



# Beiträge der Chemie zur Wasserversorgung der Zukunft aus Sicht der Forschungs- und Technologiepolitik

## Kurzfassung

„Wasser“ ist ein wichtiges Thema in politischen Diskussionen und Maßnahmen, heute und insbesondere mit Blick auf die Zukunft. Wasser ist eine unverzichtbare natürliche Ressource. Auch wenn sich mit technischen Maßnahmen und technologischem Fortschritt nicht alle mit der adäquaten Versorgung mit Wasser verbundenen Herausforderungen lösen lassen, so kommt ihnen doch eine große Rolle zu. Dabei werden **die Beiträge der Chemie zur Wasserversorgung der Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen**, um die hier drängenden Probleme lösen zu können. Allerdings sind Innovationen aus der Chemie im Anwendungsfeld „Wasser“, das heißt in der Wasserversorgung, -aufbereitung und -nutzung, oft nicht direkt sichtbar, da die Materialinnovationen der Chemie in Systemlösungen integriert sind. Diese grundlegenden Fortschritte am Material sind aber unverzichtbar, da sie verbesserte Produkte und Systeme zur Wasser- und Abwasserbehandlung erst ermöglichen.

Allerdings nimmt die Verfügbarkeit der Ressource Wasser trotz ihrer großen Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung unseres Planeten für Haushalte, für die Landwirtschaft und die Industrie bereits heute schon in vielen Gebieten der Welt stetig ab, das zu erwartende Bevölkerungswachstum wird die Nachfrage nach sauberem Wasser weiter in die Höhe treiben. Bis 2050 wird ein Anstieg der landwirtschaftlichen Produktion um 70 % im Vergleich zu heute erwartet, die ohne Bewässerung nicht möglich sein wird. Erschwerend hinzu kommen teilweise erhebliche Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung aufgrund von Veränderungen im Klimageschehen. Die hieraus abzuleitenden Forderungen nach einer **Begrenzung des Wassergebrauchs im industriellen Sektor hat die Chemieindustrie bereits aufgegriffen**. Ihre Unternehmen setzen mit ihren Nachhaltigkeitszielen zur Wassernutzung Standards für den effizienten und nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser. Denn Wasser ist für die chemische Produktion seit langem genauso so wichtig und wertvoll wie die eingesetzten Rohstoffe oder die verbrauchte Energie. Die Industrie generell und die Chemieindustrie im Besonderen haben in den vergangenen Jahrzehnten in Deutschland ihren spezifischen Wasserverbrauch deutlich gesenkt: Der gesamte Wasserverbrauch blieb trotz einer Produktionssteigerung um über 30 % konstant und damit auf einem Niveau, das sich kaum mehr verbessern lässt – **heute wird durch Mehrfachnutzung jeder Liter Wasser fast sechs Mal genutzt**.

Wasser hat neben seiner globalen Bedeutung eine bedeutende lokale Charakteristik mit nationalen Verordnungen und regionalen Vorgaben zu Wasser-Grenzwerten, die von den industriellen Nutzern einzuhalten sind. Daraus ergibt sich die **Notwendigkeit eines auf globale wie lokale Anforderungen angepassten Wassermanagements der Unternehmen**. Die unterschiedlichen regionalen Bedürfnisse an die Wasserversorgung erfordern eine Kombination aus methodischem und fachlichem

Know-how sowie eine maßgeschneiderte Prozesstechnik. Durch die enge Verzahnung von Produktion und Wassertechnik sind integrative Technologien und Managementsysteme notwendig. Die daraus resultierende integrierte Industrie-Wasserwirtschaft verringert die Abhängigkeit der Produktionsprozesse von externen Wasser-, Rohstoff- und Energieressourcen sowie von regulativen Rahmenbedingungen. So werden von der Chemieindustrie in Deutschland gemeinsam mit den Partnerindustrien in der „Wertschöpfungskette Wasser“ grundlegende Technologien für eine effiziente Wassernutzung in Industrieanlagen beispielsweise nach dem „Zero“- oder „Minimized liquid discharge“-Prinzip entwickelt, erprobt und eingesetzt, die sich als Blaupause für den Technologieexport an die jeweiligen lokalen Erfordernisse von Produktionsstandorten anpassen lassen. Die weltweite Tendenz zur Orientierung an europäischen Gesetzgebungs- und Umsetzungsstrategien zieht weltweit eine Nachrüstung an effizienten Wassernutzungs- und -aufbereitungstechnologien nach sich und birgt damit **Chancen zum Spitzentechnologieexport**. Die ProcessNet-Fachgruppe „Produktionsintegrierte Wasser- und Abwassertechnik“ hat Trends und Perspektiven in der industriellen Wassertechnik für 2030 aufgezeigt, Entwicklungsziele, Herausforderungen und Handlungsfelder definiert und den notwendigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf beschrieben.<sup>1</sup>

Wassernutzende Verfahren spielen aber auch eine **große Rolle in allen industriellen Anwendungsbereichen**, so zum Beispiel bei der Verarbeitung mineralischer Ausgangsmaterialien zur Gewinnung von Metallen, für die weltweit große Mengen an Energie und Chemikalien benötigt werden. Zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit dieser Verfahren werden zunehmend hydrometallurgische Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren anstelle von pyrometallurgischen genutzt. Diese Verfahren und die Möglichkeiten zum Recycling der mineralischen und metallischen Rohstoffe müssen aufgrund der hohen verwendeten Mengen weiter verbessert werden. Die **Entwicklung neuer Recyclingtechnologien** kann für die deutsche Wirtschaft zu einem wichtigen Exportfaktor werden. Darüber hinaus wird die Chemieindustrie in Anwendungsfeldern mit besonderen Anforderungen an die Wassertechnik, wie bspw. der Biotechnologie und der Phosphatrückgewinnung, sowie in der für die Trinkwassergewinnung wichtigen Energieeffizienz entscheidende Beiträge leisten.

---

<sup>1</sup> Trends und Perspektiven in der industriellen Wassertechnik, Positionspapier der ProcessNetFachgruppe Produktionsintegrierte Wasser und Abwassertechnik, Frankfurt, März 2014

Der VCI gibt in diesem Papier **Empfehlungen**

- **zur Gestaltung der Programme der Forschungsförderung** der Bundesministerien im Bereich Wassertechnologien,
- **für die Förderung und den Ausbau von Kooperationen und Netzwerken,**
- **für technologie- und forschungspolitische Rahmenbedingungen** wie zum Beispiel die Förderung internationaler Kooperationen zur Technologieentwicklung mit Ländern, die sich großen oder sehr großen Herausforderungen in der Wasserversorgung gegenüber sehen, wie zum Beispiel China oder Indien,
- **zur Erleichterung der Rahmenbedingungen zur Durchführung von Demonstrationsprojekten und Testfeldern** für die Umsetzung von Forschung und Innovationen in genehmigte Verfahren und Produkte.

### Beispiele für Beiträge der Chemieforschung

Innovative Materialien aus der Chemie sorgen auch im Bereich der Wassertechnologien für technologischen Fortschritt. Über zwei Drittel der Innovationen in den verschiedensten Anwendungsfeldern sind Materialinnovationen, das heißt Innovationen der Chemie, direkt zuzuordnen.<sup>2</sup> Denn diese nimmt eine zentrale Position an der Basis vieler industrieller Wertschöpfungsketten ein. Dies gilt insbesondere für eine innovationsstarke Chemieindustrie wie der deutschen.

Innovationen aus der Chemie sind im Anwendungsfeld „Wasser“, das heißt in der Wasserversorgung, Wasseraufbereitung und Wassernutzung, oft nicht direkt sichtbar, da diese in Systemlösungen integriert sind. Aber die Materialinnovationen sind unverzichtbar, da sie diese Systemlösungen erst ermöglichen. Die folgenden Beispiele sollen die Beiträge der Chemie im Bereich der Wassertechnologien ein wenig sichtbarer machen.

### Weltweiter Wasserbedarf

Schon heute ist absehbar, dass weltweit bis 2050 der Wasserverbrauch in der industriellen Fertigung rund 3-mal so schnell ansteigen wird wie der Wasserverbrauch beispielsweise bei der thermischen Stromerzeugung oder in Haushalten (Abb. 1). Es wird ein Anstieg des weltweiten Wasserbedarfs der industriellen Fertigung von 55 % von 2000 bis 2050 prognostiziert, wobei die Anteile beim produzierenden Sektor leicht überdurchschnittlich sein werden.

---

<sup>2</sup> BMBF: Materialien für eine ressourceneffiziente Industrie und Gesellschaft – MatResource; eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), <https://www.ptj.de/matresource>

### Entwicklung des globalen Wasserverbrauchs (2000 und 2050)

This graph only measures blue water demand and does not consider rain-fed agriculture. RoW = rest of the world

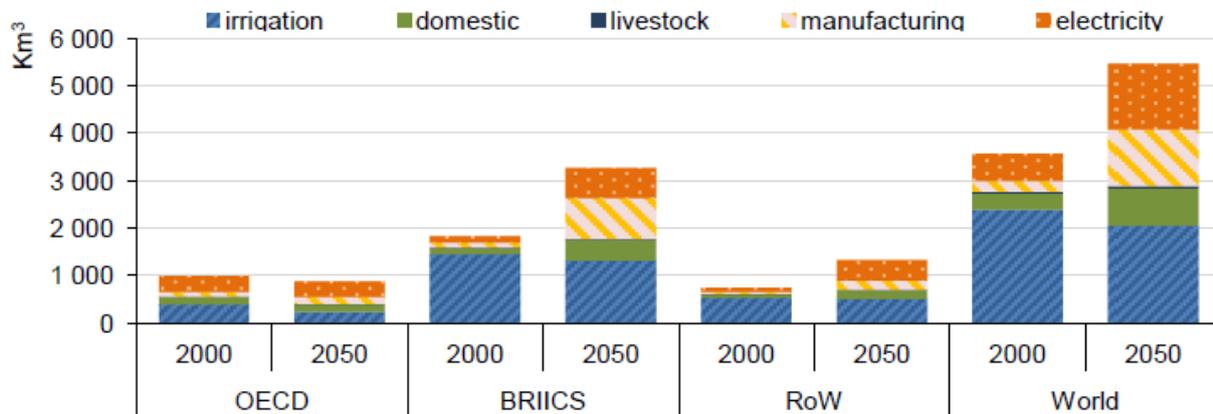


Abb. 1: Quelle: OECD Environmental Outlook Baseline; output from IMAGE suite of models, 2012.

Diese Entwicklung wird dazu führen, dass ein steigender Anteil der Weltbevölkerung unter Problemen bei der Trinkwasserversorgung leiden wird, ein Problem, das weltweit bereits heute große Not bereitet. Diese Entwicklung unterstreicht die globale und insbesondere die regionale Verantwortung der produzierenden Industrie für ihre Nutzung der wertvollen Ressource Wasser. Um adäquate Beiträge zur Verfügbarkeit von Trinkwasser in diesen Regionen leisten zu können, müssen gerade auch in den Ländern, in denen die Rohstoffe für die Chemieindustrie gewonnen werden, effiziente Methoden zur Gewinnung von Trinkwasser und zur Reinigung von Abwasser zur Verfügung gestellt werden (Abb. 2). Die Verfahren und die Materialien der Chemie und der Chemieindustrie leisten, wie im Folgenden gezeigt wird, hierzu einen entscheidenden Beitrag.

### Membrantechnologien

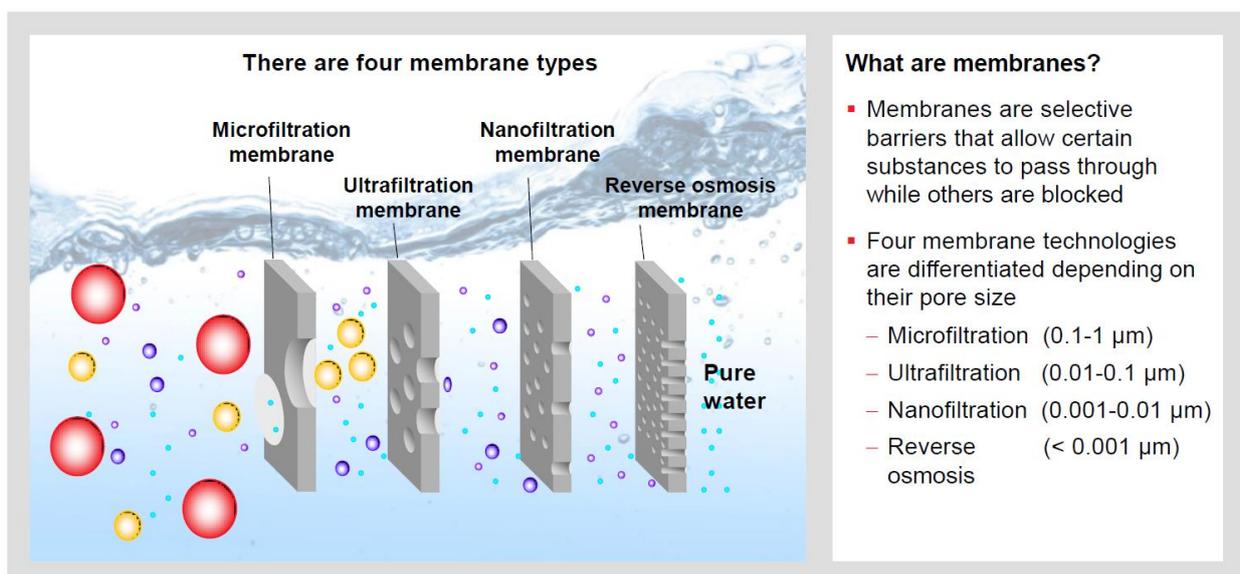


Abb.2.: Quelle: Lanxess

## Rohstoffgewinnung und Rohstoffaufbereitung: Von der Pyrometallurgie zur Hydrometallurgie

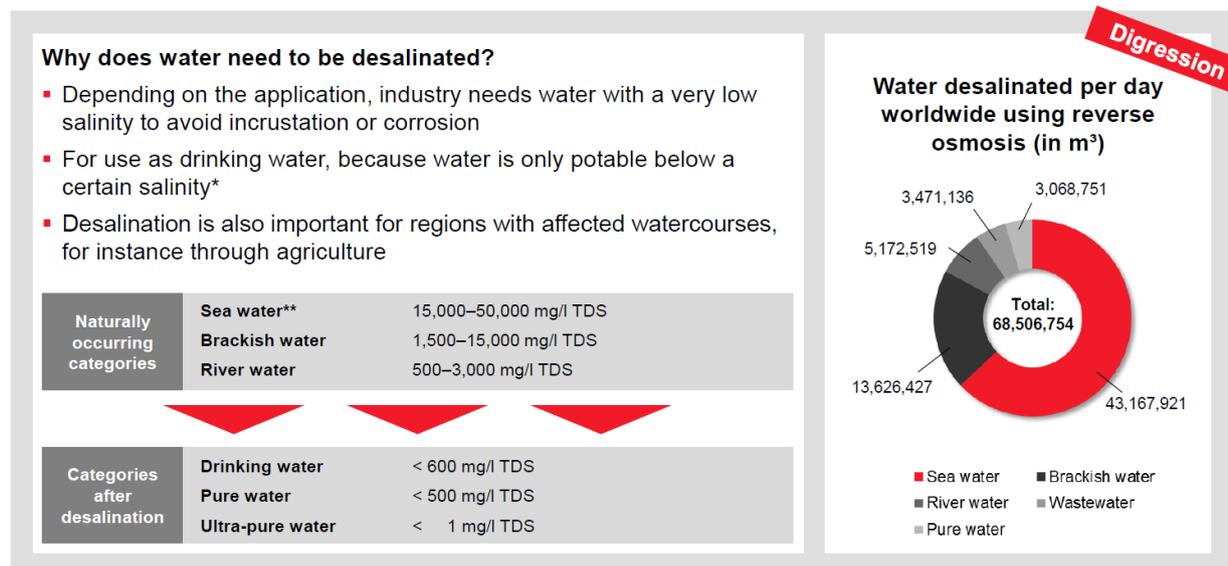
Die Suche nach innovativen, ressourcenschonenden und damit kostengünstigen Methoden in der Metallgewinnung führt zu einer schrittweisen Abkehr von der Pyrometallurgie zur Hydrometallurgie, in welcher metallische Rohstoffe wie Kupfer, Nickel, Kobalt oder Zink nicht mehr durch Verbrennung oder Einschmelzung, sondern aus wässrigen Lösungen gewonnen werden. Dies zeigt, wie der Einsatz moderner Wassertechnologien dazu beiträgt, den Ressourcenverbrauch insgesamt zu verringern und zwar in den Bereichen der Schadstoff- und Treibhausgas-Emission, des Energie- und des Umweltverbrauchs sowie im Bereich der ökonomischen Ressourcen.

Die Chemieindustrie bietet maßgeschneiderte Lösungen über Polymer- oder Keramikmembranen und Ionenaustauscherharze, um Feststoffe, Metalle und Säuren abzutrennen und zu konzentrieren. Ferner lassen sich die beim Wertstoffrecycling anfallenden Abwasserströme mithilfe von Ionenaustauschern selbst von Spuren gesundheitsschädlicher und umweltgefährdender Giftstoffe wie Arsen, Cyanid, Nickel, Cadmium etc. reinigen und Wertmetalle wie beispielsweise Edelmetalle gewinnen.

## Meerwasserentsalzung und Abreicherung von Bor aus Meerwasser zur Wasserversorgung in der Landwirtschaft

Aufgrund des weltweit steigenden Wasserbedarfs sowohl an Trinkwasser als auch für die Landwirtschaft und die Industrie bei gleichzeitig sinkender Verfügbarkeit geeigneter Wasserressourcen sind die Wasserversorger gezwungen, technologische Alternativen zu suchen. In den vergangenen Jahren ist die Meerwasserentsalzung respektive die Behandlung von salinem Oberflächenwasser nahezu Standard geworden. Allerdings gelangen über das saline Oberflächenwasser vermehrt Spurenstoffe in das Wasser.

### Umkehrosmose zur Meerwasserentsalzung



### Beispiel: Wasserversorgung durch Umkehrosmose

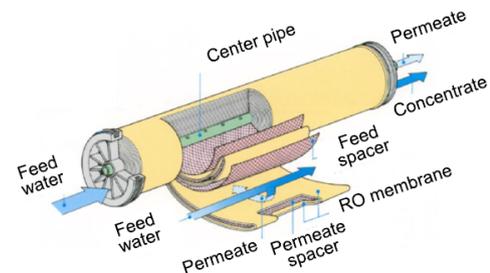
#### How does reverse osmosis (RO) work?

- Reverse osmosis is a technique whereby unwanted, dissolved substances are removed from fluids\*
- The fluid being purified is forced through a semipermeable (partially permeable) membrane at high pressure

#### Areas of application of reverse osmosis

- Industrial water treatment
  - Desalination of process, feed and wastewater
- Municipal water treatment
  - Desalination of drinking water (e.g. sea water)
  - Wastewater treatment
- Remediation and regeneration of groundwater\*

#### Structure of a reverse osmosis membrane element



\*As part of groundwater remediation, the water is usually pumped off through wells and purified in various systems.

Abb.3.: Quelle: Lanxess<sup>3</sup>

Ein hierbei häufig vorkommender und problematischer Stoff ist Bor,<sup>4</sup> dessen natürliche Konzentration von 4,5 mg/Liter im Meerwasser zur Entsalzung begrenzt werden muss. Die Anforderungen an die Reduzierung der Borkonzentration erwachsen hier aus dem mittelmeerischen Obstanbau, da beispielsweise Zitrusfrüchte zu den Pflanzen mit stärkerer Empfindlichkeit gegenüber Bor zählen. Aufgrund des starken Laubverlusts bei Borkonzentration über 0,3 mg/Liter begrenzen viele Meerwasserentsalzungsanlagen die Borkonzentration konsequenterweise auf 0,3 - 1 mg/Liter durch chemische Verfahren und Materialien für die Wasseraufbereitung. Deren Leistungsfähigkeit lässt sich durch die erfolgreiche Anwendung zweimaliger Membranfiltration beispielsweise im israelischen Ashkelon demonstrieren, so dass heute „sicheres“ Wasser zur Bewässerung der Landwirtschaft überall auf der Welt zur Verfügung gestellt werden kann.

### Nutzung von Absorbentien/Adsorbentien: Wasserspeicherung in semiariden und ariden Gebieten, Arsenfiltration

Neben der Verwendung von Membranen zur Reduktion von Spurenstoffen stehen über die Absorption an unterschiedlichen Medien wie Aktivkohle, Zeolithe oder Ionenaustauschern weitere Technologien zur Verfügung. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist die Reinigung vor allem von arsenbelasteten Trinkwässern aus natürlichen

<sup>3</sup> TDS (Abb. 3) = Total dissolved solids: Summe der Konzentration der gelösten Salze

<sup>4</sup> Bor ist für den menschlichen Körper möglicherweise reproduktionstoxisch und kanzerogen und kann, obwohl lebenswichtiges Spurenelement, in höherer Konzentration in landwirtschaftlich genutztem Wasser oder in Kunstdünger Schäden an Pflanzen und Getreide verursachen.

Vorkommen,<sup>5</sup> seltener aus industriellen Prozessen. Zur Reinigung werden Ionenaustauscher eingesetzt, die eine besondere Matrix aus funktionalisiertem Polystyrol und Eisenoxid besitzen, die ionisches Arsen effizient abtrennen. Ein großer Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit, den Ionenaustauscher zu regenerieren und damit den Prozess umweltfreundlich und kosteneffizient durchzuführen.

Solutions for ...






▪ Arsenic removal\*

**Areas of application**

- Drinking water
- Wastewater

**LANXESS iron oxide granulate Bayoxide® E33 satisfies individual needs in the field of arsenic removal**

- A range of product grades serving different requirements and areas of deployment
- Stable granulate that does not disintegrate in water
- A particularly safe and cost-effective way to reduce arsenic concentrations in tap water\*\*

\* Lewatit® FO 36, a hybrid adsorber by LANXESS made up of anion exchangers and iron oxide, also removes arsenic from water.

\*\* Using Bayoxide® E33 HC, a product co-developed by LANXESS and Severn Trent (a UK-based water technology company).

#### Ein Adsorber-Material



Abb.4.: Quelle: Lanxess

<sup>5</sup> Hervorzuheben ist die geologische Arsenbelastung in dicht besiedelten Regionen wie Indien und Bangladesch.

## Nachhaltige Wasserversorgung: „Water Sustainability Goals“



Die Chemie hilft nicht nur anderen Branchen, in der Landwirtschaft und in der Bevölkerung bei der Versorgung mit und der effektiven Nutzung von Wasser, sondern sie hat sich in „Water Sustainability Goals“ eigene ambitionierte Ziele zur nachhaltigen Wassernutzung gesetzt.<sup>6</sup> So will beispielsweise ein Unternehmen mit seinen „sustainability goals 2025“ bis zum Jahr 2025 20 % Wasser einsparen,

das heißt die Wasserintensität, also die relative Nutzung als „verbraucht Wasser pro Produktionseinheit“, um 20 % reduzieren. Um diese Ziele zu erreichen, helfen beispielsweise Wasserbehandlungsanlagen für demineralisiertes Wasser, Kühlwasser und ultrareines Wasser, in denen in Kombination von Membranen und Ionenaustauschern demineralisiertes Wasser bereitgestellt und in der Kaskade im Anschluss als Kühlwasser eingesetzt wird.

So wurde auch erstmalig städtisches Abwasser für die industrielle Nutzung aufbereitet.<sup>7</sup> Diese Kaskadennutzung spart an einem Unternehmensstandort beispielsweise täglich 10.000 m<sup>3</sup> Wasser und reduziert im Vergleich zur alternativen Wasserentsalzung den Energieeinsatz zur Wasseraufbereitung um 95 % und den Einsatz von Chemikalien um 50 %. Diese Multi-Wiederverwendung industriell genutzten Wassers minimiert den Wasserrückfluss in die Flüsse und schont somit die Umwelt.

An den Produktionsstandorten eines anderen Unternehmens fielen im Jahr 2014 insgesamt rund 194 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser an. Im Vergleich zu 2002 konnten die Stickstoffemissionen (N-Gesamt) in das Wasser um 85 %, die in das Abwasser emittierten organischen Stoffe um 80 % sowie die Schwermetallemission um 65 % reduziert und die selbstgesetzten Ziele zur Reduktion von Emissionen in das Wasser erreicht werden.

<sup>6</sup> s. beispielsweise <http://www.dow.com/en-us/science-and-sustainability/2025-sustainability-goals/valuing-nature> oder <http://report.basf.com/2014/en/managements-report/responsibility-along-the-value-chain/environment/water.html>

<sup>7</sup> Diese Maßnahme eines Unternehmens wurde 2007 mit einem regionalen Environmental Award und einem nationalen Responsible Care Award ausgezeichnet.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung .....</b>	<b>10</b>
Motivation .....	10
Wasser als knappe Ressource auf der Erde und Bedeutung der Chemie .....	11
Regionale Verschiebungen im Wassergebrauch als Folge des Klimawandels.....	14
Nachhaltige Wasserversorgung: „Water Sustainability Goals“ .....	15
<b>2. Trends und Impulse.....</b>	<b>15</b>
2.1. Steigende Anforderungen an die Wasserqualität .....	15
2.2. Entwicklung des Wasserbedarfs .....	17
<b>3. Die Bedeutung der Chemie für die Ressource Wasser .....</b>	<b>20</b>
3.1. Wertschöpfungsbeitrag der Chemie im Bereich Wasser .....	20
3.2. Der Wasserkreislauf in der Industrie und der Wasser-Fußabdruck.....	22
3.3. Mengenströme: Wo geht das Wasser in der Chemie hin? Wie viel Wasser verbraucht die Chemie? .....	25
3.4. Beiträge zur Wassereinsparung in anderen Branchen.....	25
3.5. Wasserversorgung und -behandlung .....	26
3.6. Die analytische Chemie: Herausforderungen und neue Technologien .....	29
3.7. Technologische Herausforderungen .....	32
<b>4. Empfehlungen.....</b>	<b>33</b>
4.1. Empfehlungen für die Forschungsförderung .....	34
4.2. Empfehlungen für technologie- und forschungspolitische Rahmenbedingungen .....	35
4.3. Empfehlungen für die Förderung von Kooperationen und Netzwerken.....	35

## 1. Einführung

### Motivation

Wasser ist unverzichtbare Grundlage allen Lebens auf der Erde. Dabei werden rund 70 % des weltweit genutzten Wassers in der Landwirtschaft verbraucht, gefolgt von über 20 % in industrieller Anwendung als Kühlwasser und knapp 10 % für die häusliche Nutzung. Wasser ist eine Schlüsselressource für Wohlstand und Wachstum. Allerdings nimmt der Wasserbedarf aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung, der voranschreitenden Industrialisierung und des damit verbundenen Anstiegs des Wohlstandes breiter Bevölkerungskreise in Schwellen- und Entwicklungsländern zu. Gleichzeitig wird in einigen Weltregionen, auch bedingt durch den Klimawandel, eine zunehmende Wasserknappheit beobachtet, während es in anderen Regionen mehr als genügend Wasser gibt.

Dies bedeutet, dass die regionalen und lokalen Unterschiede der Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität unterschiedlicher Klimabedingungen und unterschiedlicher Entwicklungsstände der Volkswirtschaften groß sind. Insgesamt wird es immer aufwendiger und teurer, die benötigten Wassermengen aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen.<sup>8</sup> Der Zugang zu sauberem Wasser zählt zu den globalen Herausforderungen der Zukunft und gehört zu den UN „Sustainable Development Goals“.<sup>9</sup>

Damit ist Wasser als Thema immer wieder ein Schwerpunkt politischer Aufmerksamkeit. Zwar lassen sich diese Probleme nicht allein durch technische Maßnahmen und technologischen Fortschritt lösen, beidem fallen hierbei dennoch wichtige Rollen zu.

Dabei ist es in vielen entscheidenden Themenbereichen die Chemie, die über ihre Verfahren und Materialien die grundlegenden Beiträge zur Entwicklung technologischer Lösungen leistet. Entlang der gesamten Wasserwertschöpfungskette spielen Chemieprodukte und chemiebasierende Systemlösungen eine unverzichtbare Rolle. Die Bedeutung von „Wassertechnologien auf Grundlage der Chemie“ wird zukünftig eine größer werdende Bedeutung für die Lösung der drängenden Probleme erhalten.

Dieses Papier will die weltweiten Aktivitäten in der Chemieindustrie und ihrer Partner wie den Hochschulen und Forschungsorganisationen wie der Max-Planck-Gesellschaft, den Fraunhofer-Instituten und den Helmholtz-Zentren sowie den Wasserforschungsinstituten in bereits existierenden und zukünftigen Forschungsvorhaben und Netzwerken unterstützen und Impulse zur Gestaltung der Rahmenbedingungen geben.

---

<sup>8</sup> s.a. Spiegel, 33, 2015 „Bis zum letzten Tropfen“; „Wasser marsch“, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 22. August 2015

<sup>9</sup> <http://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>

## Wasser als knappe Ressource auf der Erde und Bedeutung der Chemie

Sauberes Wasser ist von großer Bedeutung für die nachhaltige Entwicklung unseres Planeten: Insgesamt sind auf der Erde 1,4 Milliarden km<sup>3</sup> Wasser vorhanden, das unseren Planeten zu 70 % bedeckt, allerdings sind davon nur ca. 35 Millionen km<sup>3</sup> Süßwasser, davon wiederum 80 % im Eis der Polkappen gebunden, so dass letztlich weniger als 1 % der weltweiten Wasserressourcen – rund 213.000 km<sup>3</sup> Wasser – für den Menschen zugänglich und so für die Nutzung verfügbar sind (Abb. 6).

### Globaler Wasserverfügbarkeit

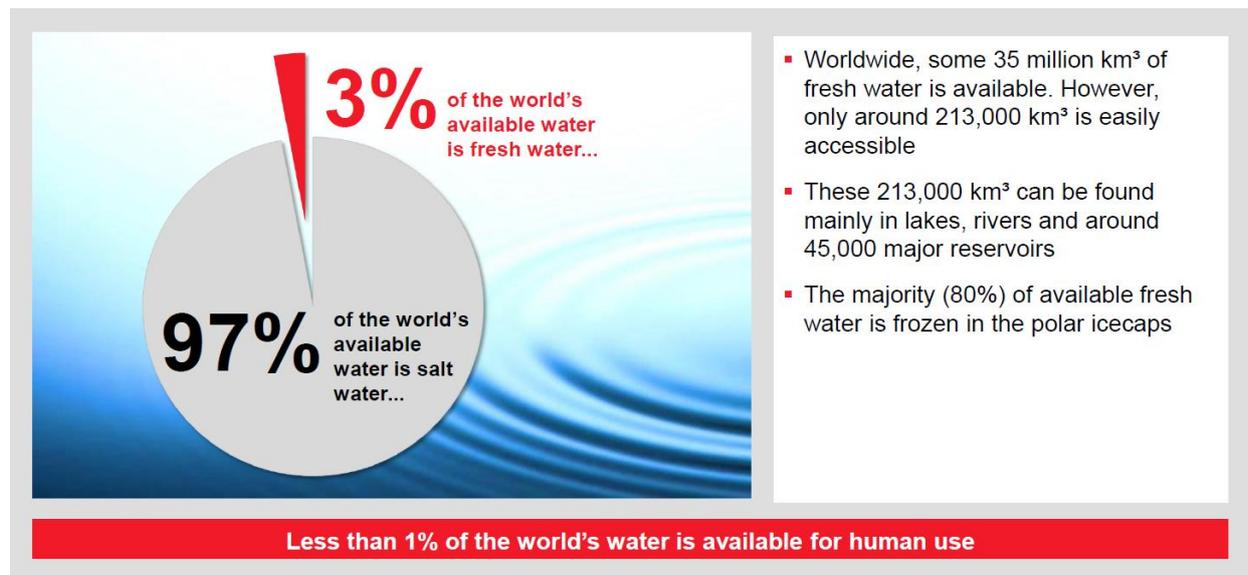


Abb. 6: Quelle: Lanxess Water Factbook,<sup>10</sup> Unesco Report 2009

Der Wasserverbrauch lässt sich global in drei Nutzungsgebiete unterteilen, die durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Während in Europa heute mehr als drei Viertel des entnommenen Wassers für Industrie und Haushalte verwendet werden, nutzen beispielsweise die bevölkerungsreichen Länder Südostasiens 80 % ihres Wassers in der Landwirtschaft (Abb. 7).

<sup>10</sup> <https://www.slideshare.net/Lanxess/fact-book-megatrend-water>

## Wasserverbrauch nach Anwendungsgebieten

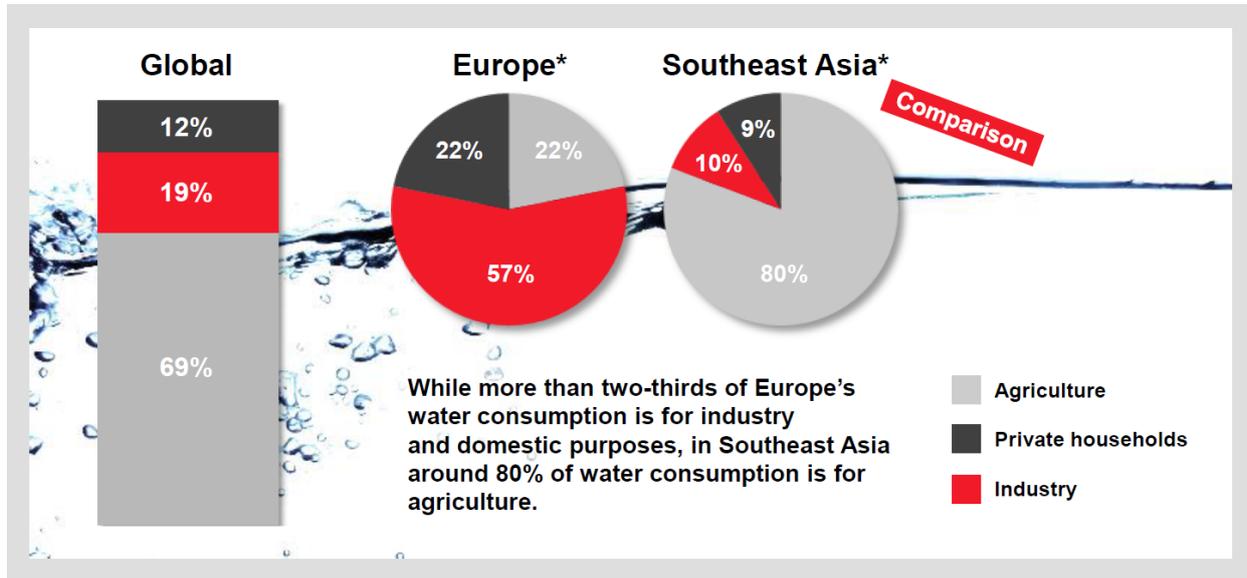


Abb. 7: (Quelle: FAO 2012, UN Development Report 2012, Lanxess Water Factbook)<sup>9</sup>

Dabei werden große Wassermengen verbraucht, wodurch dessen Verfügbarkeit in vielen Gebieten heute schon unzureichend ist, rund 884 Millionen Menschen keinen Zugang zu einer zeitgemäßen Wasserversorgung und 2,6 Milliarden Menschen keine Sanitärversorgung haben.<sup>11</sup> Der Zugang zu sauberem Wasser wird durch die wachsende Weltbevölkerung und durch steigende Umweltbelastungen weiter erschwert werden.

Aber der globale Bedarf an sauberem Wasser steigt, in den Prognosen gehen nur das Ausmaß der Steigerung oder die Gewichtung der unterschiedlichen Nutzergruppen Industrie, Landwirtschaft oder Trinkwasser auseinander. So prognostiziert die UN-Water (Agentur der UNO zu Wasser) einen Bedarfsanstieg um 55 % bis 2050.<sup>12</sup>

Die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung von derzeit rund 7,1 auf 11 Milliarden Menschen in 2050, also jährlich rund 80 Millionen Menschen, impliziert einen geschätzten Anstieg der Wassernachfrage von 64 Mrd. m<sup>3</sup> pro Jahr. Dies kann zu einer bedrohlichen Entwicklung führen, da dieses Bevölkerungswachstum die Nachfrage nach sauberem Wasser weiter in die Höhe treiben wird (Abb. 8).

<sup>11</sup> UNESCO, Weltwasserbericht 2012: "Global water withdrawals are projected to increase by 55% through 2050 due to growing demands from manufacturing (400%), thermal electricity generation (140%) and domestic use (130%). The largest proportion of this growth will occur in countries with developing or emerging economies and increasing standards of living, through their greater demand for food, energy and other goods, the production of which can require significant quantities of water. Roughly 75% of all industrial water withdrawals are used for energy production. Groundwater is the primary source of drinking water worldwide: globally, the rate of groundwater abstraction is increasing by 1-2% per year. There is clear evidence that groundwater supplies are diminishing, with an estimated 20% of the world's aquifers being over-exploited, some critically so."

<sup>12</sup> "<http://www.unwater.org/statistics/statistics-detail/en/c/211820/>

## Globaler Wasserverbrauch

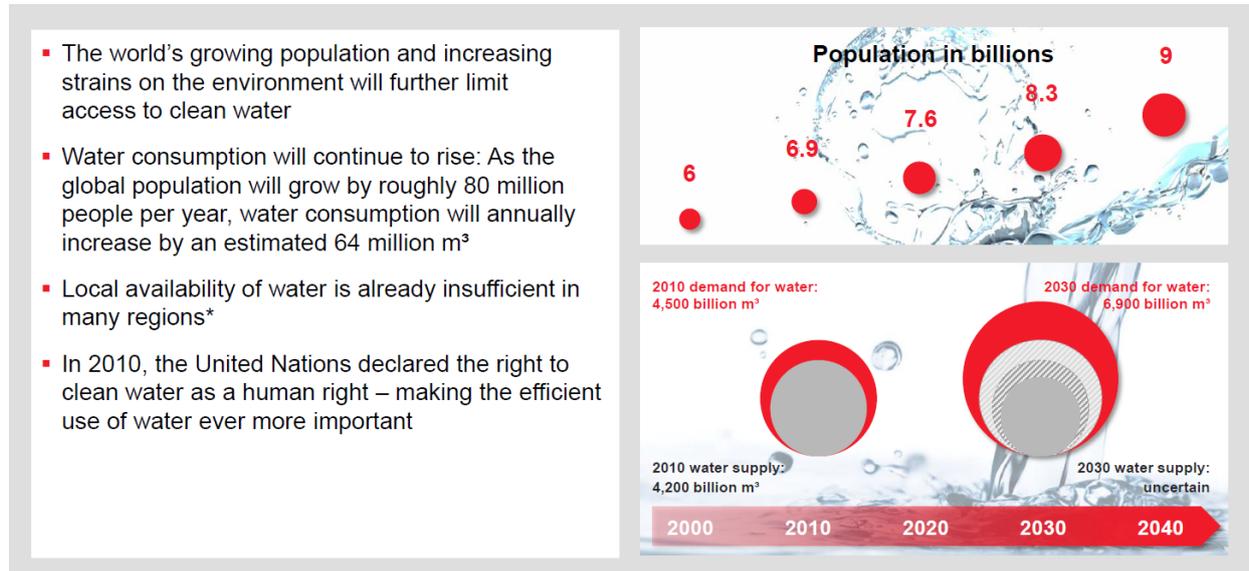


Abb. 8: Quelle: Lanxess Water Factbook,<sup>13</sup> Unesco Report 2009

Dies gilt im besonderem Maße für die Landwirtschaft, die sich mit einem prognostizierten weltweiten Anstieg des Nahrungsmittelbedarfs um 50 % bis 2030 besonderen Herausforderung gegenübergestellt sieht, die noch durch die Erwartungen, Beiträge zur erneuerbaren Energieversorgung über die Bioenergie zu leiten, gesteigert wird. So wird bis 2050 ein Anstieg der landwirtschaftlichen Produktion um 70 % im Vergleich zu heute erwartet. Diese Intensivierung der Landwirtschaft ist eine der wesentlichen Antworten auf die globalen Herausforderungen des steigenden Bevölkerungswachstums.<sup>14</sup> Darüber hinaus werden steigende Anforderungen an den Nahrungsmittelkonsum, wie ein steigender Fleischkonsum in den Schwellenländern und die Anforderungen des Ökolandbaus beispielsweise in Europa einen weiteren Ausbau der landwirtschaftlichen Nutzfläche erfordern. Dieser Ausbau wird eine Bewässerung erfordern, wobei diese heute schon in vielen Regionen der Welt für die Landwirtschaft essenziell ist: ca. 70% des weltweiten Wasserverbrauchs gehen derzeit in die landwirtschaftliche Bewässerung<sup>15</sup> (Abb. 9). Die Folgen von Klimaveränderungen verstärken diesen Trend.

<sup>13</sup> <https://www.slideshare.net/Lanxess/fact-book-megatrend-water>

<sup>14</sup> Europäische Kommission, SCAR (2011): Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world, S. 12

<sup>15</sup> Vgl. UN Wasserbericht 2012.

## Anteil des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft

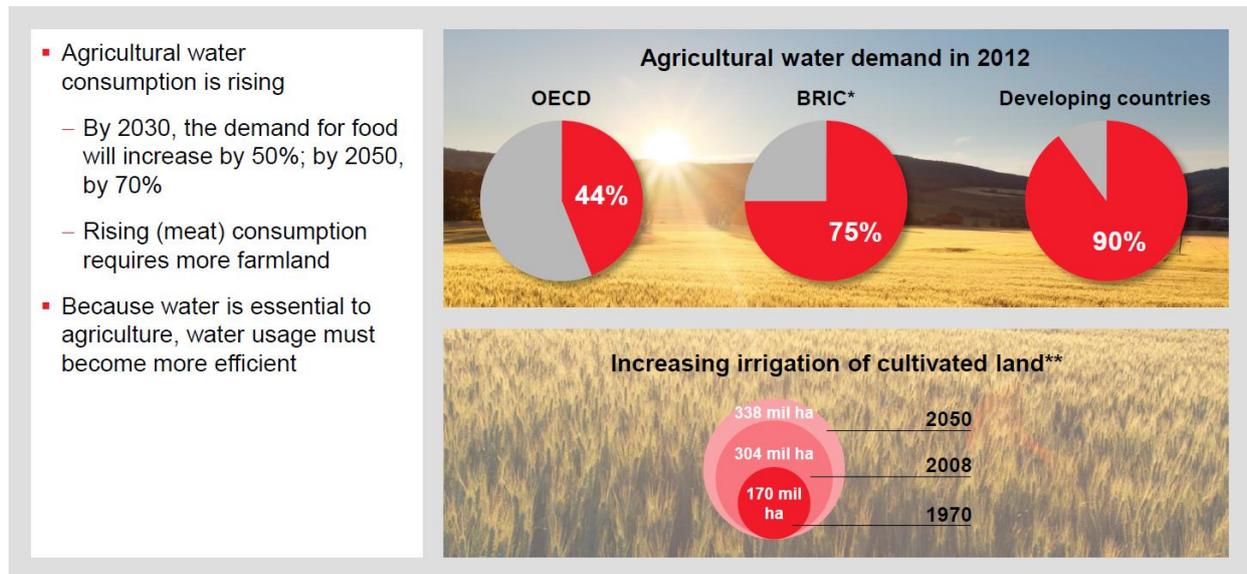


Abb. 9: (Quelle: FAO, Lanxess Water Factbook<sup>9</sup>)

Obwohl berücksichtigt werden muss, dass zur Bewässerung größtenteils Niederschlagswasser weitestgehend ohne spezielle Aufbereitungsmaßnahmen genutzt wird, nimmt durch die hohen Wasserentnahmen für landwirtschaftliche Zwecke die Verfügbarkeit von Wasser in vielen Gebieten der Welt stetig ab.<sup>16</sup>

Die zunehmende Bewässerung in der Landwirtschaft auch in Zukunft wird nur durch eine moderne Wasseraufbereitung und durch Technologien zur effizienten Nutzung der Ressource Wasser möglich sein. In Anbetracht der zukünftigen Herausforderungen sind innovative Ansätze zur optimalen Nutzung und Bereitstellung der Ressource Wasser für die Landwirtschaft erforderlich.

## Regionale Verschiebungen im Wassergebrauch als Folge des Klimawandels

Aufgrund von Verschiebungen im Klimageschehen kommt es weltweit teilweise zu erheblichen Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung, unabhängig davon ob diese nun direkt auf den Klimawandel zurückzuführen sind oder nicht. So leidet beispielsweise eine hochentwickelte Industrie- und Landwirtschaftsregion wie Kalifornien in den USA unter den Folgen einer lang anhaltenden Dürreperiode, Flüsse und Seen versiegen und auch der Grundwasserpegel sinkt kontinuierlich. In Europa gibt es erhebliche regionale Unterschiede, beispielsweise in allen Regionen Spaniens, die teilweise unter massivem Wassermangel leiden. Sowohl am Beispiel Kaliforniens als auch Spaniens wird deutlich, dass hier technische Lösungen mit einem politisch motivierten und stringenten Wassermanagement Hand in Hand gehen müssen.

<sup>16</sup> Vgl. WWF Deutschland (2014): Das importierte Risiko – Deutschlands Wasserrisiko in Zeiten der Globalisierung, S. 5f.

## Nachhaltige Wasserversorgung: „Water Sustainability Goals“

Die Chemie hat die Forderungen nach einer Begrenzung des Wasserverbrauchs auch im industriellen Sektor aufgegriffen. Wie in den vorangestellten Beispielen gezeigt, setzen die Unternehmen der Chemieindustrie mit ihren Nachhaltigkeitszielen auch im Bereich der Wassernutzung Standards für den effizienten und nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser.

## 2. Trends und Impulse

### 2.1. Steigende Anforderungen an die Wasserqualität

Der Umgang mit Wasser sowohl im privaten Bereich als auch für die industrielle Nutzung unterliegt zahlreichen rechtlichen Regelungen. Diese rechtlichen Regelungen betreffen auch die Anforderungen an die Wasserqualität für verschiedene Nutzungszwecke. Der rechtliche Rahmen zum Umgang mit der Ressource Wasser wird im Wesentlichen durch die europäische Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL), die europäische Industrieemissions-Richtlinie und die entsprechenden Umsetzungen in die nationalen Rechtsetzungen vorgegeben. Hier werden zum einen Stoffemissionen in die Gewässer, zum anderen die entsprechenden Immissionswerte im Sinne von Umweltqualitätsnormen festgeschrieben.

Im Bereich Gewässerschutz kommt der zuständigen Behörde dabei eine besondere Bedeutung zu. Denn anders als im Bereich Luftreinhaltung, wo unter bestimmten rechtlichen Voraussetzungen ein „Genehmigungsanspruch“ des Anlagenbetreibers besteht, kann die Behörde eine wasserrechtliche Einleiterlaubnis durchaus versagen, insbesondere dann, wenn in dem betroffenen Gewässer bestehende Umweltqualitätsnormen überschritten werden. In diesen Fällen hat die Behörde die Aufgabe, über die Gestaltung der wasserrechtlichen Einleiterlaubnisse die Einhaltung der einschlägigen Umweltqualitätsnormen im Rahmen des „Bewirtschaftungsermessens“ sicherzustellen. Darüber hinaus bestehen für verschiedene Stoffe im Chemikalienrecht verschiedene rechtliche Vorgaben, welche ihre Nutzung für einzelne Anwendungen verbieten oder einschränken, wie in der Chemikalienverbots- oder in der REACH-Verordnung, beziehungsweise die nur bestimmte Anwendungen dieser Stoffe zulassen wie zum Beispiel im Pflanzenschutzmittelrecht.

Derzeit zeichnet sich im gesetzlichen Umfeld ein Trend zur Absenkung der Grenzwerte und der Neuaufnahme von Grenzwerten ab.<sup>17</sup> Diese Entwicklung resultiert aus neuen Erkenntnissen über Langzeiteffekte und Akkumulation von Substanzen im Zusammenhang mit den zunehmenden gesellschaftlichen Ansprüchen an den Umweltschutz. Dem ist gegenüberzustellen, dass Trinkwasser zu den am besten

---

<sup>17</sup> s. Liste prioritärer Stoffe, Anhang X der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EC)

überwachten Lebensmitteln gehört. Mit der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom Januar 2003 wurden die Höchstmengen für unerwünschte Bestandteile an die EG-Trinkwasserrichtlinie angepasst. Seit November 2011 gilt in Deutschland die neue überarbeitete Trinkwasser-Verordnung, mit der unter anderem einige Regelungslücken geschlossen wurden:<sup>18</sup> Beispielsweise wurde 2013 der Grenzwert von Blei von bisher 25 auf 10 µg/L herabgesetzt, der Grenzwert für Uran, für den vom Umweltbundesamt in 2005 ein „lebenslang duldbarer gesundheitlicher Leitwert“ von 10 µg/L vorgeschlagen wurde,<sup>19</sup> im November 2011 angepasst.<sup>20</sup> Für den im Wasserbereich vorkommenden Stoff Arsen empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) seit 1992 einen Grenzwert im Trinkwasser von 10 µg/L,<sup>21</sup> der in Deutschland seit 1996 eingehalten wird<sup>22</sup> und der auch EU-weit gilt.<sup>23</sup> Die USA hatten sich im Jahre 2001 verpflichtet, diesen Grenzwert ab 2006 ebenfalls einzuhalten.

In letzter Zeit rücken Arzneimittelrückstände im Trinkwasser in die gesellschaftliche Diskussion. Derzeit sind für pharmazeutische Wirkstoffe und deren Metaboliten noch keine Grenzwerte vorgesehen, weil deren Konzentrationen sehr gering sind. Die Auswirkungen von Arzneimittelrückständen auf die Nahrungskette sind Bestandteil der Forschung.<sup>24, 25</sup> Die Chemieindustrie kann zu diesen aktuellen gesellschaftlichen Anforderung Beiträge zu Systemlösungen wie zum Beispiel für die Aufbereitung von Abwasser aus Großkrankenhäusern leisten.

Darüber hinaus ermöglichen Fortschritte in der Spurenanalytik wie die Anwendung kombinierter Analysemethoden und die Erkenntnisse aus Struktur-Wirkungsbeziehungen, die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt besser voraussagen und zu bewerten sowie toxikologische Wirkmechanismen zu erkennen und somit neue Fragestellungen abzuleiten, die zur Festlegung beziehungsweise zur Einforderung herabgesetzter Grenzwerte führen. Daraus resultiert Innovationsbedarf für die Abwasser- und Wasserbehandlung, der sich in aktuellen Forschungsthemen wie Membranbioreaktoren (MBR), reverser Osmose (RO) und Nanofiltration (NF) sowie im Kläranlagendesign niederschlägt.

---

<sup>18</sup> <http://www.bmg.bund.de/ministerium/presse/pressemitteilungen/2011-02/aenderung-der-trinkwasserverordnung.html>

<sup>19</sup> R. Konietzka, H. H. Dieter, J.-U. Voss, Vorschlag für einen gesundheitlichen Leitwert für Uran in Trinkwasser, Umweltmed. Forsch. Prax. (2005), 10(2), 133-143

<sup>20</sup> Erste Verordnung zur Änderung der Trinkwasser-VO vom 3. Mai 2011 (BGBl. I S. 748, ber. S. 2062)

<sup>21</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Arsen#Grenzwerte>

<sup>22</sup> Höchstwert von 10 µg/L in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)

<sup>23</sup> RL 98/83/EG des Rates vom 3.11.1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

<sup>24</sup> z. B. das abgeschlossene Projekt PILLS – “Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources”, das an einem System zur Detektion und Charakterisierung pharmazeutischer Reste im Trinkwasser arbeitet; leitende Organisationen sind die Emschergergenossenschaft ein holländischer Wasserverband und zahlreiche europäische Universitäten: s.a. <http://www.pills-project.eu/>

<sup>25</sup> s.a. BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa „Risikomanagment von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“: [www.bmbf.riskwa.de](http://www.bmbf.riskwa.de)

Da Wasser neben seiner globalen Bedeutung für die Gesellschaft ebenso eine lokale Charakteristik hat, gibt es neben nationalen Verordnungen regionale Vorgaben zu Grenzwerten, die von den lokalen Akteuren einzuhalten sind. Diese Vielschichtigkeit erschwert die Definition globaler Wassermanagementstrategien für Unternehmen der chemischen Industrie und deren standortbezogene Umsetzung auf Ebene des Wassergebrauchs. Der Zugang zu regionalen Wasserverordnungen, Grenzwerten und Überwachungsergebnissen sollte zumindest auf nationaler Ebene, besser noch auf europäischer Ebene zur Verfügung stehen. Dies würde ein länderübergreifendes Wassermanagement mit entsprechenden Effizienzsteigerungsprogrammen auf Unternehmensebene erleichtern.

Eine Tendenz zur globalen „Harmonisierung“ der Grenzwerte ist, wie dargestellt, bereits absehbar. So orientieren sich aufstrebende Länder wie China und Indien an den Gesetzgebungs- und erfolgreichen Umsetzungsstrategien in Europa. Daraus ergibt sich die Chance, Spitzentechnologien zur effizienten Wassernutzung und -aufbereitung aus Deutschland zu exportieren.

Die deutsche Chemieindustrie beobachtet also steigende Anforderungen an die Einhaltung von Grenzwerten, die sie selber ebenso wie Akteure in der Gesellschaft (national und international) betreffen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines auf globale wie lokale Anforderungen angepassten Wassermanagements der Unternehmen. Gleichmaßen ergeben sich wertvolle Chancen für Innovationen zur nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser und deren Eingang in neue Märkte.

## 2.2. Entwicklung des Wasserbedarfs

### **Die Industrie liefert Beiträge zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und ist nicht wesentlicher Treiber**

Ein wesentlicher Technologietreiber für die Reduzierung des Wasserverbrauchs ist die Chemieindustrie, die „Enabler“ in der Wertschöpfungs- und Technologiekette weit über die eigenen Branchengrenzen hinweg ist. Schon jetzt hat sie durch innovative Neu- und Weiterentwicklungen wesentliche Beiträge zur Wasseraufbereitung geleistet. Sie wird aber ein wesentlicher Schlüsselakteur zur Schließung der Lücke zwischen der sich weiter öffnenden Schere zwischen verfügbarem und dem Bedarf an sauberem Wasser werden.

Die Leistungen der Chemie zeigt Abbildung 10 mit den Anwendungsbereichen

- „Abwasserreinigung“ mit den technologischen Herausforderungen Fest-Flüssig-Phasentrennung, Klärschlammwässerung über Flokkulanten, Koagulantien, Entschäumern und Ultrafiltrationsmembranen;
- „Wassergewinnung und -aufbereitung“ mit den technologischen Herausforderungen an Prozesseffizienz, Wasserqualität (Schadstoffgehalt), technische System-Performance (Standzeiten, Instandhaltung, Energieverbrauch) über die oben genannten Stoffe und Systeme sowie über spezifische Reinigungsmittel und
- „Gewässerschutz“ mit den technologischen Herausforderungen an die technische System-Performance (Systemstabilität, Standzeiten, Instandhaltung, Energieverbrauch) über zahlreiche Chemikalien und Membranen und Zuverlässigkeit der Betriebsmittel wie zum Beispiel Rohrleitung etc. über Spezialchemikalien.

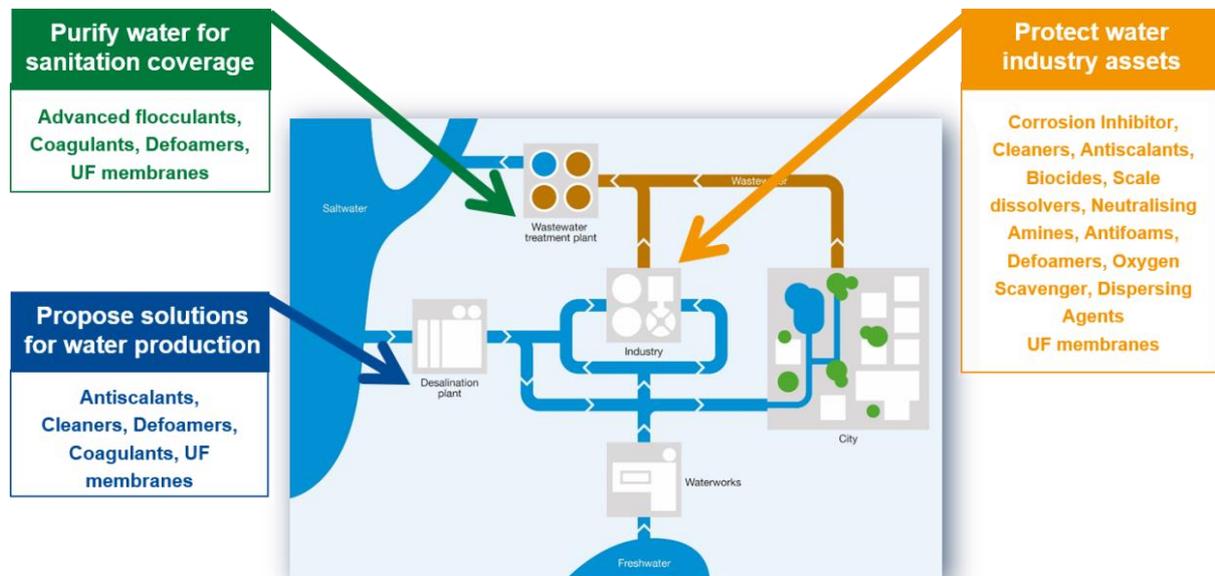


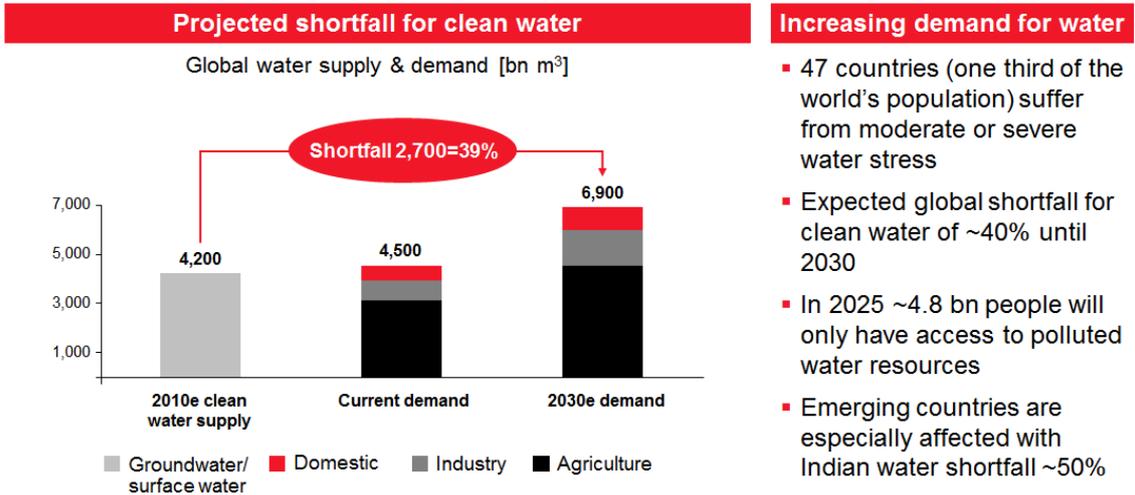
Abb. 10: Die Chemie als „Enabler2 in der Wasserindustrie; Quelle: BASF SE

## Der industrielle Wasserbedarf und regional mangelnde Verfügbarkeit

Die industrielle Produktion der deutschen Chemieindustrie wächst, wobei etwaiger zusätzlicher Wasserbedarf der Industrie nach gegenwärtiger Abschätzung überschaubar wäre; darüber hinaus gibt es am Chemiestandort Deutschland kein Problem mit der Wasserverfügbarkeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es hier starke regionale Unterschiede sowohl im industriellen Wasserverbrauch als auch im Wasserangebot gibt, auch an den europäischen Unternehmensstandorten. Global steigt der industrielle Wasserverbrauch stetig, so dass für die industrielle Produktion weltweit gesehen mit einer zunehmenden Knappheit der Ressource gerechnet werden muss (Abb. 11).

Prognose zur Wasserknappheit

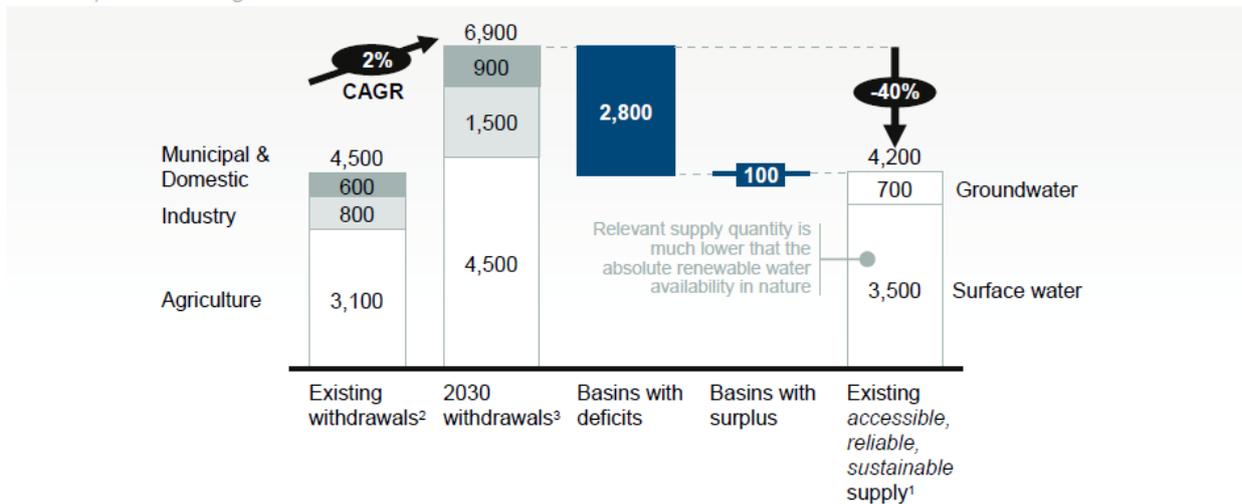
## Expected scarcity of clean water as essential global challenge



Source: Charting our water future, McKinsey 2010; The 2030 World Water Resource Group; UNESCO Hydrologic Program

### Aggregated global gap between existing accessible, reliable supply<sup>1</sup> and 2030 water withdrawals, assuming no efficiency gains (Prognose zur Wasserknappheit)

Billion m<sup>3</sup>, 154 basins/regions



1 Existing supply which can be provided at 90% reliability, based on historical hydrology and infrastructure investments scheduled through 2010; net of environmental requirements

2 Based on 2010 agricultural production analyses from IFPRI

3 Based on GDP, population projections and agricultural production projections from IFPRI; considers no water productivity gains between 2005-2030

SOURCE: Water 2030 Global Water Supply and Demand model; agricultural production based on IFPRI IMPACT-WATER base case

Abb. 11: Quelle: McKinsey, Report, Charting our water future,

[http://www.mckinsey.com/client-service/water/charting\\_our\\_water\\_future.aspx](http://www.mckinsey.com/client-service/water/charting_our_water_future.aspx)

## Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit und Exportstrategien, globaler Bedarf und Wertschöpfung in Deutschland

Obwohl das Wasserproblem global ist, müssen zur Erarbeitung von Lösungsstrategien und zur Implementierung technologischer Innovationen die stark differierenden regionalen Anforderungen berücksichtigt werden, die für die Technologieentwicklung zentral sind. Während in Deutschland eher der Schutz des Trinkwassers bzw. der Umwelt allgemein und damit auch eine effiziente Wassernutzung im Vordergrund stehen, ist in vielen Regionen der Welt die Wasserknappheit der zentrale Antrieb zur Wasserbehandlung. Daher werden grundlegende Technologien für die effiziente Wassernutzung in Industrieanlagen von der deutschen Chemieindustrie in Deutschland gemeinsam mit Partnerindustrien in der Wertschöpfungskette Wasser entwickelt, erprobt und eingesetzt, die sich an den jeweiligen global betriebenen Produktionsstandort der Chemie bzw. an die lokalen Erfordernisse von Produktionsstandorten anpassen lassen.

Produktionsanlagen nach dem „Zero oder Minimized liquid discharge“ Prinzip erlauben einen vollständigen Verzicht bzw. eine weitestgehende Minimierung der Abwassereinleitung. Diese Technologie, die eine große Bandbreite mechanischer, chemischer und physikalischer Trennmethode effektiv kombiniert, stellt eine **Blaupause für den Technologieexport** dar.

### 3. Die Bedeutung der Chemie für die Ressource Wasser

#### 3.1. Wertschöpfungsbeitrag der Chemie im Bereich Wasser

Die Chemieindustrie in Deutschland hat bereits Ende des vorletzten Jahrhunderts systematische Konzepte und Maßnahmen zur Reinigung von Produktionsabwässern und zur Reinhaltung von natürlichen Gewässern entwickelt und realisiert. Denn für die Chemieproduktion ist Wasser genauso so wichtig und wertvoll wie die eingesetzten Rohstoffe oder die verbrauchte Energie.

#### Entwicklungen in der Bereitstellung von Wasser in der Chemieindustrie

Große Standorte der Chemieindustrie stellen in vielen Fällen das von ihnen genutzte Wasser in eigenen Wasserwerken her. Diese werden aus unterschiedlichsten Quellen gespeist zum Beispiel aus Oberflächenwasser von Flüssen, Seen und Talsperren, aus Grundwasser von Bohrungen, aus dem Uferfiltrat – was insbesondere entlang des Rheins von großer Bedeutung ist, aber auch Quell- und Regenwasser. In der Chemieregion Nordrhein-Westfalen stammen rund 40 % des verbrauchten Wassers aus Uferfiltraten. Dies nutzen viele Betreiber großer Chemiestandorte über komplexe Wasserversorgungs- und -entsorgungssysteme, um einerseits ausgeglichene Bilanzen von Wassereinspeisung und Wasserentnahme zur langfristigen Leistungsabsicherung

zu gewährleisten und gleichzeitig eine ökologische und ökonomische Speicherung der benötigten Wassermengen sicherzustellen.

Bereits zu einem frühen Zeitpunkt wurden Sparmaßnahmen zum Wasserverbrauch in der Produktion durchgeführt. Heute wird beispielsweise das Ziel verfolgt, die Nutzung von Trinkwasser in Produktionsprozessen um die Hälfte im Vergleich zu 2010 zu senken und ein nachhaltiges Wassermanagement an allen Standorten in Wasserstressgebieten zu etablieren. Dabei wird Wasser in der Chemie in verschiedenen Qualitätsstufen verwendet, mit dem größten Teil von rund 80 % des Wasserverbrauchs als Kühlwasser. Bei der Verwendung von Wasser in chemischen Produktionsprozessen ist zu berücksichtigen, dass die chemischen Verfahren energetisch soweit optimiert wurden, dass aufgrund der reduzierten Abwärme vergleichsweise geringe Kühlwassermengen benötigt werden. Eine weitere schon sehr früh genutzte Maßnahme stellt die Rückführung von Kühlwasser zur Mehrfachnutzung dar, die den Wasserverbrauch und den Abwasseranfall deutlich reduziert: In der deutschen Industrie liegt der durchschnittliche Wiederverwendungsfaktor von Wasser bei 5,8, d. h. jeder Liter Wasser wird fast 6mal genutzt, bevor er in das Abwasser geleitet wird oder verdunstet ist.<sup>26</sup> Auch die Menge an hochwertigem Wasser konnte bei gleichzeitig steigenden Produktionsvolumen durch geeignete Verfahrensoptimierungen in vielen Fällen deutlich reduziert werden. Da das Wasser für chemische Prozesse abhängig von der Anwendung aufwendig gereinigt, also zum Beispiel entsalzt oder wie in der Pharmaproduktion keimfrei oder sogar steril sein muss, sparen diese Prozessoptimierungen nicht nur Wasser ein, sondern senken auch die Energieverbräuche erheblich, womit ein signifikanter Beitrag zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet wird.

### **Entwicklungen in der Aufarbeitung von Abwasser in der chemischen Industrie**

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden praktisch alle großen Chemiestandorte mit Kanalisationssystemen ausgestattet, die in eine Vorbehandlung und dann in eine zentrale Kläranlage münden. Das gereinigte Abwasser wird dann in der Regel in öffentliche Gewässer eingeleitet. Typischerweise verfügt der Grundstückseigentümer, auf dessen Gelände die chemischen Anlagen betrieben werden, über eine wasserrechtliche Einleiterlaubnis.

Für die Abwasserbehandlung stehen heute vielstufige Verfahren zur Verfügung, die sich in drei Reinigungsmethoden klassifizieren lassen:

- Mechanische Reinigung
- Chemische Reinigung
- Biologische Reinigung.

Diese Methoden werden selbstverständlich nicht nur in Chemie- bzw. in Industrieparks, sondern generell in jeder Art von Kläranlage angewandt, wobei im Einzelnen die

---

<sup>26</sup> Wasser, Wohlstand, Wandel; Herausgeber: BMU, 1. Auflage, November 2011, S. 29

anfallenden Mengen und Zusammensetzungen von Abwässern berücksichtigt werden müssen. Für die verschiedenen Prozesse, die innerhalb dieser Reinigungsstufen durchgeführt werden, bietet die Chemieindustrie ein breites Spektrum geeigneter Lösungen an, die von spezifischen Wasserchemikalien bis zu komplexen Wasserreinigungsanlagen wie Ionenaustauschern und Umkehrosmosesystemen reichen. Die Wertschöpfungskette für Wassertechnologien wird in Abb. 12 dargestellt:

#### Die verschiedenen Produkte und Services entlang der Wertschöpfungskette im Bereich Wasser

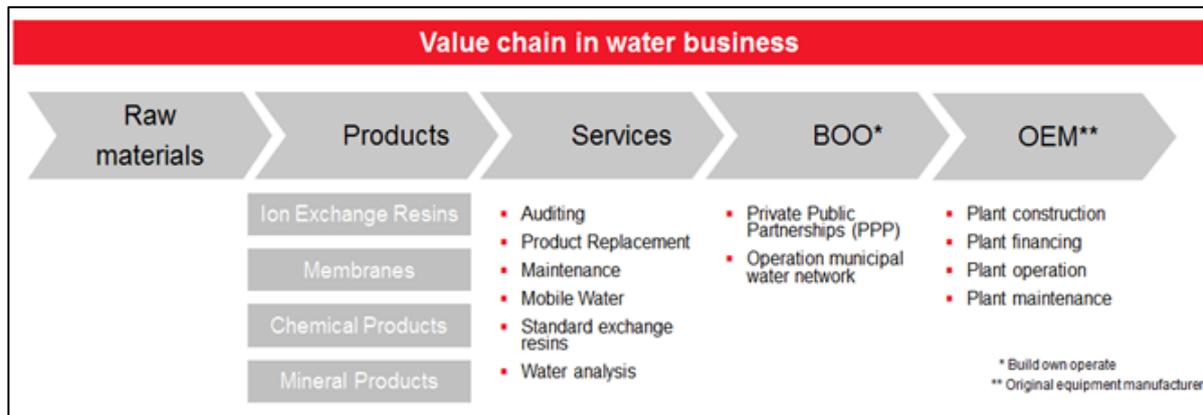


Abb. 12: Quelle: Lanxess Water Factbook

Darüber hinaus werden im Bereich der Trinkwasseraufbereitung und der Abwasserbehandlung auch zahlreiche weitere Chemieprodukte in großem Umfang eingesetzt, die nicht gezielt für diesen Zweck entwickelt worden sind. Dazu gehören spezielle Stähle und Metalle verbaut in Meerwasserentsalzungsanlagen und Bauchemikalien, die in großen Mengen für Wasserwerke, Kläranlagen und die zugehörige Infrastrukturen notwendig sind, wie beispielsweise im Milliardenmarkt der PVC-Kunststoffrohre, die grundlegend und unverzichtbar für die Wasserindustrie sind: ein Viertel der weltweiten jährlichen PVC-Produktion wird zu Wasserrohren und Abwasserleitungen verarbeitet.

### 3.2. Der Wasserkreislauf in der Industrie und der Wasser-Fußabdruck

Etwa 20 % des weltweit verbrauchten Wassers wird industriell genutzt. Der größte industrielle Wasserverbraucher ist die Energieversorgungsindustrie mit rund 75 % des gesamten industriellen Wasserverbrauchs in Deutschland, der überwiegend zur Kühlung verwendet wird. Dabei wird wiederum in hohem Maße Flusswasser eingesetzt, das in geeigneter Weise gereinigt wird. Mit großem Abstand folgen Bergbau, Metallverarbeitung, Papier und die Chemieindustrie.

Wieviel Wasser in der Produktion von Verbrauchsgütern aller Art genutzt wird, soll durch zwei Beispiele beleuchtet werden. Bei der Erfassung der genutzten Wassermenge wird der sogenannte Wasserfußabdruck oder auch Water-Footprint bestimmt, d. h. der Wasserverbrauch für ein bestimmtes Produkt entlang des Lebenszyklusses („from

cradle to grave“) also über den kompletten Prozess von der Rohstoffgewinnung über alle Verarbeitungsschritte bis zum Endverbraucher und Konsumenten sowie die Nutzungsphase und Entsorgung. Demnach sind für die Bereitstellung einer 125 ml-Tasse Kaffee 80 l Wasser, für eine Orange 130 l notwendig, der Wert für 1 l Milch liegt bei etwa 1.000 l, für 1 kg Rindfleisch werden 15.400 l benötigt.<sup>27</sup> Denn der Wasserbedarf im Alltag wird am wenigsten durch den direkten, sondern vielmehr durch den indirekten Wasserverbrauch, auch „virtuelles Wasser“ genannt, beeinflusst. Dieses berücksichtigt die Wassermengen, die für Herstellung, Verpackung und Transport von Produkten verbraucht werden; damit wird deutlich, dass die Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse den Wasserverbrauch enorm steigert. Schreibt man beispielsweise das für Exportgüter in einem Land eingesetzte Wasser dem Importland zu, so entsteht ein „Wasser-Fußabdruck“, der die Wassermenge bezeichnet, die die Bevölkerung eines Landes beansprucht.

Die Daten in Abb. 13 für den Wasserfußabdruck verschiedener Produkte zeigen, dass ein komplexes Industrieprodukt in der Herstellung zwar viel Wasser verbraucht, in seiner Nutzungsphase jedoch vergleichsweise ressourceneffizient ist, da die relativ lange Nutzungsphase und die ressourceneinsparenden Effekte industriell hergestellter Produkte den Wasserverbrauch bei der Herstellung deutlich überkompensieren.

#### Wasserfußabdruck verschiedener Produkte



Source: <http://virtualwater.eu/> \* Water used in one country for exported goods is allocated to the importing country.  
Quelle: Lanxess Water Factbook

<sup>27</sup> <http://www.waterfootprint.org/?page=files/productgallery>

### Wasserfußabdruck verschiedener Produkte

Wasserverbrauch in je 1kg/1l des Produktes

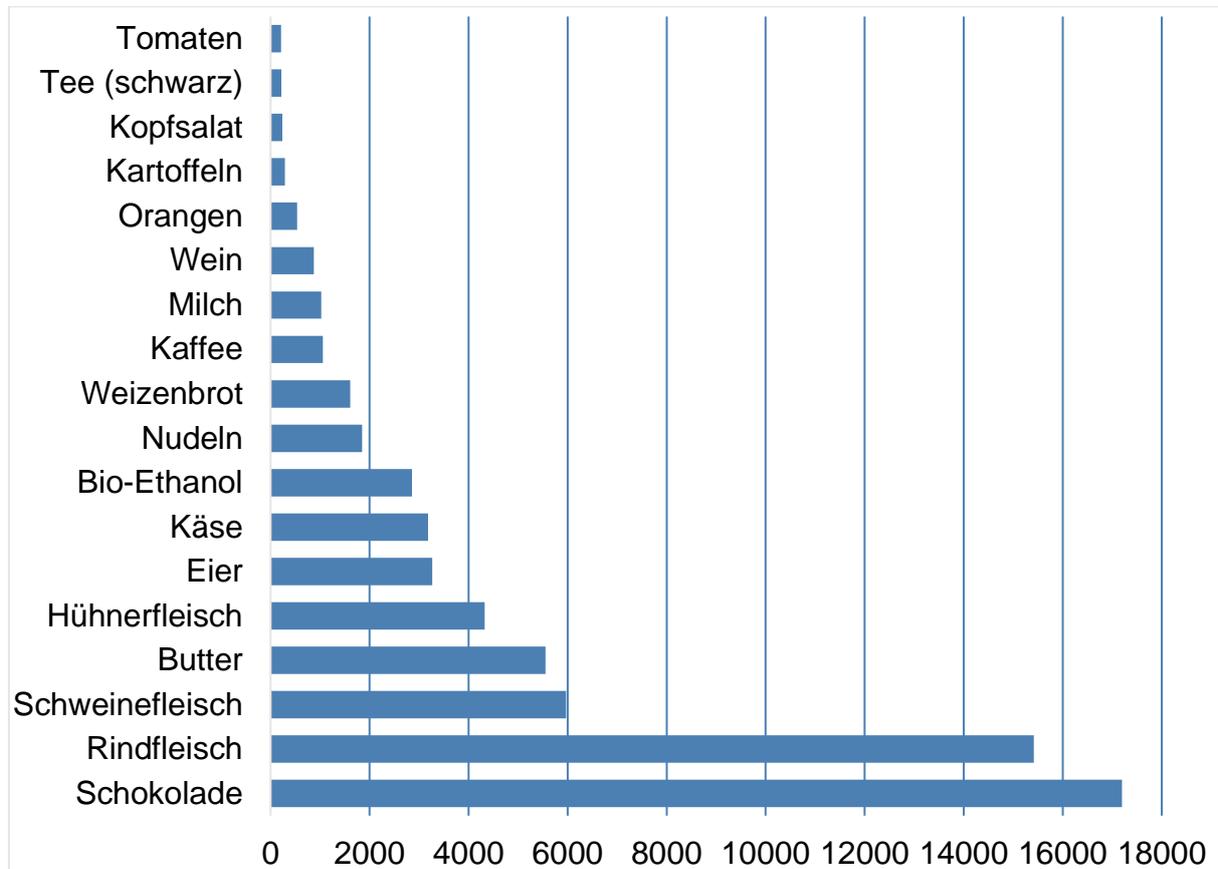


Abb. 13: Quelle: Mekonnen und Hoekstra, 2010, 2011, 2012. [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)<sup>28</sup>

Das Vorgehen zur Bewertung der Umweltauswirkungen in Verbindung mit der Nutzung, Entnahme und Verbrauch von Wasserressourcen wird in der kürzlich veröffentlichten ISO Norm 14046 beschrieben. Diese belegt, dass die Nutzung der Ressource Wasser bei der Rohstoffgewinnung für Produkte in nahezu allen Anwendungsbereichen einen herausragenden Anteil einnimmt. Aufgrund dieser ernstesten Versorgungsproblematik nehmen die Publikationen, die sich mit dem Thema „Imported Footprint“ befassen, in den letzten Jahren zu. Dies ist im Sinne der Chemie, da die Sicherheit ihrer Rohstoffversorgung durch eine effiziente Nutzung der Ressource Wasser nachhaltig verbessert wird insbesondere in Regionen, die von Wasserknappheit und Dürre geprägt sind.

<sup>28</sup> <http://www.chemanager-online.com/news-opinions/grafiken/megatrend-wasser-daten-und-fakten;>  
 Quelle: T. Hillenbrand et.al., Frh ISI, Karlsruhe, Okt. 2008; Wasser Wandel Wohlstand, BMU, Nov. 2011

### 3.3. Mengenströme: Wo geht das Wasser in der Chemie hin? Wie viel Wasser verbraucht die Chemie?

Die Industrie generell und die Chemieindustrie im Besonderen haben in den vergangenen Jahrzehnten ihren spezifischen Wasserverbrauch in Deutschland deutlich gesenkt, wie die folgenden Beispiele belegen. So konnte der industrielle Wasserverbrauch zwischen 1991 und 2004 von über 12 auf unter 9 Milliarden Kubikmeter gesenkt werden. Die Chemieindustrie wiederum konnte in den vergangenen 15 Jahren die eingesetzte Wassermenge pro Produkteinheit nochmals deutlich senken. Die Branche benötigte 2012 rund 2,9 Milliarden Kubikmeter Wasser, wovon 80 % aus Flüssen entnommen und zum Kühlen der Anlagen eingesetzt werden, welches nach Gebrauch gereinigt den Flüssen zugeführt wird. Die Chemieindustrie konnte dabei ihren gesamten Wasserverbrauch trotz einer Produktionssteigerung um über 30 % konstant halten. Damit wurde ein Niveau erreicht, das sich kaum mehr verbessern lässt.<sup>29</sup> Etwa 20 % des insgesamt benötigten Wassers werden in der Chemieindustrie als Lösemittel, Reaktionsmedium oder Reinigungsmittel, also für die Chemikalienherstellung im engeren Sinne, genutzt. Die anfallenden Abwässer werden so weit aufbereitet und gereinigt, dass sie wieder in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden können, also weitestgehend wiedergenutzt werden können.

### 3.4. Beiträge zur Wassereinsparung in anderen Branchen

#### **Rohstoffgewinnung und Rohstoffaufbereitung: Von der Pyrometallurgie zur Hydrometallurgie**

Große Mengen an Energie und Chemikalien werden weltweit bei der Verarbeitung mineralischer Ausgangsmaterialien zur Metallgewinnung benötigt. Der Trend geht von pyrometallurgische zu hydrometallurgischen Verfahren bei der Rohstoffgewinnung und Rohstoffaufbereitung. Die Vorteile der Hydrometallurgie gegenüber der Pyrometallurgie für die Ressourcennutzung sind vielfältig:

- kein Wärmeeintrag,
- keine Emissionen, wie z. B. Gase, Dioxine, Staub, und geringe Rückstände,
- hohe Ausbeuten,
- geringe Investitionskosten durch in-situ- oder Heap Leaching-Verfahren sowie
- geringe Belastung für das Betriebspersonal.

Die Herausforderungen dieser Gewinnungsmethode liegen in der Versorgung der Minen mit Rohwässern für die Herstellung der wässrigen Lösungen und die Reinigung der entstehenden Abwässer, da die Minen häufig in ariden Gebieten liegen, so dass Wasser aus Meerwasserentsalzungsanlagen den Abbaustätten zugeführt werden muss. Die Abwässer aus diesen Verfahren müssen nach den Prozessschritten von

---

<sup>29</sup> s.a. die Beispiele auf den Seiten 7-8.

Schwermetallen befreit und neutralisiert werden, um den steigenden Anforderungen an die zurückgeführte Wasserqualität zu entsprechen. Dabei ermöglichen beispielsweise Polymer- oder Keramikmembrane und Ionenaustauscherharze die Abtrennung bzw. Konzentrierung von Feststoffen, Metallen und Säuren. Ferner lassen sich die beim Wertstoffrecycling anfallenden Abwasserströme mithilfe von Ionenaustauschern selbst von Spuren gesundheitsschädlicher und umweltgefährdender Giftstoffe, wie Arsen, Cyanid, Nickel, Cadmium etc. befreien.

Darüber hinaus kommt neben dem konventionellen Bergbau der Rückgewinnung von Metallen aus Produktionsrückständen und entsorgten Produkten aufgrund immer knapper werdender natürlicher Ressourcen bei gleichzeitig stetig steigender Nachfrage eine immer größere Bedeutung zu.

Grundsätzlich müssen die Verfahren für die Gewinnung und Aufarbeitung metallischer und mineralischer Rohstoffe und die Möglichkeiten zu deren Recycling verbessert werden. Die Entwicklung neuer Recyclingtechnologien kann darüber hinaus für die deutsche Wirtschaft zu einem wichtigen Exportfaktor werden.<sup>30</sup>

### 3.5. Wasserversorgung und -behandlung

Wasser ist für die Industrie sowohl auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene von entscheidender Bedeutung. Die Anforderungen an die Wassertechnik im industriellen Sektor unterscheiden sich nicht nur grundsätzlich von denen des kommunalen Sektors, sondern sind darüber hinaus branchen- und standortabhängig so verschieden, dass standardisierte Lösungen nicht möglich sind.

Generell erfordern die unterschiedlichen Bedürfnisse eine Kombination aus methodischem und fachlichem Know-how sowie eine maßgeschneiderte Prozesstechnik. Durch die enge Verzahnung der Produktion mit der Wassertechnik sind integrative Technologien und Managementsysteme notwendig.

Die daraus resultierende integrierte, nachhaltige Industrie-Wasserwirtschaft verringert die Abhängigkeit der Produktionsprozesse von externen Wasser-, Rohstoff- und Energieressourcen sowie von weiteren Einflussfaktoren wie rechtlichen Rahmenbedingungen. Sie ist nicht nur für den innerdeutschen Markt von großer Relevanz, sondern stärkt auch den Export von Technologien, Ausrüstungen, Ingenieur- und anderen Dienstleistungen und verbessert die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen in internationalen Märkten.

---

<sup>30</sup> Chemie als Innovationstreiber in der Materialforschung, Deutsche Bunsen-Gesellschaft (DBG), DECHEMA, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM), GDCh, VCI, Frankfurt, Dezember 2012

Aufgrund der großen Innovationspotenziale einer integrierten und nachhaltigen Industriewasserwirtschaft hat sich die ProcessNet-Fachgruppe „Produktionsintegrierte Wasser- und Abwassertechnik“ zur Aufgabe gemacht, ausgehend von dem aktuellen Ist-Zustand Trends und Perspektiven in der industriellen Wassertechnik für das Jahr 2030 aufzuzeigen sowie Entwicklungsziele, Herausforderungen und die resultierenden Handlungsfelder zu definieren.<sup>31</sup> Außerdem werden der notwendige Forschungs- und Entwicklungsbedarf beschrieben und potenzielle Wege zur Realisierung aufgezeigt.

So lassen sich mit Blick auf den Stand der Technik im Jahr 2030 folgende Entwicklungsziele für eine integrierte, nachhaltige Industriewasserwirtschaft formulieren:

Intelligente Managementsysteme steuern die Wasserverteilung und -nutzung unter Berücksichtigung der technischen/natürlichen Wassernetzwerke und -kreisläufe (Smart Networks). Die Einspeisung von Abwässern in kommunale Kläranlagen und Oberflächengewässer erfolgt unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Infrastruktur sowie unter Vermeidung von Schäden für natürliche Gewässer und von Verlagerungen in andere Umweltkompartimente. Diese Prämissen gelten auch für die Wärmeabgabe.

Die ständige Optimierung der Produktionsprozesse unter Nutzung produktionsintegrierter Verfahren führt zu einer zunehmenden Reduzierung des Wasserbedarfs und der Schmutzfrachten und steigert die Wirtschaftlichkeit des Recyclings von Prozesswasser, Inhaltsstoffen und Prozesswärme. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Wasserqualität. Investitionsentscheidungen werden auf Basis von Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC) und anderen Instrumenten zur Beurteilung der Nachhaltigkeit getroffen.

Für die Chemieindustrie interessante Anwendungsfelder mit besonderen Anforderungen an die Wassertechnik werden im Folgenden aufgezeigt.

### **Biotechnologie**

Die Biotechnologie bietet für die chemisch-pharmazeutische Produktion interessante und ressourceneffiziente Verfahrensalternativen an bzw. ermöglicht in vielen Fällen erst die effiziente Produktion von Industriechemikalien im Bereich der Naturstoffe, die ein besonderes Potential aufweisen. Allerdings ändern sich die Anforderungen an die Abwasserreinigung: Die in der Regel kleinvolumigen Prozesse mit kleineren Reaktorvolumina haben geringe Abwasserströme zur Folge, die von der

---

<sup>31</sup> Trends und Perspektiven in der industriellen Wassertechnik – Rohwasser – Prozess – Abwasser, Positionspapier der ProcessNetFachgruppe Produktionsintegrierte Wasser und Abwassertechnik, Frankfurt, März 2014

Chemieindustrie beherrscht werden und die darüber hinaus keinen wesentlichen Kostenfaktor darstellen.

### Rückgewinnung von Roh- und Wertstoffen aus Reaktionsprozessen, Aufbereitung von Nährstoffen aus Abfallströmen

Pflanzen, Tiere oder Menschen brauchen Phosphat bzw. Phosphor als essenziellen Nährstoff für den Zellstoffwechsel. Mehr als 80 % des weltweit geförderten Phosphors wird in Form von Phosphat in der Düngemittelindustrie verarbeitet. Das sind weltweit 223 Millionen t Phosphatgestein. In Deutschland werden jährlich etwa 250.000 t Phosphat-Düngemittel verbraucht, wovon 94 % importiert werden. Eine große Herausforderung stellt die Verknappung der weltweiten Reserven dar. Eine Möglichkeit zur Wiederverwertung des verbrauchten Phosphats ist die Nutzung des über Stoffwechselprozesse ausgeschiedenen Phosphats. Die Chemieindustrie hat Verfahren entwickelt, bei denen die Phosphate über Kohlendioxid-Einleitung in Klärschlamm-Wasser-Gemische aus dem Klärschlamm wieder herausgelöst und ausgefällt werden können. Somit können jährlich etwa 2 Millionen t Klärschlamm-Trockenmasse mit einem Phosphatgehalt von rund 50 % rund 120.000 t Phosphat, das entspricht bis zu 25 % der in Deutschland verbrauchten Menge, wiedergewonnen werden.

### Energetische Aspekte

Die Energieeffizienz der Wasseraufbereitung spielt eine ganz entscheidende Rolle für die Nachhaltigkeit der Wassernutzung. Der Energieverbrauch für verschiedene technologische Optionen zur Wasseraufbereitung wird in Abbildung 14 dargestellt:

Energieeffizienz der Wasseraufbereitung



Abb. 14: Quelle: DECHEMA

Dabei werden die Differenzen der notwendigen Energieaufwendungen deutlich. Die Aufbereitung von Wasser beispielsweise über Meerwasserentsalzungsanlagen ist heute Stand der Technik, allerdings eine Frage der für diesen Prozess benötigten Energie. Dabei werden mit den Membranverfahren und den thermischen Verfahren zwei Verfahrensvarianten eingesetzt. Die thermischen Verfahren weisen einen sehr hohen spezifischen Energiebedarf auf. Da die meisten Meerwasserentsalzungsanlagen in ariden Gebieten mit geringer Süßwasserversorgung und intensiver Sonneneinstrahlung stehen (Naher Osten, Nordafrika, Mittelmeerraum) ist die Kombination mit Solar- oder Windenergie naheliegend und zukunftssträftig.

### 3.6. Die analytische Chemie, Herausforderungen und neue Technologien

#### **Die Bedeutung der analytischen Chemie für die Wasserversorgung und -behandlung**

Die Identifizierung und Mengenbestimmung von anorganischen, organischen und mikrobiellen Inhaltsstoffen von Grund- und Oberflächenwässern hat eine essenzielle Bedeutung für die Versorgung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser und damit auch für die menschliche Gesundheit. Dank der analytischen Chemie ist Trinkwasser heute eines der am besten charakterisierten und unbedenklichsten Lebensmittel, die es gibt. Ohne die hochwertigen und hochsensitiven Nachweisverfahren von Wasserinhaltsstoffen nach heutigem Stand der Wasseranalytik ist das Risiko von potenziell gesundheitsschädlichen Verunreinigungen im Trinkwasser relativ hoch. Darüber hinaus ist die Analytik der Grund- und Oberflächenwässer zur Überprüfung der Qualität von Brunnen, Seen oder Flüssen sowie die Bestimmung der Inhaltstoffe in den Zuläufen von Kläranlagen und gereinigten Abwässern aus Kläranlagen von enormer Bedeutung für die Lebensqualität der Menschen und die ungestörte Entfaltung von Fauna und Flora.

Die qualitative und quantitative Bestimmung der Inhaltsstoffe im Wasser, anorganisch, organisch oder mikrobiell, hat in den letzten Dekaden mit der Entwicklung und Einführung hochsensitiver und sehr aufwendiger instrumenteller physikalischer Nachweisverfahren enorme Fortschritte gemacht. Es können heute bestimmte Inhaltsstoffe in immer niedrigeren Konzentrationen bzw. Nachweisgrenzen erfasst werden im Bereich von ppb (parts per billion) und ppt (parts per trillion). Diese Entwicklung wird weiter voranschreiten durch neue Analyseverfahren, durch die Kopplung mit physikalischen Verfahren und durch die Entwicklung neuer Verfahren, mit denen die Nachweisgrenzen weiter gesenkt oder die Methoden zur Probenvorbereitung und Analyse deutlich vereinfacht werden können. Darüber hinaus werden neue Verfahren erarbeitet, mit denen man auch Stoffe und Verbindungen quantitativ in komplexen wässrigen Analyten erfassen kann, die man vor einigen Jahrzehnten noch nicht bestimmen konnte oder die noch nicht auf der Liste der zu analysierenden Inhaltsstoffe standen, weil deren Effekte auf die Gesundheit und Umwelt noch nicht bekannt waren.

## Nachweisgrenzen und Grenzwerte

Es wird viel darüber diskutiert, inwiefern sich die Weiterentwicklung der analytischen Chemie mit der Verbesserung der Nachweisgrenzen bestimmter Stoffe zu immer niedrigeren Nachweisgrenzen und die gesetzlichen Rahmenbestimmungen zur Einhaltung bestimmter Grenzwerte, zum Beispiel der Trinkwasserverordnung und anderen umweltrelevanten analytischen Fragestellungen, wechselseitig vorangetrieben haben, da sich daraus resultierend immer niedrigere Grenzwerte durchgesetzt haben. Allerdings stellt die analytische Chemie nur die Methoden und Verfahren zur Verfügung, die Risikoabschätzung und die Erarbeitung von Grenzwerten geht Hand in Hand mit anderen Disziplinen wie zum Beispiel der Human- und Umwelttoxikologie sowie der Umweltmedizin, sie interagiert mit Geologen, Geochemikern und Hydrogeologen, die neue Erkenntnisse über die komplexen Zusammenhänge in unseren Wasserkreisläufen einbringen. Des Weiteren gibt es eine Wechselwirkung der analytischen Chemie mit der Entwicklung der Ingenieurwissenschaften auf dem Bereich der Wassertechnologien. Mit zunehmender technischer Kompetenz können gewisse Inhaltsstoffe, sei es für die Trinkwasserversorgung oder für andere Zwecke über innovative chemische und physikalische Verfahren immer besser abgetrennt werden.

## Neue Entwicklungen und Trends: Neue Krankheitserreger im Wasserkreislauf

Seit einigen Jahren werden in Wissenschaft und Fachöffentlichkeit die Einleitung und der Nachweis von bisher unbekannt organischen Spurenstoffen und organischen Mikroverunreinigungen<sup>32</sup> in Kläranlagen, Grundwässern, Oberflächenwässern und Trinkwasser diskutiert, deren Toxikologie und Risikobewertung für Mensch und Umwelt von Interesse ist. So will beispielsweise das Bundesumweltministerium Seen, Flüsse und Küstengewässer wirksamer vor Spurenstoffen schützen.<sup>33</sup> Die BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa<sup>34</sup> hat diese Thematik über die vergangenen Jahre bereits aufgegriffen und Lösungsansätze für das Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf erarbeitet. Jedoch gibt es darüber hinausgehende Bedarfe.

- Tragbare Geräte und Test-Kits für die Vor-Ort Analytik

---

<sup>32</sup> BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa, RiSKWa-Leitfaden – Begriffe und Definitionen zu ausgewählten Technologien zur Elimination von Spurenstoffen und Krankheitserregern aus Abwasser; Ergebnisse des Querschnittsthemas „Abwassertechnik“, September 2015

<sup>33</sup> Empfehlungen des Stakeholder-Dialogs „Spurenstoffstrategie des Bundes“ der Akteure aus Industrie, Zivilgesellschaft, Wasserwirtschaft und den Ländern mit Handlungsempfehlungen:  
[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Binnengewasser/spurenstoffstrategie\\_policy\\_paper\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/spurenstoffstrategie_policy_paper_bf.pdf)

<sup>34</sup> [www.bmbf.riskwa.de](http://www.bmbf.riskwa.de)

Die qualitative und quantitative Bestimmung von Inhaltsstoffen im Wasser als auch in anderen Bereichen der Umwelt- und Lebensmittelanalytik stützt sich heute größtenteils auf sehr aufwendige Nachweisverfahren, die auf komplexen Probenvorbereitungen und der Kopplung sehr teurer Gerätetechniken für die Auftrennung und den Nachweis der Substanzen beruhen, die man nur in einem speziell ausgerüstetem Labor durchführen kann. Methoden und Vorgehensweisen zum Nachweis der Stoffe sind genau festgelegt und beschrieben, die Bearbeitung der Analyseverfahren, die Bedienung der Geräte und Interpretation der Ergebnisse macht geschultes Fachpersonal erforderlich, um reproduzierbare Ergebnisse mit genauester Präzision unter Berücksichtigung der Grenzwerte zu erhalten. Um dem ständig wachsenden Bedarf nach einer schnellen Vor-Ort-Analytik entgegenzukommen, werden derzeit neue Test-Kits und Geräte entwickelt. Diese Technologien sind nicht nur für Anwendungen in Deutschland und Europa sehr nützlich, sondern insbesondere für weniger entwickelte Weltregionen mit besonderen Herausforderungen hinsichtlich der Qualität und Verschmutzung von Wasserquellen für die Trinkwasserversorgung und die über wenige Labore für die instrumentelle Analytik und Infrastruktur für die Aufreinigung von Rohwässern zu Trinkwasser verfügen.

#### ■ On-line Analytik und Sensoren

Dieser Trend zur Entwicklung neuer Methoden der Vor-Ort-Analytik wird überlagert von anderen technischen Innovationen, die enorme Bedeutung für die Weiterentwicklung der analytischen Chemie haben werden:

- die zunehmende Miniaturisierung der gerätebasierten Analytik zu handlichen, leichten und kompakten Gerätekompositionen;
- die Entwicklung von massenproduktionstauglichen, zum Beispiel druckbaren Sensoren, die beschichtet mit funktionellen, sensitiven Biomolekülen oder anderen Materialien mit bestimmten Substanzen oder Molekülen hochaffin wechselwirken und aufgrund optischer Eigenschaftsveränderungen oder elektrischen Eigenschaftsveränderungen sehr empfindliche Nachweise ermöglichen;
- die zunehmende Integration von Mikroelektronik und nanoskaligen Bauelementen zu analytischen Systemen auf einem Chip mit integrierten Schaltkreisen, Leiterbahnen, Transportkanälen, Mischern, Reservoirien für Reagenzien, Mikroreaktoren und Sensoren;
- die Online-Analytik, die sofort und ständig Messwerte aus Sensoren über die zeitliche oder örtliche Änderung der Konzentration einer Verbindung liefert;
- eine ubiquitäre Analytik bei der viele verschiedene miniaturisierte Analysegeräte, „Lab on the Chip“ Systeme oder Sensoren in einem Netzwerk verteilt über größere Flächen lokal- und zeitaufgelöste Analysedaten erheben können;
- die zunehmende Verknüpfung der o. g. Trends mit den neuen Möglichkeiten der internetbasierten Steuerung und Kontrolle der vernetzten Analysegeräte bzw. Sensoren.

Die analytische Chemie erhöht damit die Lebensqualität der Menschen und die Sicherheit und Qualität der Trinkwasserversorgung. Sie ist eine innovative Schlüsseldisziplin der Chemie im Zusammenspiel mit anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften mit großen Auswirkungen auf die Gebiete der Umwelt- und Bodenanalytik, Lebensmittelanalytik, forensischen Analytik oder der biomedizinischen Analytik.

### 3.7. Technologische Herausforderungen

#### **Antrieb und Anforderungen zur Wasserbehandlung**

Ziel der effizienten Wassernutzung in der Industrie ist es, möglichst wenig Wasser der Umwelt zu entnehmen und im Anschluss an die Nutzung diese an die Umwelt wieder in möglichst reiner Form abzugeben. Neben dem verantwortungsvollen Umgang mit der Ressource Wasser und dem Schutz der Umwelt, spielen auch wirtschaftliche Überlegungen eine Rolle, da durch die Wiederverwendung von Wasser erhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden. Die Wiederverwendung kann dann sogar zu einem (fast) geschlossenen Kreislauf (closed loop) führen, der ohne oder nur mit geringer Frischwasserzufuhr auskommt („Zero oder Minimized Liquid Discharge“ System); die technologische Ausführung ist hierbei stark von den regionalen Anforderungen abhängig insbesondere in Regionen, die von Wasserknappheit und Dürre geprägt sind. In dem Kreislauf wird über physikalische und thermische Aufkonzentrierung mittels Membranen bzw. Verdampfern und anschließender Kristallisation die Schmutzfracht als Trockenmasse dem Kreislauf entnommen, das Wasser kehrt als Permeat bzw. Kondensat in den Kreislauf zurück. Dieser Prozess ist jedoch aus Investitions- und vor allem aus energetischen Gesichtspunkten kostspielig. Daher werden alternativ Systeme verwendet, die beispielsweise zwischen den problematischen Stoffen und den für die Umwelt unbedenklichen Stoffen unterscheiden. Oder aber Systeme, die Schadstoffe, vor allem organischer Natur, oxidieren oder absorbieren, wie zum Beispiel bei der gezielten Abtrennung von Schwermetallen mittels Ionenaustauscherharzen, der Absorption von Ölbestandteilen mittels Aktivkohle oder spezieller Harze sowie bei der Oxidation von pharmakologischen Spurenstoffen durch Ozon oder UV.

Dabei steht zunehmend nicht nur die Wiederverwendung von *Wasser* sondern alle Rohstoffe im Fokus im Sinne einer Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“), wobei im Abwasserbereich die Schmutzfracht des Abwassers über geeignete Trennverfahren wie Membranen, Ionenaustauscherharze oder thermisch in ihre wiederverwertbare Bestandteile zerlegt wird: ein Beispiel ist die Rückgewinnung von Salzen aus Färbereiabwässern mit Hilfe von Nanofiltrationsmembranen.

Einer vollständigen Kreislaufführung sind jedoch insofern Grenzen gesetzt, da die Eigenschaften der Einzelbestandteile im Abwasser oftmals zu ähnlich sind, als dass man chemisch-physikalische Trennmethode (Größenausschluss, Ladung, Dichte, Siedepunkt etc.) effektiv nutzen kann. In diesem Bereich besteht weiterhin Innovationsbedarf sowohl bei den Trenntechniken, wie auch bei den

Herstellungsprozessen, um komplexe Abwässer weitestgehend zu vermeiden bzw. die Stofftrennung zu erleichtern. Dabei sind die Anforderungen an Abwasserbehandlungsanlagen sind in den BVT-Merkblättern des Umweltbundesamtes (UBA) zusammengefasst.<sup>35</sup>

Es wurde bereits am konkreten Beispiel gezeigt, wie über chemische Verfahren beispielsweise die Borkonzentration für die Wasseraufbereitung in der Landwirtschaft und der Trinkwasserversorgung verringert werden kann. Es besteht jedoch die Notwendigkeit, die Technologien für eine spezifische Reinigungsaufgabe aufeinander abzustimmen: Wenn thermische Wasserentsalzung wie auf der Arabischen Halbinsel gemeinsam mit der Energieerzeugung betrieben wird, liegen die Borkonzentrationen unter den erforderlichen Grenzwerten. Durch Membrantechnologien kann der erforderliche Grenzwert nur über ein zweistufiges Verfahren erzielt werden.<sup>36</sup>

#### 4. Empfehlungen

Forschungsförderung über staatliche Investitionen in Forschung und Entwicklung (FuE) senkt die Einstiegsbarriere für den Unternehmer und gibt den Unternehmen die Möglichkeit, mit den Partnern in ihrer jeweiligen Wertschöpfungskette oder ihren Wertschöpfungsketten dort zu kooperieren, wo die erkannten Innovationspotenziale nicht allein gehoben und wodurch darüber hinaus zusätzliche Innovationspotenziale identifiziert werden können. Forschungsförderung über Verbundprojekte teilt das Risiko unter den Industriepartnern und generiert darüber hinaus über die Wertschöpfungskette die notwendige kritische Masse für die Erschließung bereits etablierter oder zukünftiger Märkte. Ein weiterer wichtiger Aspekt für alle Unternehmen ist die Möglichkeit, Kontakte zu potenziellen Kooperationspartnern wie Partnern aus Hochschulen und der Akademie zu knüpfen, womit externes Know-how in die Prozesse der Unternehmen eingebracht und wiederum neue Themen und mögliche Geschäftsfelder für die Unternehmen erschlossen werden können. So sind die Chemieindustrie und ihre Partner in der Wertschöpfungskette Wasser auf eine effektive Forschungsförderung insbesondere im Hinblick auf die weltweiten Exportmärkte für Wassertechnologien angewiesen. Langfristig angelegte und thematisch breit angelegte Fördermaßnahmen zum Thema Wasser, die keine festen Einreichungstermine und eine sehr positive Wirkung auf die Technologieentwicklung in allen Unternehmen haben, sollten intensiviert werden.

Für die Technologieentwicklung nimmt die Bedeutung von branchenübergreifenden Netzwerken zwischen den verschiedenen Akteuren in der Innovationskette sowohl auf regionaler, nationaler als auch internationaler Ebene weiter zu. Insbesondere bei mittelständischen Unternehmen besteht weiteres Potential zur Vernetzung in der Forschungslandschaft. Der weitere Ausbau sowie die Verfeinerung und Effektivierung

<sup>35</sup> <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-download-bereich>

<sup>36</sup> s. Beispielanwendungen S. 4 - 9

der Netzwerke ist insbesondere für die Unternehmen der Chemieindustrie in einem Technologiefeld wie beim Thema Wasser, das stark von international agierenden Systemanbietern geprägt wird, von hoher Bedeutung. Dabei sollten die Fördermaßnahmen systemübergreifend ausgelegt werden und die best-practices des Technologietransfers aus Kompetenznetzwerken, Spitzenclustern und Innovationsallianzen einbeziehen.

Die auf dem Gebiet der Wassertechnologien praktizierten Modelle der Regionalförderung sollten weiterentwickelt werden im Sinne einer konsequenten Stärkung der Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft über Branchennetzwerke, Transferzentren und Kompetenzzentren, wobei die Implementierung durch Vertreter aus Industrie, Forschungsinstituten und Hochschulen frühzeitig begleitet werden sollte.

#### 4.1. Empfehlungen für die Forschungsförderung

Zur Gestaltung der Forschungsförderprogramme der Bundesressorts im Bereich der Wassertechnologien empfiehlt der VCI folgende Themenschwerpunkte:

- **Abwasserreinigung:**
  - Entwicklung von Aufreinigungstechnologien für Spurenstoffe
  - Erhöhung der Robustheit/Lebensdauer, der Dynamik und Selektivität der Reinigungssysteme
  - Dezentralisierte industrielle Abwasserbehandlung vor Ort (Produktionsintegration)
- **Trinkwasseraufbereitung/ Meerwasserentsalzung**
  - Erhöhung der Robustheit (wie zum Beispiel Verringerung des Membranfoulings) der Aufbereitungssysteme
  - Optimierung der Energieeffizienz und des Gesamtenergieverbrauchs einzelner und kombinierter Wasseraufbereitungstechnologien
- **Abwasserrecycling**
  - Rückgewinnung v.a. anorganischer (Phosphat, Lithium, Funktions- und Edelmetalle, seltene Erden) Wertstoffe, wo möglich auch organischer Wertstoffe aus Abwässern
- **Analytik**
  - Kopplung chemischer und biologischer Analytik, Erforschung der Struktur-Aktivitätsbeziehungen
  - Online-Analytik/ Digitalisierung
  - Analytik für Spurenstoffe sowie organische Spurenanalytik im Abwasser

- Vernetzung von Einzeltechnologien (wie zum Beispiel Spezialchemikalien für Fällungen, Membrantechnologien und Ionenaustauscher – Kombination der Technologien, Abstimmung in der Anwendung)

#### 4.2. Empfehlungen für technologie- und forschungspolitische Rahmenbedingungen

Neben einer konsequenten Förderpolitik ist es notwendig, die **internationale Kooperationen zur Technologieentwicklung** mit Ländern wie zum Beispiel China oder Indien zu befördern, die sich großen oder sehr großen Herausforderungen in der Wasserversorgung gegenüber sehen und bei denen sich daher gute Chancen für den Technologieexport bieten.

Darüber hinaus empfiehlt der VCI, die Förderung von Forschung und Entwicklung **von Demonstrationsprojekten und Testfeldern** zu intensivieren und auf regulatorischer Ebene die **Rahmenbedingungen** zur Durchführung von Demonstrationsprojekten und Testfeldern zu verfolgen, um die Umsetzung von Forschung und Innovationen in genehmigte Verfahren und Produkte insbesondere für den industriellen Mittelstand zu erleichtern. Dies betrifft vor allem

- die Umsetzung und Pilotierung, Testfelder, Environmental Technology Verification (ETV),<sup>37</sup> hier auch die Kooperation mit europäischen ETV Pilot Programmen und ISO-Aktivitäten zu ETV,<sup>38</sup>
- die Genehmigung von Produkten und deren Zertifizierung.

#### 4.3. Empfehlungen für die Förderung von Kooperationen und Netzwerken

Der VCI begrüßt die Aktivitäten der Bundesressorts zur Forschungsförderung wie zum Beispiel die Fördermaßnahme des BMBF „MachWas - Materialien für eine nachhaltige Wasserwirtschaft“.<sup>39</sup> Der VCI setzt sich für den **Ausbau von Kooperation** im Forschungsbereich und für die weitere **Förderung von Netzwerken** ein. Konkret gibt der VCI folgende Empfehlungen:

- Fortsetzung der Förderung der fortwährend wichtiger werdenden Kooperationen über die Wertschöpfungskette

---

<sup>37</sup> <http://ec.europa.eu/environment/etv/index.htm>

<sup>38</sup> <http://ec.europa.eu/environment/etv/international.htm>

<sup>39</sup> [www.machwas-material.de](http://www.machwas-material.de)

- insbesondere zur Entwicklung von Systemlösungen mit Anwendern und die Weiterentwicklung der Forschungsnetzwerke und -strukturen; Aufsetzen auf existierende nationale<sup>40</sup> und europäische Plattformen;<sup>41</sup>
- Weiterentwicklung der Vernetzung nationaler Plattformen auf europäischer Ebene und weltweit
  - Ausweitung der Förderung von Forschung und Entwicklung, die über die Möglichkeiten nationaler Forschungsförderaktivitäten hinausgehen;
- Vernetzung und Kooperation zur Entwicklung einzelner und kombinierter Wasseraufbereitungstechnologien über die gesamte Wertschöpfungskette;
- Fortführung der Etablierung regionaler Kompetenzzentren in Deutschland zur Wasserforschung und Möglichkeiten zur Ausbildung von Kooperationen mit der Wirtschaft insbesondere des Mittelstands und der KMU
  - zur Verbesserung des Know-hows zum Umweltschutz,
  - zur Steigerung der Effizienz in der Wassernutzung;
- Weitere Verbesserung der Förderung von Kooperationen von Industrie und Wissenschaft
  - insbesondere zur Entwicklung von Systemlösungen sowie
  - zur Weiterentwicklung von Einzeltechnologien;
- Intensivierung der Kooperation der beteiligten Akteure aus Wissenschaft und Industrie und der beteiligten Disziplinen und Branchen in den Wassertechnologien über Verbundprojekte und Plattformen:
  - Die Reichweite der Förderung sollte dabei von der chemischen Grundlagenforschung über die Verfahrensentwicklung bis zum Demonstrator und Pilotlinien gehen und sowohl grundlagenorientierte als auch innovationsbezogene Projekte bedienen.
  - Geeignete Instrumente sind u.a. Projekte mit einer längeren Laufzeit und aufeinander aufbauenden Projektstufen, die eine durchgehende Förderung von der grundlagenorientierten Synthese bis zum Engineering ermöglichen. Durch diese integrierte Projektstruktur kann die Innovationsgeschwindigkeit der Projektförderung gesteigert und der zunehmenden Geschwindigkeit des internationalen industriellen Wettbewerbs Rechnung getragen werden.

---

<sup>40</sup> BMBF-Plattform MULTI-ReUse: <https://water-multi-reuse.org/multi-reuse-gestartet/>;  
 Wassermanagement im FONA-Programm des BMBF: <https://fona.de/de/nachhaltiges-wassermanagement-19767.html>; und das Regionale Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM): <https://www.fona.de/de/regionales-wasserressourcen-management-fuer-den-nachhaltigen-gewaesserschutz...>

<sup>41</sup> Europäische Innovationspartnerschaft Wasser – EIP Water: <https://fona.de/de/eip-wasser-15729.html>;  
 Joint Programming Initiative (JPI Water): <https://fona.de/de/jpi-water-15732.html> und  
[http://waterjpi.eu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=453&Itemid...](http://waterjpi.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=453&Itemid...)

- Es sollten die Ausschreibungen zu den einzelnen Forschungsprogrammen gezielt von fixen Ausschreibungsterminen gelöst, gegebenenfalls mehrere Ausschreibungstermine vorgesehen oder Inhalte gezielt „gestaffelt“ gefördert werden.

### Liste der Autoren

- Dr. Karl-Heinz Eichin, Currenta GmbH & Co. OHG
- Prof. Dr. Swen-Uwe Geißen, Technische Universität Berlin
- Dr. Andreas Gorenflo, Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH, Rheinmünster
- Dr. Thomas Kullick, Verband der Chemischen Industrie e.V.
- Dr. Armin Leng, Merck KGaA
- Dr. Martin Reuter, Verband der Chemischen Industrie e.V.
- Dr. Michael Schelhaas, LANXESS Deutschland GmbH
- Prof. Dr. Claudia Staudt, BASF SE
- Dr. Thomas Track, Deutsche Gesellschaft für Biotechnologie und chemische Verfahrenstechnik (DECHEMA)