

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 Sicherheitssysteme (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-

rückstände (und Mischungen mit anderen Chemikalien) ebenso berücksichtigt wurden wie Langzeiteffekte, konnten bislang keine Hinweise auf eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Arzneimittelrückstände im Trinkwasser erkennen.

Dabei sind die Arzneimittel jedoch bei der fachlichen Diskussion eindeutig abzugrenzen von den hormonell wirksamen Stoffen. Hormonell wirksame Verbindungen (EDC, engl. *Endocrine Disrupting Chemicals*) sind Stoffe, die das hormonelle System von Lebewesen beeinflussen, indem sie Hormone ersetzen oder nachahmen oder aber Hormone in ihrer Wirkung verstärken, hemmen oder blockieren. Mögliche negative Folgen dieser hormonellen Wirkungen sind Reproduktions- oder Entwicklungsstörungen. Hormonell wirksame Stoffe können durchaus Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben und für einige der Stoffe wurden in wissenschaftlichen Studien diese negativen Wirkungen auf aquatische Lebensformen (Fische, Schnecken) bereits bei sehr niedrigen Konzentrationen festgestellt. Arzneimittelwirkstoffe wie Schmerzmittel, Lipidsenker oder iodierte Röntgenkontrastmittel besitzen allerdings keine hormonelle Wirkung und sind daher bezüglich ihrer Wirkungen auch getrennt zu beurteilen. Hormonell wirksame Stoffe wie Ethinyl-estradiol, der Wirkstoff der Antibabypille, oder Bisphenol A und iso-Nonylphenol, die Bestandteile vieler Kunststoffe sind, werden bei der Trinkwasseraufbereitung allerdings gut entfernt, sodass nach derzeitigem Kenntnisstand keine Belastung von Trinkwässern mit hormonell wirksamen Stoffen vorliegt.

Das Umweltbundesamt empfiehlt in seinem Papier „Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht“ für nicht gentoxische Stoffe einen gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) von $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ [21]. Bei Einhaltung des GOW sollte auch bei lebenslanger Aufnahme keine toxische Wirkung von dem Trinkwasser ausgehen. Dieser Ansatz ist auf Arzneimittelrückstände übertragbar [4]. In aller Regel liegen die in Einzelfällen im Trinkwasser nachweisbaren Konzentrationen an Arzneimittelrückständen weit unterhalb des Wertes von $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$.

Neben dem Aspekt der Gesundheitsgefährdung ist bei der Beurteilung des Vorkommens von Arzneimittelrückständen im Trinkwasser allerdings immer auch die Sicht des Verbrauchers zu berücksichtigen. Trinkwasser hat in der Bevölkerung zu Recht einen hohen Stellenwert und seine Qualität soll nach Meinung vieler Verbraucher nicht durch naturfremde Stoffe beeinträchtigt sein. Daher lehnen zahlreiche Konsumenten das Vorkommen von naturfremden Stoffen aus ästhetischen Gesichtspunkten ab – ungeachtet jedweder toxikologischer Relevanz. Auch dieser Sichtweise muss ein Wasserversorger Rechnung tragen.

Mögliche Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Gewässerbelastung mit Arzneimittelrückständen führen und daher von den Wasserversorgern mit Nachdruck gefordert werden, sind:

- die vermehrte Verwendung „umweltfreundlicher“ Wirkstoffe, die weniger persistent sind und daher in der Kläranlage und in der Umwelt besser entfernt werden,
- die Entfernung der Stoffe an der Quelle,
- die Reduzierung der produktionsbedingten Einleitungen,



<http://www.springer.com/978-3-662-46267-6>

Wasser als Quelle des Lebens

Eine multidisziplinäre Annäherung

Triebskorn, R.; Wertheimer, J. (Hrsg.)

2016, XIII, 223 S. 51 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-662-46267-6