation waren nur durch die großzügige Förderung der Stadtwerke Tübingen, der Kreissparkasse Tübingen, der Stiftung Natur und Umwelt der Landesbank Baden-Württemberg sowie des Unibundes möglich.

Isabelle Holz ist für die Organisation der Vorlesungsreihe und Tuğba Diri für die sorgfältige Redaktion des Manuskripts zu danken.

Rita Triebkorn
Jürgen Wertheimer

Inhaltsverzeichnis

1	W.A.S.S.E.R.	1
	Heinz Ratz	
2	H₂O: Ein Molekül mit Bedeutung für das Leben auf der Erde	5
	Frank Sacher und Astrid Thoma	
3	Entstehung des Lebens aus dem Wasser	17
	Davit Vasilyan	
4	Ein Urozean im Innern des Menschen	31
	Eric Beitz	
5	„Wasser und Geist“ als Quelle des Lebens	39
	Bernd Jochen Hilberath	
6	Mit Wissenschaft Grenzen überwinden – die Wasserkrise im Nahen Osten	55
	Katja Tielbörger	
7	Schutz der Ressource Wasser – Herausforderungen für eine langfristige und nachhaltige Umweltpolitik	77
	Helmfried Meinel und Markus Lehmann	
8	Fließen – Tropfen – Stille	93
	Janina Klassen	
9	Frostige Zeiten – Leben und Überleben in Eis und Schnee	109
	Ewald Müller	
10	Der Brunnen als Strukturelement der Identitätsgenese	125
	Kristina Köhler	
11	Wasser als Element zivilisatorischer Infrastruktur	139
	Michael Ronellenfitsch	
12	Wasser – Quelle der Philosophie	153
	Oya Erdoğan	
13	Quellen: Leben auf der Schwelle zum Licht	169
	Reinhard Gerecke	

14 Mythen des Meeres – Mythen des Menschen	189
Jürgen Wertheimer	
15 Der Fußabdruck des Menschen im Wasser: Spurenstoffe als Risiko für Mensch und Umwelt?	207
Rita Triebskorn	

Autoren

Eric Beitz Universität Kiel, Kiel, Deutschland

Oya Erdoğan Berlin, Deutschland

Reinhard Gerecke Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Bernd Jochen Hilberath Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Janina Klassen Hochschule für Musik, Freiburg im Breisgau, Deutschland

Kristina Köhler Hannover, Deutschland

Markus Lehmann Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg, Deutschland

Helmfried Meinel Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg, Deutschland

Ewald Müller Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Heinz Ratz Kiel, Deutschland

Michael Ronellenfitsch Wiesbaden, Deutschland

Frank Sacher DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland

Astrid Thoma DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Karlsruhe, Deutschland

Katja Tielbörger Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Rita Triebkorn Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Davit Vasilyan Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Jürgen Wertheimer Universität Tübingen, Tübingen, Deutschland

Heinz Ratz

Wer formt die Welt?
Das sind die tobenden Hungerhexen!
Sie fassen
aus blassen
verfetteten Rassen
hinein in die Massen
und lassen
die Armen nicht los!
Groß
die Reklamen,
die goldenen Namen,
Konzerne
wie Sterne
beleuchten so gerne
von Ferne
das sinkende Floß!
Es kriegen die Rinder
das Essen der Kinder.

Es trinken die Schweine
das klare und reine
Wasser, denn Tiere sind Kapital.
So ist das nunmal:
der Chef hat die Wahl,
die Wasser zu lenken
und an Kinder zu denken
oder Rinder zu tränken
in riesiger Zahl.

H. Ratz (✉)
Kiel, Deutschland
E-Mail: ratteratz@hotmail.com

Es sehnt sich nach Wasser:
ein Knabe, ein blasser,
die Lippen in nasser
Erwartung gespitzt.
Doch gibt's hier nur Gülle
in Hülle
und Fülle
und tödliche Stille,
die niemandem nützt.

Fernab sitzen Herren
auf geplätteten Ärschen,
sie sitzen und herrschen
und herrschen und sperren
und sprengen und drehen
den Wasserhahn zu.
Sie sprechen von Sparen.
Es sterben in Scharen
die Kinder, die Greise,
sie sterben so leise
auf grausame Weise
und niemand sieht zu.

Sie bräuchten nur Wasser,
denn Wasser ist Leben,
nur Wasser für jeden,
doch Wasser, na eben,
gehört den Konzernen,
den kalten, den fernen,
die bringen enorm
ihr Konto in Form.
Ihre Gier macht sie geil
und ihr Geld ist das Beil,
das das ich trennt vom Du –
und der Hahn, der bleibt zu.

Wer formt die Welt?
Das sind die tobenden Hungerhexen!
Sie fassen
aus blassen
verfetteten Rassen
hinein in die Massen
und lassen
die Armen nicht los!
Groß
die Reklamen,
die goldenen Namen,
Konzerne wie Sterne
beleuchten so gerne
von Ferne
das sinkende Floß!

Aus dem Schoß unsrer Erde
fließt das ewige Werde:
die hellen
und schnellen
Wellen
der Quellen,
das schwirrende,
irrende,
flirrende,
zischende,
wischende,
alles erfrischende,
sich lustig vermischende,
sinnlich spendende,
fröhlich verschwendende,
niemals endende ...

... ohne Wasser ist Leben ganz chancenlos.

Frank Sacher und Astrid Thoma

2.1 Einleitung

Wasser ist eine elementare Ressource, ohne die das Leben auf unserem Planeten nicht möglich wäre [11]. Aufgrund seiner Molekülstruktur besitzt Wasser eine Reihe von Eigenschaften, die es zu einem besonderen Stoff machen und die für viele Vorgänge auf der Erde von entscheidender Bedeutung sind. So ist Wasser die einzige Verbindung, die auf der Erde in allen drei Aggregatzuständen vorkommt: als festes Eis, als flüssiges Wasser und als gasförmiger Wasserdampf. Wasser ist aufgrund seines Dipol-Charakters ein exzellentes Lösemittel für Salze und es besitzt eine hohe Wärmekapazität sowie eine hohe Verdampfungsenthalpie.

Im Gegensatz zu vielen anderen Ressourcen, die für unser tägliches Leben ebenfalls unentbehrlich geworden sind, wird Wasser bei seiner Nutzung nicht verbraucht, sondern nur gebraucht. Durch seine Verwendung wird Wasser nicht in seiner Menge verringert, wie dies beim Verbrennen von Erdöl oder Erdgas der Fall ist, allerdings in seiner Qualität beeinträchtigt. Nach seiner Nutzung wird das gebrauchte Wasser dem Wasserkreislauf wieder zugeführt und steht nach Aufreinigung für eine erneute Nutzung zur Verfügung. Trotzdem ist die Menge an Wasser, die für unser tägliches Leben zur Verfügung steht, begrenzt und in vielen Teilen unserer Erde sogar knapp.

F. Sacher (✉) · A. Thoma
DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, Deutschland
E-Mail: sacher@tzw.de

A. Thoma
E-Mail: astrid.thoma@tzw.de

2.2 Wasserdargebot und Wassernutzung in Deutschland

Das Wasserdargebot auf unserem blauen Planeten ist mit etwa 1,4 Mrd. km³ nahezu unvorstellbar groß, doch sind hiervon nur etwa 3,5 % Süßwasser. Der überwiegende Teil der globalen Wasservorkommen entzieht sich aufgrund seines hohen Salzgehaltes einer direkten Nutzung [23]. Von 48 Mio. km³ Süßwasser auf der Erde sind wiederum mehr als zwei Drittel im Eis der Polkappen und Gletscher festgelegt und stehen daher ebenfalls nicht als Trink- oder Brauchwasser zur Verfügung. Der verbleibende Rest des Süßwassers liegt überwiegend als Grundwasser vor, während der Anteil der Fließgewässer und Binnenseen weniger als 0,5 % beträgt [23]. Dies führt dazu, dass zwar der größte Teil der Erdoberfläche von Wasser bedeckt ist, aber das Wasserdargebot in vielen Teilen der Welt nicht ausreicht, um die von der Bevölkerung benötigten Wassermengen jederzeit in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung zu stellen.

Nur ein vergleichsweise geringer Teil des weltweit benötigten Wassers wird in privaten Haushalten als reines Trinkwasser, für die Zubereitung von Speisen oder für die tägliche Hygiene genutzt. Wie anhand der Angaben in Tab. 2.1 zu erkennen ist, gehen große Teile des entnommenen Wassers in die Landwirtschaft und die Industrie, wobei die jeweiligen Anteile zumeist eng mit dem Industrialisierungsgrad der jeweiligen Region verknüpft sind [9].

Bei genauerer Betrachtung der Zahlen in Tab. 2.1 zeigt sich, dass insbesondere in den derzeit noch weniger industrialisierten Erdteilen wie Afrika oder Asien der Anteil des Wassers, das in der Landwirtschaft genutzt wird, mit über 80 % sehr hoch ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass neben dem hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen in diesen Erdteilen auch die klimatischen Bedingungen, die eine vergleichsweise intensive Bewässerung notwendig machen, zum hohen Wasserver-

Tab. 2.1 Wasserdargebot und Wasserressourcen weltweit, ca. 2006. (Quelle: [9])

Region	Erneuerbare Süßwasserressourcen km ³ Jahr ⁻¹	Gesamte Wasserentnahme km ³ Jahr ⁻¹ %		Anteil der Sektoren		
				Landwirtschaft %	Industrie %	Haushalt %
Afrika	3931	202	5,4	81,8	5,1	13,1
Asien	11.865	2.373	21,1	81,2	9,7	9,1
Europa	6578	332	5,1	21,9	56,5	21,6
Mittelamerika und Karibik	781	31	4,0	64,5	12,9	22,6
Nordamerika	6.077	602	9,9	42,9	43,0	14,2
Südamerika	12.246	194	1,6	67,0	11,3	21,6
Ozeanien	892	18	2,0	61,1	16,7	27,8
Welt	42.370	3.752	9,2	69,3	18,7	12,0

brauch in der Landwirtschaft beitragen. In Nordamerika oder Europa gehen nur 43 bzw. 22 % des entnommenen Wassers in die Landwirtschaft und etwa 50 % werden für industrielle Zwecke genutzt. In nahezu allen Regionen der Erde liegt der Bedarf der privaten Haushalte an der Gesamtentnahme unter 25 %.

Die Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (DSW) hat 2013 Zahlenmaterial veröffentlicht, wonach im Jahr 2010 etwa 23 % der Weltbevölkerung unter Wasserknappheit und 6 % sogar unter Wassermangel gelitten haben [5]. Für 2050 wird prognostiziert, dass der Anteil der Weltbevölkerung, der unter Wasserknappheit leidet, weiterhin konstant bei 22 % liegen und der Anteil, der an Wassermangel leidet, auf 23 % ansteigen wird. Nur noch 55 % aller Menschen, d. h. weniger als zwei Drittel der Weltbevölkerung, hätten nach dieser Vorhersage im Jahr 2050 Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung. Die starke Zunahme der Zahl der Menschen, die an Wasserknappheit oder Wassermangel leiden, ist zum einen der rasanten Zunahme der Bevölkerungszahlen geschuldet, die auch bei einem stetigen Ausbau der Wasserversorgung nicht in ausreichendem Maße kompensiert werden kann. Darüber hinaus werden aber auch Süßwasservorkommen, die heute zur Versorgung der Bevölkerung genutzt werden, zukünftig nicht mehr in derselben Menge und derselben Qualität zur Verfügung stehen. Die zunehmende Industrialisierung und die damit verbundenen Verschmutzungen der natürlichen Ressourcen tragen zu dieser Entwicklung ebenso bei wie der Klimawandel. Von dieser Entwicklung werden vor allem Regionen in Afrika und Asien betroffen sein, aber auch in Europa gibt es bereits heute Gebiete, in denen die verfügbaren Süßwasserressourcen nicht ausreichen, um den Bedarf zu decken [8, 24]. Zypern oder der südliche Teil von Spanien sind prominente Beispiele für Gebiete in Europa, die bereits heute zumindest zeitweise unter Wasserknappheit zu leiden haben.

Deutschland ist ein wasserreiches Land und Trinkwasser steht jederzeit in ausreichender Quantität und guter Qualität zur Verfügung. Das gesamte Wasserdargebot in Deutschland beträgt im langjährigen Mittel 188 Mrd. m³. Im Jahr 2010 wurden davon etwa 18 %, d. h. 33,1 Mrd. m³, entnommen und über 80 % blieben ungenutzt [1]. Der größte Teil des entnommenen Wassers wird für die Energieversorgung und industrielle Zwecke, die zur sogenannten nichtöffentlichen Wasserversorgung zählen, verwendet. Nur ein geringer Anteil (ca. 15 % bezogen auf die Gesamtwasserentnahme) entfällt auf die öffentliche Wasserversorgung [18, 20].

In Deutschland ist die jährliche Wasserförderung schon seit einigen Jahren rückläufig. Wurden durch die öffentliche Wasserversorgung im Jahr 1990 noch nahezu 6,8 Mrd. m³ Wasser gefördert, waren es 2009 nur noch ca. 5 Mrd. m³ [1]. Dieser Rückgang der Wasserförderung von über 26 % geht einher mit einer stetigen Abnahme des personenbezogenen Wasserverbrauchs, sowohl als Folge eines bewussteren Umgangs mit der Ressource Wasser durch den Verbraucher als auch durch die Einführung von neuen wasser sparenden Technologien in vielen Haushalten. Im Jahr 1991 wurden in Deutschland noch 144 L je Einwohner und Tag verbraucht, 2013 waren es nur noch 120 L je Einwohner und Tag [1, 2]. Im Vergleich mit dem personenbezogenen Wasserverbrauch in anderen europäischen Ländern liegt Deutschland damit im Mittelfeld. In den baltischen Staaten beispielsweise ist seit Anfang der 1990er Jahre ein deutlicher Rückgang des Wasserverbrauchs zu verzeichnen.

Als Folge wurden 2011 nur noch etwa 72 L je Einwohner und Tag verbraucht [6]. In Portugal, Ungarn oder Finnland liegt der tägliche Wasserverbrauch mit über 150 L je Einwohner dagegen deutlich höher [7].

Der Rückgang des personenbezogenen Wasserverbrauchs, der durch den Rückgang der Bevölkerungszahlen in Deutschland in seiner Wirkung noch verstärkt wird, hat nicht nur positive Folgen. Durch den geringeren Wasserverbrauch kommt es zu längeren Aufenthaltszeiten des Trinkwassers in den Versorgungsleitungen (geringere Fließzeiten, längere Stagnationszeiten) [26]. Dies fördert zum einen das mikrobielle Wachstum, was sich in einer Erhöhung der Keimzahlen (Aufkeimung) und damit in einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für mikrobielle Belastungen im Trinkwasser auswirkt. Darüber hinaus kann es durch die längeren Aufenthaltszeiten zu einer erhöhten Bildung von Ablagerungen in den Versorgungsleitungen und damit zu einer Zunahme des Risikos für eine Rostwasserbildung kommen. Durch eine regelmäßige und bedarfsgerechte Spülung ihrer Versorgungsleitungen können Wasserversorgungsunternehmen diesen negativen Auswirkungen des Rückgangs des Wasserverbrauchs in ihren Versorgungsgebieten begegnen [26].

Eine weitere, für den Verbraucher meist nur schwer nachzuvollziehende Folge des Rückgangs des Wasserverbrauchs ist das Ansteigen des Wasserpreises. Förderung, Aufbereitung und Verteilung von Wasser sind zu großen Teilen durch Fixkosten geprägt, die weitgehend unabhängig von der verteilten Wassermenge sind. Einsparungen durch einen verringerten Wasserverbrauch heben sich so für viele Verbraucher durch einen Anstieg des mengenbezogenen Wasserpreises (in Euro pro m^3) auf, sodass sich die Ausgaben für Trinkwasser in vielen Familien seit Jahren auf konstantem Niveau bewegen.

Von den 120 L, die jeder Einwohner in Deutschland derzeit im statistischen Mittel jeden Tag verbraucht, wird nur ein sehr geringer Teil als Trinkwasser im eigentlichen Sinne, d. h. zum Trinken oder für die Zubereitung von Nahrung, verwendet. Der überwiegende Anteil wird zur Reinigung von Körper, Wäsche, Geschirr oder anderen Gegenständen genutzt (Tab. 2.2) [2].

Tab. 2.2 Verwendung von Trinkwasser in Deutschland, 2013. (Quelle: [2])

Verwendung	Anteil (%)	Menge pro Tag (L)
Baden, Duschen, Körperpflege	36	43
Toilettenspülung	27	33
Wäschewaschen	12	14
Raumreinigung, Autopflege, Garten	6	7
Geschirrspülen	6	7
Essen und Trinken	4	5
Kleingewerbeanteil	9	11
Gesamt	100	120

2.3 Trinkwasserversorgung in Deutschland

Die Trinkwasserversorgung in Deutschland ist durch eine große Anzahl verhältnismäßig kleiner Wasserversorgungsunternehmen gekennzeichnet, die überwiegend in kommunaler Hand sind. Für das Jahr 2010 verzeichnete das Statistische Bundesamt 6.065 Wasserversorgungsunternehmen [18], darunter 4.663 Unternehmen mit Wassergewinnung, die insgesamt 16.751 Wassergewinnungsanlagen betreiben [18, 19].

Für die Gewinnung von Trinkwasser werden in Deutschland verschiedene Arten von Rohwässern genutzt (siehe Tab. 2.3). Mehr als 60 % des Trinkwassers wird aus Grundwasser gewonnen. Dieses Grundwasser kommt häufig aus großen Tiefen, ist gut vor negativen Einflüssen geschützt und weist damit i. d. R. bereits eine hohe Qualität auf. Etwa 13 % des Rohwassers für die Trinkwassergewinnung werden aus Flüssen, Seen und Talsperren sowie weitere 8 % aus Quellen entnommen. Talsperren sind insbesondere in Nordrhein-Westfalen und in den östlichen Bundesländern häufig als Rohwasserspeicher für die Trinkwasserversorgung anzutreffen [18]. Mit zusammen 17 % besitzen auch das sogenannte Uferfiltrat und das angereicherte Grundwasser noch einen nennenswerten Anteil. Die Uferfiltration und die künstliche Grundwasseranreicherung werden in Deutschland, vor allem am Niederrhein, an der Ruhr und der oberen Elbe, schon seit mehr als 100 Jahren zur Trinkwassergewinnung herangezogen [16]. Bei der Uferfiltration wird das Wasser nicht direkt aus der fließenden Welle eines Flusses entnommen, sondern aus Brunnen, die sich in einigem Abstand vom Fließgewässer befinden. Die Vorteile gegenüber einer Direktentnahme aus Fließgewässern liegen i. d. R. in einer weitgehend gleichmäßigen Rohwasserbeschaffenheit und einer natürlichen Vorreinigung durch die Bodenpassage, in der partikuläre Bestandteile, Keime und leicht abbaubare organische Wasserinhaltsstoffe entfernt werden [3, 15]. Gleichzeitig stellt die Uferfiltration einen wirksamen Schutz vor Stoßbelastungen, wie sie in Flüssen beispielsweise bei Unfällen prinzipiell immer auftreten können, dar [16]. Auch bei der künstlichen Grundwasseranreicherung, bei der Flusswasser in den Untergrund versickert wird, um es dann aus nahegelegenen Brunnen wieder für die Trinkwassergewinnung zu fördern, macht man sich die positiven Wirkungen einer Bodenpassage zu Nutze.

Es ist eines der Grundprinzipien der Trinkwasserversorgung in Deutschland, dass die Qualität des an die Verbraucher gelieferten Trinkwassers durch mehrere sich ergänzende Maßnahmen gesichert wird. Wesentliche Elemente dieses mehr-

Tab. 2.3 Rohwasser für die Trinkwassergewinnung in Deutschland, 2010. (Quelle: [18])

Wasserart	Anteil (%)	Wassermenge in Millionen m ³
Grundwasser	61,1	3.014
Quellwasser	8,5	431
Uferfiltrat und angereichertes Grundwasser	17,0	863
Fluss-, Seen- und Talsperrenwasser	13,4	682
Gesamt	100	5.080

stufigen Sicherheitssystem (Multi-Barrieren-System) sind dabei der Schutz des Einzugsgebietes und des Rohwassers, eine für die jeweiligen Anforderungen maßgeschneiderte Aufbereitung sowie eine zuverlässige Verteilung des aufbereiteten Wassers, die auch die Überwachung und Pflege des Verteilungsnetzes einschließt. Gängige Aufbereitungstechnologien, die in den Wasserwerken abhängig von der Beschaffenheit des Rohwassers und dem jeweiligen Aufbereitungsziel Einsatz finden, sind:

- Belüftung
- Enteisenung/Entmanganung
- Partikelentfernung
- Adsorption
- Oxidation mit Ozon
- Enthärtung
- Desinfektion.

Dabei spielen die Belüftung und die Entfernung von Eisen und Mangan vor allem bei der Aufbereitung von Grundwasser eine große Rolle. Auch die Enthärtung ist vor allem dort ein Thema, wo Grundwasser, das i. d. R. eine größere Härte als Oberflächenwasser aufweist, zur Trinkwassergewinnung genutzt wird. Die Partikelentfernung, die auch bei potenziell mikrobiologisch belasteten Wässern zum Einsatz kommen kann, findet sich dagegen vor allem in solchen Wasserwerken, die Oberflächenwasser (Talsperrenwasser, Quellwasser, Flusswasser) aufbereiten. Weitergehende Aufbereitungsverfahren, wie die Adsorption an Aktivkohle oder die Oxidation mit Ozon, werden ebenfalls bevorzugt bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser oder Uferfiltrat eingesetzt. Bei der Aufbereitung von Grundwasser kommen diese Verfahren zum Einsatz, wenn spezielle Fragestellungen vorliegen, beispielsweise wenn Rückstände von Pflanzenschutzmitteln (Pestiziden) entfernt werden müssen. Die Desinfektion schließlich wird in vielen Fällen nach Abschluss der Aufbereitung zur Gewährleistung der mikrobiologischen Sicherheit des Trinkwassers eingesetzt. In Deutschland dürfen für die Desinfektion nur Stoffe und Verfahren eingesetzt werden, die in der regelmäßig überarbeiteten und aktualisierten Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung aufgeführt sind [25]. Dabei hat sich vor allem Chlor als sicheres, zuverlässiges und kostengünstiges Desinfektionsmittel über viele Jahre bewährt. In den letzten Jahren wird auch vermehrt Chlordioxid oder eine Kombination aus Chlor und Chlordioxid zur Desinfektion eines Wassers eingesetzt. Auch Ozon kann für diesen Zweck angewendet werden. Aufgrund seiner hohen Oxidationswirkung kommt es bei der Verwendung von Ozon aber häufig zu Reaktionen mit anorganischen oder organischen Wasserinhaltsstoffen und zu einer Bildung von unerwünschten Nebenprodukten, die beispielsweise auch die Verkeimung im Verteilungsnetz begünstigen können [25]. Aus diesem Grund wird in Deutschland eine Ozonung i. d. R. nicht als abschließender Aufbereitungsschritt eingesetzt. Zunehmend gewinnt auch die UV-Desinfektion an Bedeutung, die eine interessante Alternative zu den chemischen Desinfektionsmitteln darstellt. Ein großer Vorteil der UV-Desinfektion ist, dass

beim Einsatz dieser Technologie keine Nebenprodukte entstehen. Allerdings besitzt die UV-Bestrahlung im Gegensatz zu den chemischen Desinfektionsmitteln keine Depotwirkung, d. h., sie ist nur an ihrem direkten Einsatzort wirksam, nicht aber im Verteilungsnetz. Bei mikrobiologisch stabilen Trinkwässern stellt dieser Umstand jedoch keine größere Einschränkung dar.

Die Qualität des Trinkwassers wird in Deutschland durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) geregelt [22] und durch staatliche Behörden, häufig Gesundheitsämter, überwacht. Die TrinkwV enthält dabei sowohl Anforderungen allgemeiner Art („Wasser für den menschlichen Gebrauch muss frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein.“) als auch spezifische Anforderungen hinsichtlich der mikrobiologischen und chemischen Qualität des Trinkwassers. Diese Anforderungen sind durch Grenzwerte für einzelne Parameter unterlegt. Dabei sind die Grenzwerte, die der Gesetzgeber für das Trinkwasser vorsieht, häufig sehr viel niedriger als für viele andere Lebensmittel, sodass das Trinkwasser nicht zu Unrecht als das „bestüberwachte Lebensmittel“ bezeichnet wird.

Allerdings ist auch das Trinkwasser in Deutschland nicht überall völlig frei von Verunreinigungen. Bedingt durch den unvermeidbaren Konflikt verschiedener Nutzungen, beispielsweise an den großen Flüssen und Seen, die Verkehrsweg, Vorfluter für Abwassereinleitungen, aber eben auch Rohwasserquelle für die Trinkwasserversorgung sind, lässt sich das Auftreten von anthropogenen, d. h. durch den Menschen verursachten Verunreinigungen nicht völlig ausschließen. Die deutschen Wasserversorgungsunternehmen sind stets bemüht, durch entsprechende Forderungen und Maßnahmen zum Schutz ihrer Einzugsgebiete die Qualität ihres Rohwassers so hoch wie möglich zu halten [10]. Durch geeignete Aufbereitungsmaßnahmen im Wasserwerk sind sie meist in der Lage, mikrobiologische oder chemische Verunreinigungen des Rohwassers zurückzuhalten oder zu entfernen und eine hohe Trinkwasserqualität zu gewährleisten. Dennoch kommt es immer wieder zu Meldungen in Presse und Fernsehen, in denen über besorgniserregende Trinkwasserverunreinigungen und Gefährdungen der Gesundheit der Verbraucher berichtet wird. Beispiele aus jüngster Zeit sind der „PFT-Skandal“ in Nordrhein-Westfalen, der Nachweis erhöhter Urangelhalte in zahlreichen Trinkwasserproben oder das Vorkommen von Arzneimittelrückständen in den Trinkwässern deutscher Großstädte. Obwohl viele dieser Medienberichte i. d. R. nicht einer gewissen Grundlage entbehren, sind sie aus fachlicher Sicht häufig ungenau und in einzelnen Fällen sogar falsch. So wird oftmals nicht klar unterschieden zwischen dem Auftreten einer Verunreinigung im Abwasser oder einem Flusswasser und ihrem Nachweis im Trinkwasser. Darüber hinaus treten viele dieser Verunreinigungen in extrem niedrigen Konzentrationen auf. Erst durch die Verfügbarkeit neuer und empfindlicherer Analysegeräte und die Verbesserung analytischer Nachweisverfahren wurde es in den letzten Jahren möglich, sogenannte Spurenstoffe oder Mikroverunreinigungen wie Arzneimittelrückstände oder perfluorierte Verbindungen (PFT) im Wasserkreislauf überhaupt nachzuweisen [13]. Dabei sagt der alleinige Nachweis eines Stoffes im Trinkwasser nur wenig über seine Relevanz aus. Erst durch eine toxikologische Risikobetrachtung, bei der die im Trinkwasser auftretenden Gehalte mit den Konzentrationen verglichen werden, bei denen schädliche Auswirkungen auf den Menschen nicht

ausgeschlossen werden können, kann das Vorkommen eines Stoffes im Trinkwasser fachlich korrekt bewertet werden. In Deutschland werden solche Bewertungen i. d. R. durch das Umweltbundesamt vorgenommen [21]. Im Folgenden soll anhand des aktuellen Beispiels des Vorkommens von Arzneimittelrückständen im Wasserkreislauf der derzeitige Sachstand zusammengefasst und die Vorgehensweise zur Beurteilung von Spurenstoffen im Trinkwasser aufgezeigt werden.

2.4 Arzneimittelrückstände im Trinkwasser?

Meldungen und Berichte in Presse und Fernsehen haben dazu geführt, dass das Vorkommen von Arzneimittelrückständen in der Umwelt und vermeintlich auch im Trinkwasser in den letzten Jahren immer wieder in das Blickfeld der Öffentlichkeit getreten ist. In Deutschland sind etwa 3.000 verschiedene Arzneimittelwirkstoffe in über 9.000 Präparaten erhältlich [12]. Für die wichtigsten dieser Wirkstoffe betragen die jährlichen Verschreibungsmengen über 100 t a^{-1} . Durch Ausscheidung nach bestimmungsgemäßem Gebrauch, aber auch durch die Entsorgung nicht eingenommener Arzneimittel oder durch produktionsbedingte Einleitungen gelangen die Wirkstoffe in das Abwasser und in die Kläranlagen, von wo sie im Fall einer unvollständigen Elimination in die Gewässer eingetragen werden [12]. Auch die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft muss als möglicher Eintragspfad von Arzneimitteln in die Umwelt betrachtet werden.

Mit dem heute in einem modernen Wasserlaboratorium zur Verfügung stehenden analytischen Instrumentarium können Arzneimittelrückstände in wässrigen Proben bis zu Konzentrationen von wenigen ng L^{-1} (Milliardstel Gramm je Liter) nachgewiesen werden. Tabelle 2.4 gibt Beispiele für Klassen von Arzneimittelwirkstoffen, die heute mittels moderner analytischer Verfahren wie GC-MS oder HPLC-ESI-MS-MS im Wasserkreislauf nachgewiesen werden können.

Bereits seit Anfang der 1990er Jahre ist bekannt, dass Rückstände von Arzneimitteln in die aquatische Umwelt gelangen können. Wurde der Lipidsenker Clofibrinsäure im Berliner Grundwasser noch eher zufällig nachgewiesen [17], haben nachfolgende systematische Messprogramme gezeigt, dass Schmerzmittel, Beta-

Tab. 2.4 Arzneimittelwirkstoffe, die derzeit im Wasserkreislauf analytisch nachweisbar sind

Schmerzmittel	Fieber senkende Mittel
Entzündungshemmende Mittel	Lipidsenker
Betablocker	Broncholytika
Antiepileptika	Durchblutungsfördernde Mittel
Psychopharmaka	Zytostatika
Antibiotika (Makrolide, Sulfonamide, Penicilline, Tetracycline, Fluorchinolone, Cephalosporine, ...)	Röntgenkontrastmittel
Antidiabetika	

blocker, Lipidsenker, Antiepileptika, Antidiabetika, iodierter Röntgenkontrastmittel und Antibiotika in Zu- und Abläufen von kommunalen Kläranlagen ebenso häufig auftreten wie in vielen Oberflächengewässern, in die kommunale Kläranlagen einleiten. Auch in manchen Grundwässern lassen sich Spuren an Arzneimittelrückständen nachweisen. Eine genaue Betrachtung der Daten zeigt, dass Arzneimittelbefunde im Grundwasser in aller Regel auf Abwassereinflüsse (undichte Abwasserleitungen, Abwassersammler, ...) zurückzuführen sind und nicht durch landwirtschaftliche Aktivitäten, etwa die Ausbringung von Gülle oder Klärschlamm, verursacht werden [12].

Viele Arzneimittelrückstände, die in Oberflächengewässern oder Grundwässern nachgewiesen werden, lassen sich mit üblichen Verfahren der Trinkwasseraufbereitung sehr effektiv entfernen [12]. Bereits bei der Langsandsfiltration oder der Uferpassage, die häufig die erste Stufe bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser darstellt, kommt es durch mikrobielle Abbauvorgänge zu einer vollständigen Elimination zahlreicher Stoffe. Aus diesem Grund sind beispielsweise im Rohwasser der Uferfiltratwasserwerke am Rhein viele Arzneimittelrückstände, die im Rhein selbst nachgewiesen werden, nicht mehr zu finden. Prominente Ausnahmen, die als mikrobiell nicht leicht abbaubar eingestuft werden müssen, sind das Antiepileptikum Carbamazepin, das Antibiotikum Sulfamethoxazol und die meisten der iodierten Röntgenkontrastmittel. Auch durch eine Ozonung ist in vielen Fällen eine vollständige Entfernung oder zumindest eine deutliche Reduzierung der Gehalte an Arzneimittelrückständen möglich. So wird beispielsweise Carbamazepin bereits durch geringe Dosen an Ozon innerhalb sehr kurzer Zeit oxidiert. Allerdings ist über die bei der Ozonung entstehenden Reaktionsprodukte häufig nichts oder nur wenig bekannt. Eine Aktivkohlefiltration kann in vielen Fällen ebenfalls für die Entfernung der unerwünschten Stoffe eingesetzt werden.

Es stehen i. d. R. mehrere Aufbereitungsverfahren zur Verfügung, um Rückstände von Arzneimitteln in ihrer Konzentration zu reduzieren oder aus dem Rohwasser zu entfernen. Dennoch kann es auch bei einer funktionierenden Aufbereitung dazu kommen, dass Spuren dieser Stoffe in das Trinkwasser gelangen. Bei der Beurteilung des Auftretens von Arzneimittelrückständen im Trinkwasser sind unterschiedliche Aspekte zu betrachten [4]. Zunächst ist festzuhalten, dass Arzneimittelrückstände durch die Trinkwasserverordnung nicht explizit geregelt sind, d. h., es gibt keine eigenen Grenzwerte für einzelne Wirkstoffe oder Klassen von Wirkstoffen. Daher sollte bei der Beurteilung des Auftretens von Arzneimittelrückständen im Trinkwasser zunächst ihre toxikologische Relevanz beleuchtet werden. Für eine einfache Betrachtung können die Tagesdosen, die üblicherweise bei einem einzelnen Wirkstoff verabreicht werden, mit den im Trinkwasser gemessenen Einzelstoffkonzentrationen verglichen werden. Es zeigt sich, dass in den allermeisten Fällen mehr als ein Faktor 10.000 zwischen den niedrigsten therapeutischen Dosen und den höchsten, in Einzelfällen gemessenen Trinkwasserkonzentrationen liegt. Allein aus dieser einfachen Betrachtung folgt, dass bei den in einzelnen Trinkwässern nachgewiesenen Konzentrationen an Arzneimittelrückständen keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu befürchten ist. Auch tiefer gehende wissenschaftliche Studien, bei denen mögliche Effekte von Mischungen verschiedener Arzneimittel-