

> Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel

Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte
Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland

acatech (Hrsg.)

acatech POSITION

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN



> Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel

Ansätze und Voraussetzungen für eine integrierte
Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland

acatech (Hrsg.)

acatech POSITION

Februar 2012

Herausgeber:
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

T +49(0)89/5203090
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610
F +49(0)30/206309611

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Mitarbeit: Dr. Amelie Bücker, Dr. Knut Kaiser, Dipl.-Ing. Ulrike v. Schlippenbach
Redaktion: Monika Damm, Linda Tönskötter
Layout-Konzeption: acatech
Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS,
Sankt Augustin

Die Originalfassung der Publikation ist verfügbar auf www.springerlink.com

> INHALT

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| KURZFASSUNG | 5 |
| PROJEKT | 8 |
| 1 EINLEITUNG | 10 |
| 2 KLIMAWANDEL UND WASSERHAUSHALT | 16 |
| 3 WASSERNUTZUNG UND WASSEREFFIZIENZ IN LANDSCHAFTEN | 21 |
| 4 WASSERBESCHAFFENHEIT | 27 |
| 5 REGULATORISCHE UND INSTITUTIONELLE ANSÄTZE FÜR EINE NACHHALTIGE WASSERBEWIRTSCHAFTUNG | 36 |
| 6 QUERSCHNITTSTHEMEN | 40 |
| LITERATUR | 44 |
| GLOSSAR | 53 |
| ANHANG: EXPERTENVERZEICHNIS | 56 |

KURZFASSUNG

Süßwasser (im Folgenden vereinfacht als „Wasser“ bezeichnet) ist ein kostbares Gut. Es gehört zu den essenziellen Georesourcen. Die wohl offensichtlichste Nutzung von Wasser findet im Haushalt statt: wir waschen, kochen, trinken, spülen und gießen unsere Pflanzen mit Wasser. Doch den größten Anteil des Wassers benötigen die Landwirtschaft und die Industrie, vorwiegend die Kraftwerkskühlung bei der Energieerzeugung.

Etwa ein Drittel der weltweiten Süßwasserressourcen besteht aus Grundwasser (30,1 Prozent), nur ein kleiner Teil befindet sich in Seen (0,26 Prozent), Feuchtgebieten (0,03 Prozent) und Flüssen (0,006 Prozent). Der weitaus größere Anteil ist in Eis und Schnee gebunden und kann damit nur schwer genutzt werden.

Einfluss des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen

Der Klimawandel, die Globalisierung der Märkte, der demografische Wandel, die rasanten technologischen Entwicklungen sowie die Veränderungen der Landnutzung sind verschiedene Facetten des sogenannten Globalen Wandels. Welchen Einfluss der Globale Wandel auf die verfügbaren Wasserressourcen hat, ist von Region zu Region unterschiedlich. In jedem Fall steigt der Nutzungsdruck auf die Georessource Wasser weiter an; bereits jetzt zeichnen sich regionale Konkurrenzen und Konflikte bei der Nutzung ab. So wird sich beispielsweise der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft durch die steigende globale Nachfrage nach Nahrungsmitteln und Rohstoffen weiter erhöhen. Infolge des Globalen Wandels und der Veränderungen der Flusslandschaften ist auch vermehrt mit Hochwasserschäden zu rechnen.

Ausreichende Wasserressourcen in hinreichender Qualität zu sichern, sowie der Gewässerschutz und die Hochwasservorsorge sind daher zentrale Anliegen unserer Gesellschaft. Innovative Anpassungsstrategien und neue Technologien können hierbei nicht nur zu einer nachhaltigen Wasser- und

Bodenbewirtschaftung führen, sondern gleichzeitig auch wirtschaftliche Chancen auf dem Weltmarkt eröffnen. Gerade durch die Demonstration und den Export von Technologien und Verfahrensweisen kann Deutschland einen Beitrag zur Lösung globaler Wasserprobleme leisten.

Wasserressourcen in Deutschland

Deutschland ist ein wasserreiches Land. Trotz einer insgesamt ausreichenden Wassermenge gibt es jedoch auch hier Regionen mit nur geringen nutzbaren Wasservorkommen bzw. Regionen, deren Wasserressourcen erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen. Mit Blick auf die Wasserressourcen steht Deutschland vor folgenden schon bestehenden und noch zu erwartenden Herausforderungen.

Klimawandel und Wasserhaushalt

Der Klimawandel ist in Deutschland anhand empirischer Befunde zu belegen. Besonders starke klimatische Veränderungen wurden für Südwestdeutschland, den Alpenraum und Ostdeutschland festgestellt. Pegelmessungen belegen an vielen Flüssen eine deutliche Veränderung des Wasserhaushalts innerhalb der letzten hundert Jahre. Während eine Reihe west- und süddeutscher Flüsse häufiger Hochwasser zu verzeichnen hat, führen andere Flussläufe hingegen weniger Wasser oder trocknen zeitweise sogar aus. Regional verändert sich auch der Grundwasserspiegel. So steigt er in Teilen von Westdeutschland seit etwa zwanzig Jahren deutlich an, in Nordostdeutschland hingegen – vor allem in Brandenburg – sinkt er. Insbesondere in Regionen, deren Wasserhaushalt bereits heute angespannt ist – wie das Tiefland Ostdeutschlands – sind künftig spürbare Auswirkungen auf die verfügbaren Wasserressourcen zu erwarten. In einigen Gebieten sind Engpässe in der Wasserbereitstellung für Landwirtschaft, Energiewirtschaft und Ökologie absehbar, beispielsweise für die landwirtschaftliche Bewässerung, die Kühlung von Kraftwerken und den Erhalt von Feuchtgebieten. Vor diesem Hintergrund

gewinnen eine fundierte Quantifizierung des Wasserhaushalts und eine rationelle Wassermengenbewirtschaftung eine besondere Bedeutung.

Wassernutzung und Wassereffizienz in Landschaften

Die Verfügbarkeit von Wasser wird im Allgemeinen zunächst lokal oder regional beurteilt. Auf dieser Ebene spielen unter anderem die Vegetationsbedeckung und die Art der Bodennutzung eine entscheidende Rolle für die Wasserressourcen in der Landschaft. Mit den zunehmenden weltweiten Wirtschaftsverflechtungen wird jedoch auch die globale Betrachtung immer bedeutsamer. Der Handel und der Transport von Gütern haben direkten Einfluss auf die Wasserressourcen eines Landes („Virtueller Wasserhandel“). So kann zum Beispiel der Wasserverbrauch in einem wasserarmen Land nicht nur durch ein verbessertes lokales Management reduziert werden, sondern auch durch die Einfuhr wasserintensiver Agrargüter statt ihrer Produktion vor Ort.

Wasser kennt zudem keine politischen Grenzen. Flusseinzugsgebiete erstrecken sich oft über mehrere administrative Grenzen oder Länder hinweg. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie fordert daher eine flussgebietsbezogene Bewirtschaftung von Wasserressourcen. Des Weiteren schreibt sie explizit die Information, Anhörung und aktive Beteiligung der Öffentlichkeit vor. Diese zusätzlichen Anforderungen an die Wasserbewirtschaftung stellen die Politik, die Wirtschaft und die Wissenschaft vor eine Vielzahl von Aufgaben, die es gemeinsam zu bewältigen gilt.

Wasserbeschaffenheit

Eine große wasserbezogene Herausforderung der Zukunft in Deutschland ist voraussichtlich die Wasserbeschaffenheit und damit der Erhalt qualitativ hochwertiger Wasserressourcen. Dies betrifft insbesondere Stoffeinträge in die Gewässersysteme. So führt eine weitere Intensivierung der land-

wirtschaftlichen Produktion als Folge des Globalen Wandels auch in Deutschland zu einem erhöhten Eintrag von Schadstoffen (Pflanzenschutzmittel, Düngerreste). Hinzu kommt neben den „alten“, aber nach wie vor relevanten Problemstoffen (Schwermetalle, radioaktives Jod, CO₂, Nitrat) auch eine Reihe „neuer“ Stoffe, die in steigendem Maße weltweit produziert werden und schließlich in den Gewässern nachgewiesen werden können. Diese Stoffeinträge beeinträchtigen die Wasserqualität, was Auswirkungen sowohl auf die menschliche Gesundheit als auch auf die Umwelt hat.

Aber auch die Nutzung des Untergrunds ist mit möglichen Folgen für den natürlichen Wasserkreislauf und die Wasserbeschaffenheit verbunden. Bereits heute werden komplexe Anforderungen an den Untergrund gestellt, der zum Beispiel zur Trinkwasserentnahme, Abproduktentsorgung¹, Infrastrukturversorgung oder Speicherung thermischer Energie genutzt wird. Somit ist eine zunehmende Konkurrenz bei der Untergrundnutzung zu erwarten, die sich wiederum auf die Grundwasserqualität auswirken kann.

Regulatorische und institutionelle Ansätze für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung

In den letzten beiden Jahrzehnten hat sich das Konzept des „Integrierten Wasserressourcen-Managements“ (IWRM) als zentraler Teil der internationalen Agenda etabliert. Integrierte Wasserbewirtschaftung wird dabei als ein Prozess beschrieben, der eine Entwicklung der Wasser- und Landressourcen sowie der damit verknüpften Naturressourcen auf eine Weise ermöglicht, dass sowohl der ökonomische Nutzen als auch die soziale Wohlfahrt für die Gesellschaft ein Maximum erreichen, ohne die (nachhaltige) Lebensfähigkeit der betroffenen Ökosysteme zu beeinträchtigen.

Obwohl über die Existenz der engen Wechselbeziehung zwischen Wasser- und Landnutzung auch in Deutschland

¹ Grundsätzlich ist die Einleitung von Schadstoffen in das Grundwasser nicht zulässig. Unter bestimmten Bedingungen sind jedoch Ausnahmen erlaubt, beispielsweise zur Entsorgung und Speicherung von im Bergbau anfallenden Abwässern, wenn die Aufnahmekapazität der Oberflächengewässer ausgeschöpft ist (zum Beispiel salzhaltige Laugen aus der Gewinnung und Aufbereitung von Kalisalz).

weitgehend Klarheit besteht, überwog und überwiegt in Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft die Tendenz, Land und Wasser getrennt zu betrachten. Besonders die Umweltschutzverwaltungen im Ressortgefüge von Bund und Ländern müssen sich mit den existierenden Defiziten auseinandersetzen und gegebenenfalls umsteuern.

Die vorliegende acatech POSITION greift eine Reihe von Handlungsansätzen auf und benennt Voraussetzungen, um eine nachhaltige Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland zu fördern. Folgende **Empfehlungen** werden gegeben:

Klimawandel und Wasserhaushalt

- (1) Hydrologische Quantifizierung verbessern und Unsicherheiten offensiver kommunizieren
- (2) Wissensstand zur bisherigen Veränderlichkeit des Wasserhaushalts verbessern
- (3) Wassermengenbewirtschaftung optimieren und Risikomanagement etablieren

Wassernutzung und Wassereffizienz in Landschaften

- (4) Wasser in Landschaften neu bewerten
- (5) Wassereffizienz in der Landwirtschaft durch gezielte Maßnahmen unterstützen
- (6) Funktionalität und Einsatzmöglichkeiten von Bodenhilfsstoffen erforschen
- (7) Bewusstsein zu nachhaltiger Wassernutzung in Wirtschaft und Öffentlichkeit schärfen

Wasserbeschaffenheit

- (8) Einträge unerwünschter Stoffe in den Wasserkreislauf vermeiden und aus den Abwässern entfernen
- (9) Risikobewertung von Stoffgemischen und Spurenstoffen konzeptionieren

- (10) Mehrfachnutzung von Wasser vorantreiben
- (11) Hygienische Qualität von Roh- und Trinkwasser überwachen und sicherstellen
- (12) Auswirkungen der Nutzung des Untergrunds auf das Wasser beachten

Regulatorische und institutionelle Ansätze für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung

- (13) Naturressourcen integriert betrachten und bewirtschaften
- (14) Theorie und Praxis durch die Verstärkung von regionalen Netzwerken enger verbinden
- (15) Adäquate Formen der Kommunikation von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit finden

Querschnittsthemen

- (16) Integriertes Monitoring einführen und Monitoringprogramme systematisieren
- (17) Interdisziplinäre, anwendungsorientierte Forschung stärken
- (18) Zukunftsweisende Technologien vorantreiben und Rahmenbedingungen für Innovationen verbessern

PROJEKT

Diese Position entstand auf Grundlage der acatech STUDIE *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (Hüttl und Bens 2012).

> PROJEKTLEITUNG

Prof. Dr. Dr. h. c. Reinhard F. Hüttl, acatech Präsident, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum

> STV. PROJEKTLEITUNG

Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Emmermann, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum, Präsidiumsmitglied acatech

> PROJEKTGRUPPE

- Dr. Oliver Bens, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum
- Prof. Dr. Günter Blöschl, Technische Universität Wien
- Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Emmermann, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum, acatech
- Prof. Dr. Dr. h. c. Hannes Flühler, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- Prof. Dr. Hans-Georg Frede, Justus-Liebig Universität Gießen
- Prof. Dr. Rolf Gimbel, Universität Duisberg-Essen
- Prof. Dr. Gerhard Glatzel, Universität für Bodenkultur Wien
- Prof. Dr. Peter Grathwohl, Eberhard-Carls-Universität Tübingen
- Prof. Dr. Uwe Grünwald, Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Prof. Dr. Bernd Hansjürgens, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig
- Prof. Dr. Bernd Hillemeier, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr. Dr. h. c. Reinhard F. Hüttl, acatech, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum
- Prof. Dr. Dr. Sabine Kunst, Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg

- Prof. Dr. Dr. Franz Makeschin, Technische Universität Dresden
- Prof. Dr. Bruno Merz, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum
- Prof. Dr. Rainer Meckenstock, Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
- Prof. Dr. Jörg Negendank, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum
- Dr. Konstantin Reetz, BRAKELEY Gesellschaft für Strategisches Fundraising München
- Prof. Dr. Helmar Schubert, Karlsruher Institut für Technologie
- Dr. Thomas Ternes, Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz

> REVIEWER

- Prof. Dr. E. h. Ph. D. Hermann H. Hahn, Karlsruher Institut für Technologie, Heidelberger Akademie der Wissenschaften
- Prof. Dr. Dr. Fritz H. Frimmel, Karlsruher Institut für Technologie
- Prof. Dr. Andreas H. Schumann, Ruhr-Universität Bochum

acatech dankt allen externen Fachgutachtern. Die Inhalte der vorliegenden Position liegen in der alleinigen Verantwortung von acatech.

> AUFTRAGNEHMER

Zu Einzelthemen wurden 13 Expertisen in Auftrag gegeben. Diese sind in der Reihe acatech MATERIALIEN erschienen:

Bergmann 2011; Exner und Seemann 2011; Hansjürgens 2011; Knacker und Coors 2011; Koch und Grünwald 2011; Krauss und Griebler 2011; Maurer et al. 2011; Schubert 2011a; Schubert 2011b; Slavik und Uhl 2011; Theesfeld und Schleyer 2011; Wagner et al. 2011; Wiesmann 2011.

Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

- Dr. Christian Schleyer

Brandenburgische Technische Universität Cottbus

- Prof. Dr. Uwe Grünewald

Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz

- Dipl.-Meteorologe Peter Krahe
- Dr. Thomas Maurer
- Dr. Enno Nilson

ECT Oekotoxikologie GmbH Flörsheim a. M.

- Dr. Anja Coors
- Dr. Thomas Knacker †

geofluss Hannover

- Dr. Nikolai Panckow
- Dr. Carsten Scheer

Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

- Dr. Christian Griebler
- Dr. Steffen Krauss

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig

- Prof. Dr. Bernd Hansjürgens

Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa, Halle (Saale)

- Dr. Insa Theesfeld

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung Mühlheim

- Dr. Axel Bergmann

Karlsruher Institut für Technologie

- Prof. Dr. Helmar Schubert

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

- Dr. Hagen Koch

Technische Universität Berlin

- Prof. Dr. Matthias Barjenbruch
- Dipl.-Ing. Eva Exner
- Prof. Dr. Reinhard Hinkelmann
- Dipl.-Ing. Sandra Seemann
- Prof. Dr. Udo Wiesmann

Technische Universität Dresden

- Dr. Irene Slavik
- Prof. Dr. Wolfgang Uhl

Technische Universität Wien

- Dr. Annett Bartsch
- Mag. Michael Vetter
- Prof. Dr. Wolfgang Wagner

Darüber hinaus haben zahlreiche weitere Expertinnen und Experten beratend oder durch Vorträge bei Veranstaltungen zum Projekt beigetragen. Diese sind im Anhang genannt. Die Projektgruppe dankt allen Beteiligten.

> MITARBEITERINNEN UND MITARBEITER**Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum**

- Dr. Knut Kaiser
- Dr. Amelie Bücken
- Dipl.-Ing. Ulrike von Schlippenbach
- Dipl. Pol. Monika Damm
- Dr. Judy Libra (bis 30.4.2011, jetzt Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim)

> PROJEKTKOORDINATION

- Dr. Oliver Bens, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum
- Dr. Ulrich Glotzbach, acatech Geschäftsstelle Berlin

> PROJEKTVERLAUF

Projektlaufzeit: 12/2008-12/2011.

Diese acatech POSITION wurde im November 2011 durch das acatech Präsidium syndiziert.

> FINANZIERUNG

acatech dankt dem acatech Förderverein für die Finanzierung des Projekts und den Freunden der TU Berlin für die Finanzierung einer zusätzlichen Expertise.

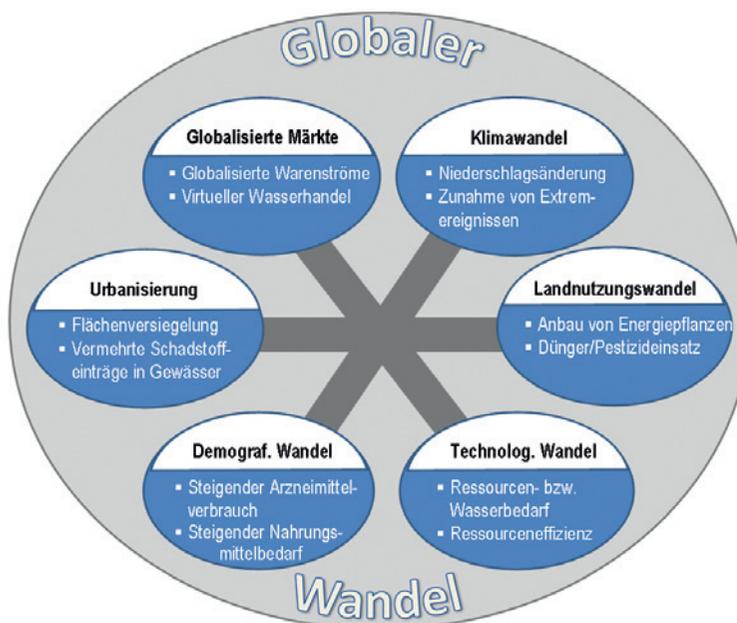
1 EINLEITUNG

Globaler Wandel und regionale Wasserressourcen

Jahrhunderthochwasser 2002, Rekordsommer 2003 oder der wärmste, bislang gemessene Winter 2006/07 – Schlagzeilen, die uns allen geläufig sind. Auch das Jahr 2011 zeichnete sich durch meteorologische Rekorde aus: Das Frühjahr 2011 war in Deutschland das sonnigste seit dem Beginn der Sonnenscheinmessungen im Jahr 1951, das zweitwärmste seit Beginn der deutschlandweiten Temperaturmessungen 1881, sowie das trockenste seit 1893 (DWD 2011a). Dagegen war der Sommer im Osten Deutschlands sehr nass und übertraf im Juli mit 114 Liter je Quadratmeter die durchschnittliche Regenmenge von 78 Liter je Quadratmeter um fast 50 Prozent, in Nordostdeutschland örtlich sogar um das Drei- bis Vierfache (DWD 2011b).

Diese Wetterphänomene werden, zumindest teilweise, dem Klimawandel zugeschrieben (Hüttl und Bens 2012). Bei differenzierter Betrachtung ist das Klima allerdings nur einer von vielen, die Gesellschaft betreffenden Aspekten, die sich in den letzten Jahrzehnten geändert haben und sich weiter ändern werden (NKGCF 2008, DFG 2010; Abb. 1). So sind die mit der Globalisierung der Märkte einhergehenden ökonomischen Veränderungen enorm. Technologien eröffnen Möglichkeiten, in das „System Erde“ einzugreifen, die bislang nicht denkbar waren (Hüttl 2011). Die Finanzkrise hat gezeigt, wie fragil das Wirtschafts- und Finanzsystem ist – nicht nur in Europa. Während die Weltbevölkerung 1950 noch 2,5 Milliarden Menschen zählte, beträgt sie heute etwa 7 Milliarden (FAOStat 2011). Für das Jahr 2050 wird mit 8,0 bis 10,5 Milliarden Menschen gerechnet

Abbildung 1: Facetten des Globalen Wandels mit exemplarischen mittelbaren und unmittelbaren Auswirkungen auf Wasserressourcen (Bücker et al. 2012).



(WWAP 2009). Das Bevölkerungswachstum und der steigende Bedarf an natürlichen Ressourcen wie Landfläche, Wasser und Rohstoffe sind dabei direkt miteinander verknüpft.

Diese Veränderungen haben massive Auswirkungen auf die Menge und Beschaffenheit der Wasserressourcen der Welt. Wasserknappheit, Erosion, Überschwemmungen und ungenügende Wasserqualität sind Folgen des Globalen Wandels. Eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen ist es deshalb, mit den Wasserressourcen nachhaltig² umzugehen, das heißt in einer Weise, die auch für nachfolgende Generationen vorsorgt.

Fokusregion Deutschland

Die größten, für einen Teil der Menschheit existenzbedrohenden Wasserprobleme bestehen derzeit außerhalb Europas bzw. werden in Zukunft dort entstehen (WWAP 2009). Aber auch in Europa sind infolge des Globalen Wandels künftig wasserbedingte ökonomische und ökologische Probleme zu erwarten (EEA 2009). Globale ökonomische und demografische Entwicklungen wirken sich auf regionale Ressourcenströme aus. So führt die globale Nahrungsmittel- und Rohstoffnachfrage auch zu wirtschaftlichen Veränderungen in Deutschland. Großflächige Änderungen in der landwirtschaftlichen Praxis, wie der verstärkte Anbau von Energiepflanzen, die Veränderungen in der Industrieproduktion und der Wechsel der Hauptenergieträger haben einen direkten Einfluss auf die regionalen Wasserressourcen (Cosgrove und Rijsberman 2000). Im Gegenzug kann Deutschland als traditionell starker Technik- und Industriestandort durch den Export von Technologien, Methoden und Verfahrensweisen einen Beitrag zur Lösung globaler Wasserprobleme leisten.

Mit einem potenziellen jährlichen Wasserdargebot³ von 188 Milliarden Kubikmeter (Mittel über 30 Jahre) ist Deutschland insgesamt ein wasserreiches Land. Das Wasserdargebot umfasst dabei die Wassermenge, die aus Oberflächen- und Grundwasser in einer bestimmten Zeitspanne entnommen werden kann (Strigel et al. 2010). Die Wasserentnahmen in Deutschland betragen im Jahr 2007 etwa 32 Milliarden Kubikmeter und damit weniger als 20 Prozent des potenziellen Wasserdargebots (siehe Tabelle 1). Trotz einer insgesamt ausreichenden Wassermenge gibt es jedoch auch in Deutschland Regionen mit nur geringen nutzbaren Wasservorkommen bzw. mit erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen des Dargebotes.

Georessource Wasser

Wie Boden, Landfläche, mineralische und Energie-Rohstoffe zählt auch Süßwasser, das im Folgenden nur als Wasser bezeichnet wird, zu den für den Menschen essenziellen, limitiert verfügbaren Georessourcen (DFG 2010). Es unterscheidet sich von anderen Georessourcen dadurch, dass es ständig in Bewegung ist und – abhängig von klimatischen Einflüssen – räumlich und zeitlich extrem ungleichmäßig verteilt ist (EEA 2010).



Quelle: F&H München/Industrieverband Agrar (IVA)

² Der Begriff der Nachhaltigkeit umfasst hier die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales und impliziert den Erhalt der Naturressourcen auch für künftige Generationen.

³ Die Wassermenge, die aus Oberflächen- und Grundwasser in einer bestimmten Zeitspanne zur Verfügung steht, also entnommen werden kann ohne die Ökosysteme zu schädigen (s. auch Glossar im Anhang).

Tabelle 1: Sektorale Wasserentnahmen in Deutschland und weltweit. Quelle: FAO (2011)

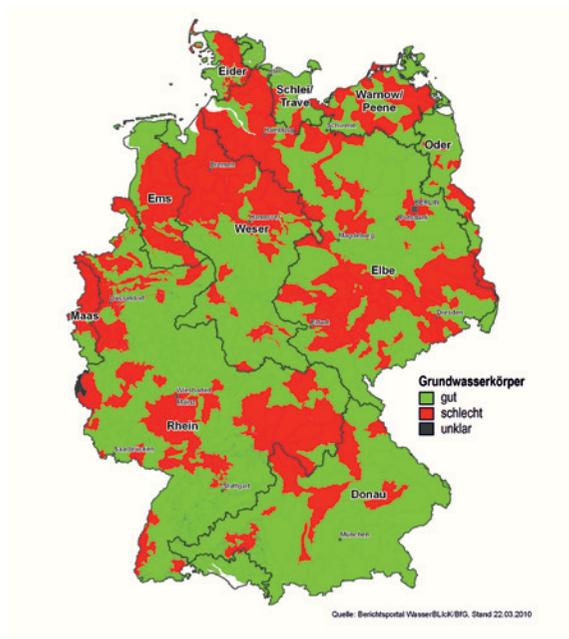
| JÄHRLICHE WASSERENTNAHMEN AUS DER NATUR (GRUND- UND OBERFLÄCHENWASSER) | | | |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| in Deutschland (Stand: 2007) | | weltweit* (Stand: 2003) | |
| Sektor | Wasserentnahme | Sektor | Wasserentnahme |
| Haushalte | 15,9 % | Haushalte | 11 % |
| Industrie | 83,9 % | Industrie | 19 % |
| Landwirtschaft | < 0,3 % | Landwirtschaft | 70 % |
| Gesamt | 32,3 Mrd. m ³ | Gesamt | 3.800 Mrd. m ³ |

*Anm.: Errechnet aus der globalen Summe aller Wasserentnahmen

Die Erderwärmung – der Klimawandel – ist auch in Deutschland anhand empirischer Befunde zu belegen. Die Jahresmitteltemperatur hat von 1900 bis zum Jahr 2000 um ca. 0,8 bis 1,0°C zugenommen (Zebisch et al. 2005). Die Niederschlagsentwicklung ist differenzierter. Langfristig lassen sich weder in den Mittelwerten noch in der saisonalen oder regionalen Verteilung signifikante Trends ermitteln. Für die letzten 30 Jahre ist allerdings eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zu verzeichnen; die Sommerniederschläge änderten sich hingegen nur wenig (ebenda). Als Gebiete mit besonders starken klimatischen Veränderungen wurden Südwestdeutschland, der Alpenraum und Ostdeutschland identifiziert. Insbesondere in Gebieten mit bereits jetzt angespanntem Wasserhaushalt – dies betrifft vor allem das Tiefland Ostdeutschlands (Grünwald 2010) – sind künftig starke Auswirkungen auf die verfügbaren Wasserressourcen zu erwarten. Dieser Wandel führt zu Veränderungen der ökologischen und ökonomischen Bedingungen vor allem in Wasser-, Land- und Forstwirtschaft, Binnenschifffahrt sowie im Umwelt- und Naturschutz. Absehbare Probleme in einigen Gebieten sind unter anderem Engpässe in der Wasserbereitstellung für landwirtschaftliche, energiewirtschaftliche und ökologische Belange (zum Beispiel Bewässerung, Kühlung von Kraftwerken, Erhalt von Feuchtgebieten).

Das Hauptproblem der Zukunft wird in Deutschland jedoch voraussichtlich weniger die Wassermenge als vielmehr die Wasserbeschaffenheit sein, für die infolge unerwünschter Stoffeinträge in die Gewässer mit Beeinträchtigungen zu rechnen ist. Vor allem durch die weitere Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und den Klimawandel ist ein vermehrter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu erwarten. Der demografische Wandel in Form einer Alterung der Bevölkerung wird einen erhöhten Verbrauch von Arzneimitteln zur Folge haben. Damit wird sich auch der Eintrag von Schadstoffen in das Oberflächen- und Grundwasser erhöhen. Schon heute ist beispielsweise absehbar, dass fast die Hälfte der Grundwasserkörper den im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie bis 2015 geforderten „guten chemischen Zustand“ nicht erreichen wird (BMU und UBA 2010; Abb. 2). Im Gegensatz zu den Oberflächengewässern liegt die besondere Herausforderung für das Grundwasser in seiner flächenhaften Ausdehnung. Ein Eingreifen und rasches Verbessern der Wasserqualität ist daher praktisch nicht möglich. Darüber hinaus sind zunehmende Konflikte bei der Nutzung des oberflächennahen Untergrunds absehbar: Trinkwasserversorgung, Nutzung als Zwischenspeicher oder Lagerstätte, Rohstoffgewinnung und Versorgung mit thermischer Energie konkurrieren zum Teil bereits heute miteinander.

Abbildung 2: Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung „guter chemischer Zustand“ der Grundwasserkörper in Deutschland. Quelle: BMU und UBA (2010)



Nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserressourcen als Herausforderung

Viele der Wasserprobleme weltweit sind Managementprobleme. Ebenso sind viele der Interessens- und Nutzungskonflikte um Wasserressourcen die Folge unangepasster Entscheidungsstrukturen oder einer in verschiedenen Sektoren angesiedelten Ressourcenbewirtschaftung (WWAP 2003, 2009). In Deutschland führen beispielsweise die starke Untergliederung der Zuständigkeiten im Wassersektor und die föderalen Strukturen zu Abstimmungs- und Koordinationsproblemen in den verschiedenen Teilbereichen (vgl. Moss 2004, SRU 2007, Exner und Seemann 2011, Theesfeld und Schleyer 2011). Auch bei der strategischen Ausrichtung

und Abstimmung der Wasserwissenschaften auf nationaler Ebene bestehen noch Verbesserungspotenziale (DFG 2003). Das betrifft sowohl die Grundlagen- als auch die anwendungsorientierte Forschung (zum Beispiel Technologieentwicklung) und schließlich auch die Umsetzung in praktische Maßnahmen (vgl. Schumann 2011). Notwendige Informationen und Daten sind teilweise schwer zugänglich bzw. wenig übersichtlich (DFG 2003, BMU 2006). Bereits vorhandene Empfehlungen sind häufig je nach disziplinärer Ausrichtung verteilt und zu wenig für einen breiteren Adressatenkreis aufbereitet und gebündelt (vgl. Hüttl und Bens 2012).

Im Jahre 2003 schuf die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit ihrer Denkschrift zur „Wasserforschung im Spannungsfeld zwischen Gegenwartsbewältigung und Zukunftssicherung“ (DFG 2003) eine wichtige Grundlage für den nachhaltigen Umgang mit Wasser aus Sicht der Forschung. Fast zehn Jahre später können manche der dort angesprochenen Ziele als erreicht angesehen werden, andere jedoch nicht (Hüttl und Bens 2012). Erste Schritte für eine verbesserte Verknüpfung der Wasserforschung in Deutschland konnten mit der *Water Science Alliance* unternommen werden (Water Science Alliance 2010). Die *Global Change*-Forschung in Deutschland richtet ebenfalls ihren Fokus in zahlreichen Projekten auf Wasserressourcen (zum Beispiel Rieland 2004, Mahammadzadeh und Wiesweg 2010, Leibniz-Gemeinschaft 2011, NKGCF 2011, Grünwald et al. 2012).

Das Thema der nachhaltigen Wasserressourcenbewirtschaftung ist für Deutschland gesellschaftspolitisch im Sinne der Daseinsvorsorge von hoher Relevanz. Für die Zukunft sind daher noch erhebliche weitere Anstrengungen für eine integrierte Betrachtung der Wasserressourcen und eine Disziplinen bzw. Sektoren übergreifende Forschung und Bewirtschaftung erforderlich. Zudem erwachsen aus den rasanten

technologischen und sozioökonomischen Veränderungen stetig neue Herausforderungen.

Fragestellung, Arbeitsweise und Ergebnisse der Projektgruppe

Ziel der Projektgruppe „Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel“ war es, Beiträge zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen unter den Bedingungen des Globalen Wandels zu erarbeiten und dadurch auch den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu unterstützen. Die Projektgruppe setzte hierbei einen naturwissenschaftlich-technikwissenschaftlichen Schwerpunkt. Grundlegende technologiebezogene Fragen wurden auf die Erfahrungen mit, die Funktion, die Risiken und die Möglichkeiten von ausgewählten Wassertechnologien gerichtet. Damit verbunden waren auch Fragen nach den Rahmenbedingungen, die technologische Innovationen im Wassersektor einerseits fördern und andererseits hemmen können. Aus der Fülle der Wassertechnologien wurden solche näher betrachtet, die eine besondere Bedeutung für das Thema „Globaler Wandel“ besitzen, die besonders innovativ sind und gleichzeitig Wissenslücken und Diskussionsbedarf aufweisen (vgl. Hüttl und Bens 2012). Der Betrachtungsschwerpunkt lag dabei auf Deutschland, so dass global sehr wichtige, aber in der Anwendung für Deutschland weniger relevante Forschungsfelder (zum Beispiel Meerwasserentsalzung) nicht Gegenstand dieses Projekts waren.

Aufgabe der Projektgruppe war die Synthetisierung, Reflexion und Bewertung aktueller Forschungsergebnisse. Ein besonderes Anliegen war dabei, im Sinne einer Suche nach „Neuentdeckungen“, auch weniger stark repetierte Ansätze zu diskutieren. Fragestellungen, die bereits im Fokus anderer Projekte standen, wurden bewusst in den Hintergrund gerückt (so etwa Landnutzungswandel: Hüttl et al. 2011, Infrastrukturmanagement: Hillenbrand et al 2010,

Hochwasser: Merz et al. 2011). Auf der Grundlage externer Gutachten und Fachveranstaltungen sowie von Expertengesprächen mit Schlüsselakteuren aus Wirtschaft und Forschung wurden Themen ausgewählt, die aus Sicht der Projektgruppe eine besondere Zukunftsrelevanz aufweisen. Es wurde ein integrativer Ansatz verfolgt; (Wasser-)Aspekte wurden zusammengeführt sowie Informations- und Wissenslücken identifiziert.

Den räumlichen Fokus legte das Projekt auf Deutschland, wobei auch globale Rückwirkungen und der Beitrag Deutschlands zur Verbesserung von Wasserproblemen weltweit Berücksichtigung finden. Im Mittelpunkt stehen daher einerseits „sensitive Regionen“ in Deutschland, das heißt Gebiete, in denen Probleme im Wassersektor vorhanden oder absehbar sind. Andererseits wird – vor allem unter den Aspekten des „Virtuellen Wassers“ bzw. des „Wasser-Fußabdrucks“ (Hoekstra und Chapagain 2008) – auch die globale Verflechtung Deutschlands betrachtet.

Drei allgemeine Fragestellungen lassen sich vor dem Hintergrund aktueller und zukünftiger Herausforderungen in Deutschland ableiten:

- Wie beeinflusst der Klimawandel den regionalen Wasserhaushalt und welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die Wasserressourcen?
- Wie können die regionalen Wasserressourcen lokal nachhaltig genutzt werden, auch zum Schutz globaler Ressourcen?
- Welcher Einfluss des Globalen Wandels ist auf die Beschaffenheit von Wasser, insbesondere auf das Grundwasser, zu erwarten?

In drei thematischen Arbeitsgruppen ist die Projektgruppe diesen Fragestellungen nachgegangen: „Klimawandel und Wasserhaushalt“, „Wassernutzung und Wassereffizienz in

Landschaften“ und „Wasserbeschaffenheit“. Eine Reihe von Querschnittsthemen wie „Monitoring“, „Forschungsförderung“ und „Technologien“ verbindet diese Aspekte.

Aus den Anforderungen einer nachhaltigen Planung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Deutschland ergab sich eine vierte Fragestellung:

- Welche Herausforderungen bestehen auf der regulatorischen bzw. institutionellen Ebene für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserressourcen?

Zentrales Ergebnis des Projektes sind die an Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung gerichteten Empfehlungen. Die vorliegende Kurzfassung der Ergebnisse und Emp-

fehlungen in der Reihe acatech POSITION wird durch eine Langfassung in der Reihe acatech STUDIE wissenschaftlich unterlegt (Hüttl und Bens 2012). Darüber hinaus ging eine Vielzahl weiterer Veröffentlichungen aus dem Projekt hervor. Die 13 in Auftrag gegebenen Expertisen wurden in der Reihe acatech MATERIALIEN veröffentlicht und sind auf der Internetseite von acatech verfügbar⁴. Des Weiteren wurden zwei Konferenzbände mit Beiträgen zum aktuellen Wasserhaushalt in Nordostdeutschland bzw. zu wasserbezogenen Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel in Deutschland publiziert (Kaiser et al. 2010, Grünewald et al. 2012); hinzu kommen ein Workshopband zur Wasserhaushalts- und Wassernutzungsgeschichte in Mitteleuropa (Kaiser et al. 2012) sowie Beiträge in Fachzeitschriften (Libra et al. 2011, Germer et al. 2011).

⁴ Erhältlich unter <http://www.acatech.de/de/publikationen/materialien.html>

2 KLIMAWANDEL UND WASSERHAUSHALT

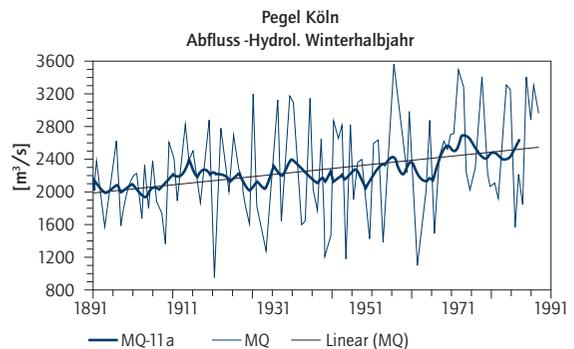
2.1 EINFÜHRUNG

Diagnose und Prognose des hydrologischen Wandels

In den vergangenen hundert Jahren hat sich der Wasserhaushalt in Deutschland deutlich verändert (Petrow und Merz 2009, Bormann 2010, Kaiser et al. 2010, Maurer et al. 2011). Dieser „hydrologische Wandel“ (Bronstert et al. 2009) ist auf die Klimaänderung, die Änderung der Landnutzung und das intensivierte Wassermanagement zurückzuführen (Huntington 2006). Die Anteile dieser Faktoren und die Auswirkungen sind regional unterschiedlich.

Einige Beispiele verdeutlichen die Veränderung des Wasserhaushalts. So führten im Rhein im Verlauf des 20. Jahrhunderts vor allem klimatische Veränderungen zu einer Erhöhung der Abflussmengen. Der mittlere Abfluss am Pegel Köln ist im Winterhalbjahr von 2 000 auf 2 400 Kubikmeter je Sekunde angestiegen; im Sommer schwankt er nahezu unverändert um 1 900 Kubikmeter je Sekunde (Maurer et al. 2011; Abb. 3). Auch für andere deutsche Flüsse wurden Veränderungen des Abflusses und der Hochwasserdynamik im 20. Jahrhundert festgestellt (Bormann 2010). Vor allem in vielen west- und süddeutschen Flüssen haben die Hochwasserereignisse zugenommen. Dies wird vorwiegend auf klimatische Ursachen zurückgeführt (Petrow und Merz 2009). Regional verändert sich auch der Grundwasserspiegel, der in Teilen von Westdeutschland seit etwa zwanzig Jahren erheblich ansteigt (Kämpf et al. 2008). Dieser Trend ist vor allem klimatisch bedingt und wird durch abnehmende kommunale sowie industrielle Wasserentnahmen verstärkt. Demgegenüber steht das großräumige Absinken des obersten Grundwasserspiegels in Nordostdeutschland, insbesondere in Brandenburg. Diese Entwicklung ist seit etwa dreißig bis vierzig Jahren zu beobachten und wird differenziert auf Landnutzungs- und Klimawirkungen zurückgeführt (Kaiser et al. 2010).

Abbildung 3: Entwicklung des mittleren Abflusses (MQ = Jahreswerte, MQ-11a = gleitendes Mittel einer Periode von elf Jahren) am Pegel Köln im hydrologischen Winterhalbjahr (November-April) im 20. Jahrhundert. In diesem Zeitraum haben die Temperatur, die Niederschläge und die Abflüsse im Rhein-Einzugsgebiet zugenommen (aus: Maurer et al. 2011).



Prinzipiell ist die Zukunft – also auch in klimatischer und hydrologischer Hinsicht – durch Ungewissheit geprägt. Die verfügbaren klimatologischen und hydrologischen „Prognose“-Werkzeuge sind dementsprechend noch mit großen Unsicherheiten verbunden. Aufgrund der teilweise dramatischen Abweichungen im Ergebnis beleuchten viele der vorliegenden Untersuchungen denkbare zukünftige Zustände lediglich schlaglichtartig. Die Ergebnisse können bestenfalls als Anhalt gewertet werden, im ungünstigen Fall kommen sie einem Zufallsergebnis nahe (Blöschl und Montanari 2010, Maurer et al. 2011). Grundsätzlich sind die Szenarien der Klimamodelle für künftige Temperaturänderungen wesentlich sicherer als für Niederschläge. Ebenso sind Aussagen über langjährige Mittel zuverlässiger als über Extremwerte. Auch lassen sich über große Gebiete relativ schärfere Aussagen treffen als über kleine.

Die Projektionen zur Abflussentwicklung von Flüssen zeigen unterschiedliche regionale Trends. Während für den Rhein der mittlere Abfluss weiter zunehmen dürfte, werden die Abflüsse in der Oberen Donau und in der Elbe voraussichtlich abnehmen. Einige kleinere Flüsse vor allem in Ostdeutschland werden – wie bereits in der jüngsten Vergangenheit in Trockenjahren geschehen (Abb. 4) – zeitweise trocken fallen. Aussagen über die Entwicklung von Hoch- und Niedrigwasser sind derzeit noch hoch problematisch (Barthel et al. 2010, Hattermann et al. 2010, Maurer et al. 2011). Zur Grundwasserneubildung zeigt sich entsprechend der klimatischen Differenzierung innerhalb von Deutschland ein regional heterogenes Bild. So wird für Hessen bis 2050 mit einer Zunahme um etwa 25 Prozent gerechnet, während für Nordostdeutschland ein Rückgang um etwa 40 Prozent erwartet wird (Gerstengarbe et al. 2003, DWA 2011). Dies entspricht einer Fortsetzung der bestehenden regionalen Trends.

Abbildung 4: Trockengefallene Schwarze Elster (Lausitz) am Wehr in Senftenberg im Trockenjahr 2006. Die Wasserführung flussabwärts des Wehrs (Hintergrund) ist durch die Zuleitung von Bergbauwasser aus der nahegelegenen Grubenwasseraufbereitungsstation Rainitzta bedingt (Foto: R. Ender).



Anpassungsoptionen der Wasserbewirtschaftung

Die Folgen des Globalen Wandels betreffen viele Bereiche der Wassernutzung und des Wasserbedarfs (Koch und Grünewald 2011). Auch bei etwaiger Erhaltung der langjährig gemittelten Gesamtmengen könnte die zeitliche Verteilung der verfügbaren Wassermenge aufgrund intensiverer Starkniederschläge, Hoch- und Niedrigwasser oder Grundwasserstandsschwankungen stärker variieren. Zum Ausgleich dieser Dargebotsschwankungen wird es daher immer wichtiger, natürliche und künstliche Speicher zu nutzen sowie einen überregionalen Wassertransfer zu ermöglichen. Regional könnten sich Perioden mit Wasserknappheit häufen, zum Beispiel in Ostdeutschland. So ist es bereits in den letzten Jahren trotz bundesweiten Rückgangs des Wasserbedarfs in einigen Gebieten wiederholt zu Engpässen in der Wasserversorgung gekommen (Zebisch et al. 2005); beispielsweise während der Trockenjahre 2003 und 2006 (BfG 2006). Der landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf wird steigen. Demgegenüber steht ein voraussichtlich weiter abnehmender kommunaler und industrieller Wasserbedarf (Hillenbrand und Böhm 2008). Denn die Einwohnerzahl in Deutschland wird von heute ca. 83 Millionen auf voraussichtlich 67 Millionen Einwohner im Jahr 2050 sinken (BMU 2010). Mit Hilfe von Szenariotechniken und Vulnerabilitätsuntersuchungen ist die Belastbarkeit wasserwirtschaftlicher Systeme vor dem Hintergrund der regionalen Besonderheiten in Naturraum, Wirtschaft und Besiedlung zu untersuchen, um sensitive Regionen zu ermitteln, in denen dem Risiko kritischer Verhältnisse vorrangig zu begegnen ist. Jede Vulnerabilitätsanalyse sollte eine Abschätzung der sektoral und regional unterschiedlichen Anpassungskapazitäten einschließen (Bundesregierung 2011).

2.2 EMPFEHLUNGEN

(1) Hydrologische Quantifizierung verbessern und Unsicherheiten offensiver kommunizieren

Auf den Wasserhaushalt einer Region wirkt neben dem Klima(-wandel) eine Reihe weiterer Faktoren, wie Landnutzung, Gewässerausbau und Wasserentnahme. Aufgrund dieser vielfältigen Treiber wird zunehmend die Annahme unveränderlicher („quasistationärer“) hydrologischer Verhältnisse in Frage gestellt, die häufig die Grundlage wasserwirtschaftlicher Analysen bildet und zu Fehlansagen führen kann (Milly et al. 2008). Mit Hilfe verschiedener Techniken (zum Beispiel Monitoring, Modellierung, Szenarios) werden in der hydrologischen Forschung vergangene und zukünftige Wasserhaushaltsveränderungen quantifiziert (Knutti 2008, Blöschl und Montanari 2010, Blöschl et al. 2011, Hundecha und Merz 2011, Kumar 2011). Folgende Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Quantifizierung und zum Umgang mit den Ergebnissen werden gegeben:

– Quantifizierung möglicher Veränderungen und Unsicherheiten

Der heute dominierende Ansatz zur Quantifizierung von Wasserhaushaltsveränderungen nutzt aufwändige und komplexe Modellketten. Aufgrund der vielfältigen Grenzen, denen dieser Ansatz (noch) unterliegt, sollten alternative Zugänge stärker verfolgt werden. Hierzu gehören systematische Untersuchungen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen und zur Frage, wie hydrologische und wasserwirtschaftliche Systeme auf Veränderungen reagieren. Vor dem Hintergrund immer schnellerer Veränderungen, zunehmend engerer Verschränkungen zwischen Mensch und Natur sowie dramatischer Schadenspotenziale ist es notwendig, nicht nur nach dem Wahrscheinlichen, sondern auch nach dem Möglichen zu suchen. Dies erfordert neue Modellansätze, die die Interaktionen zwischen Systemen sowie die Möglichkeit

von Schwellwertverhalten und Regimewechseln berücksichtigen.

– Offensive Kommunikation von Hintergründen und Grenzen

Die Annahmen, Erkenntnisgrenzen sowie die teilweise nicht-reduzierbaren Unsicherheiten bei der Quantifizierung von Änderungen des Wasserhaushalts sind klarer als bislang zu benennen. Eine Klassifizierung des Wissens in „harte“ und „weiche“ Fakten bzw. in „unsicheres Wissen“, „bekanntes Unwissen“ und „unbekanntes Unwissen“ ist dabei hilfreich. In ähnlicher Weise sollten Problemstellungen kategorisiert werden und Fragen, die heute schon mit einer vernünftigen Aussageschärfe beantwortet werden können, von solchen Fragen getrennt werden, die im Bereich der Spekulation liegen.

(2) Wissensstand zur bisherigen Veränderlichkeit des Wasserhaushalts verbessern

Die Analyse des hydrologischen Wandels setzt ein vertieftes Verständnis der Veränderlichkeit des Wasserhaushalts infolge natürlicher und anthropogener Prozesse voraus. Diese hydrologische Variabilität erschließt sich aus statistischen Gründen nur aus sehr langen Zeitreihen in der Dimension hunderter bis tausender Jahre (Gregory und Benito 2003, Schirmer et al. 2005, Brázdil et al. 2006). Instrumentelle Daten liegen jedoch für Deutschland nur für die letzten ca. hundert Jahre vor (Strigel et al. 2010); historisch-hydrologische und paläohydrologische Studien sind bislang erst in geringer Zahl verfügbar (Mudelsee et al. 2003). Aussagen zur langfristigen hydrologischen und damit auch ökosystemaren Variabilität – im Fokus stehen hier die letzten ca. 3 000 Jahre (Jungholozän) mit in etwa vergleichbaren klimatischen Verhältnissen wie heute – sind daher bislang nur unzureichend möglich. Zur Verbesserung des Wissensstandes werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

– Nutzung des historischen Datenpotenzials

Historische Wasserhaushaltsdaten bergen ein großes, unterschiedliche Wasserhaushaltsparameter betreffendes Potenzial (zum Beispiel Abfluss von Fließgewässern, See- und Grundwasserspiegel), das bislang erst ansatzweise durch die Hydrologie und Wasserwirtschaft genutzt wurde (etwa für Aussagen zum Hoch- und Niedrigwasserrisiko). Die rekonstruierten hydrologischen Datenreihen sind mit den vorliegenden Instrumentendaten zu verbinden, um damit lange Zeitreihen zu generieren und diese für die Verbesserung des Systemverständnisses sowie der Wasserhaushaltsmodellierung einzusetzen. Hierfür ist eine enge Zusammenarbeit von Geowissenschaften und historischen Wissenschaften auf der einen und Hydrologie, Klimatologie sowie Wasserwirtschaft auf der anderen Seite notwendig.

– Initiierung von Studien in unterschiedlichen räumlichen Maßstäben

Zur Gewinnung neuer Daten sind historisch-hydrologische bzw. paläohydrologische Studien in unterschiedlichen räumlichen Maßstäben – von Kleineinzugsgebieten bis zum Gesamttraum von Deutschland – notwendig. Diese Studien sollten, soweit möglich, quantitativ orientiert sein und auf eine Vielzahl sich gegenseitig absichernder Befunde aus verschiedenen Disziplinen zielen.

(3) Wassermengenbewirtschaftung optimieren und Risikomanagement etablieren

Der Klimawandel kann sich regional unterschiedlich auf die Wassermenge auswirken. Er kann mit einer Verringerung (zum Beispiel Verstärkung von Niedrigwasserperioden), aber auch mit einer Erhöhung (zum Beispiel häufigere und extremere Hochwasser) von Durchflüssen bzw. Wasserständen einhergehen (Maurer et al. 2011). Damit verknüpft ist ein zunehmendes Risiko für die Wasserwirtschaft wie auch für andere Bereiche (Merz et al. 2011). Speziell Wirtschaftsbereiche wie Energiewirtschaft, Bergbau oder Land-

wirtschaft, und Regionen wie das ostdeutsche Tiefland, die heute bereits durch hohe Konfliktpotenziale bezüglich einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung gekennzeichnet sind, müssen Vorsorge gegen das zunehmende, von zuviel oder zuwenig Wasser ausgehende Risiko treffen (Koch und Grünewald 2011). Es gilt, differenzierte wasserbezogene Anpassungsoptionen zu entwickeln. Folgende ausgewählte Empfehlungen – weitere sind in Merz et al. (2012) dargestellt – werden gegeben:

– Priorisierung von Wassernutzungen

Die Priorisierung, das heißt die Beschränkung von Wassernutzungen, ist ein wichtiger Schritt, um Wasserressourcen insbesondere bei Niedrigwasser bzw. Wassermangel zu schützen. So lassen sich durch Niedrigwasserkonzepte die Wasserentnahmerechte für priorisierte Wassernutzungen wie landwirtschaftliche Beregnung reduzieren, wenn bestimmte Grenzwerte an vorgegebenen Pegeln unterschritten werden. Den rechtlichen Rahmen für dieses Vorgehen bietet die EU-Wasserrahmenrichtlinie.

– Wasserbedarf thermischer Kraftwerke optimieren

Der auch ökologisch sinnvolle Ersatz der Durchlaufkühlung in thermischen Kraftwerken durch die Kreislaufkühlung mit integriertem Verdunstungskühlturm verringert zwar die thermische Belastung des jeweils genutzten Oberflächenwassers. Er vergrößert infolge der Verdunstungswirkung aber auch den Wasserverbrauch. Kann die thermische Energie jedoch für Heiz- oder andere Zwecke genutzt werden, so ist die Kreislaufkühlung hinsichtlich des Wasserbedarfs die sparsamste Technologie. Entsprechend sollte diese Technologie verstärkt genutzt und weiterentwickelt werden. Für Kühlzwecke lässt sich zudem mehr als bislang Wasser von minderer Qualität verwenden, da dieses nicht zwangsläufig Trinkwasserstandards erfüllen muss.

– **Wasserwirtschaft und Risikomanagement**

Der Klimawandel sollte als Motivation dienen, in der Wasserwirtschaft stärker als bisher gut begründete Strategien des Risikomanagements zu verwenden sowie weiterzuentwickeln (zum Beispiel bei der Talsperrenbewirtschaftung und beim Umgang mit Hoch- und Niedrigwasser). Das Risikomanagement mit den Schritten Risikoanalyse („Was kann passieren?“), Risikobewertung („Was darf nicht passieren?“) und Risikoumgang

(„Wie kann mit dem Restrisiko umgegangen werden?“) hat bisher nur zögerlich in die Wasserwirtschaft Einzug gehalten. Es ist aber vor dem Hintergrund des Klimawandels als zusätzlicher Risikoquelle nötiger denn je, dass dies breit angelegt geschieht. Wichtig ist zudem eine klare Kommunikation der Risiken und Vorsorgestrategien an die Bevölkerung, um Vertrauen zu schaffen und damit Akzeptanz der Maßnahmen zum Risikomanagement zu erreichen.

3 WASSERNUTZUNG UND WASSEREFFIZIENZ IN LANDSCHAFTEN

3.1 EINFÜHRUNG

Landnutzung und Wasserressourcen

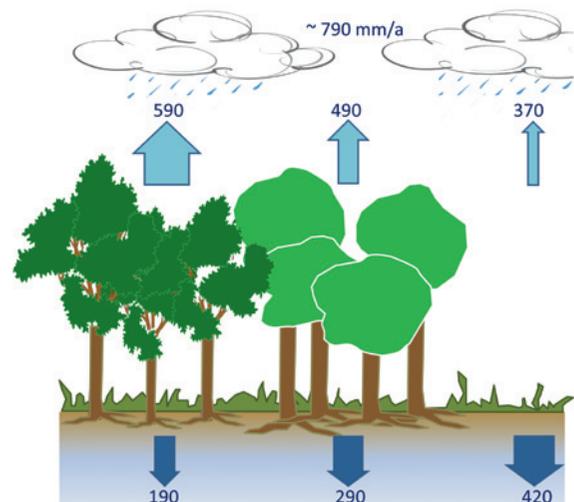
Landschaften erfüllen viele Aufgaben: Sie sind Lebensraum für Tiere und Pflanzen, ermöglichen genetische Vielfalt, regulieren das Klima, bilden Grundwasser und dienen der Produktion von Biomasse für Nahrungs- und Futtermittel sowie der Erzeugung von Bioenergie.⁵ Der Mensch nutzt Landschaften auch als Siedlungs- und Wirtschaftsraum sowie zur Rohstoffgewinnung. Auf diese Art greift er ständig in die Multifunktionalität ein, sowohl in qualitativer wie auch in quantitativer Weise. Dieses gilt nicht zuletzt für die Wasserressourcen einer Landschaft, die maßgeblich von der Vegetation bestimmt werden.

Das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ist zu ca. 80 Prozent mit Vegetation bedeckt, zum Teil mit permanenter (Wald, Forst, Grünland), zum größten Teil jedoch mit zeitweiliger Vegetation in Form landwirtschaftlicher Kulturen (Destatis 2011, UBA 2011). Die Verteilung und auch der Entwicklungsstand der Vegetation nehmen eine Schlüsselstellung im Landschaftswasserhaushalt ein, da durch sie die Evapotranspiration und die Grundwasserneubildung einer Fläche sehr stark beeinflusst werden. So bildet sich beispielsweise unter einem Kiefernforst deutlich weniger Grundwasser als unter einem Buchen/Eichen-Mischwald oder unter Grünland (Abb. 5). Der Mensch nimmt durch Nutzung vegetationsbedeckter Flächen dabei nicht nur Einfluss auf die Menge, sondern auch auf die Qualität des Wassers.

Neben der (Um-)Gestaltung der agrarischen und forstlichen Landnutzungsform und -intensität (Sortenwahl, Waldumbau etc.) kann der Mensch unter anderem auch durch Bewässerungsmaßnahmen und die Art der Bodenbewirtschaftung den Wasserkreislauf in der Landschaft verändern bzw. ihn zu seinen Gunsten nutzen. Die Grundwasserreserven

einer Region können beispielsweise durch optimalere Bewässerung geschont werden; eine angepasste Bodenbearbeitung verringert die unproduktive Verdunstung und das Winderosionsrisiko von Ackerböden.

Abbildung 5: Veranschaulichung der hydrologischen Kennwerte verschiedener Bestandstypen (links: Kiefernwald, Mitte: Buchen/Eichen-Mischwald, rechts: Grasland). Hellblaue Pfeile zeigen die mittlere Gesamtverdunstung (Interzeption, Transpiration, Bodenevaporation), dunkelblaue Pfeile die mittlere Tiefenversickerung in Litern pro Quadratmeter und Jahr (= mm/a) an (gerundete Werte). Niederschlag (ebenfalls gerundet) ca. 790 mm/a. Eigene Darstellung nach Werten aus Zimmermann et al. (2008).



Wassernutzungskonflikte

Die Naturressourcen der Landschaft sind begrenzt. Dies führt zu Nutzungskonflikten, die sich auch bei den Wasserressourcen nicht vermeiden lassen (Abb. 6). Der Globale Wandel mit steigenden Temperaturen, Niederschlagsverschiebungen oder auch sozioökonomischen Veränderungen wird solche Konflikte bzw. Nutzungseinschränkungen

⁵ Diese vielfältigen „Aufgaben“, die meist als selbstverständlich angesehen werden, lassen sich unter dem Begriff der „Ökosystemdienstleistungen“ zusammenfassen.

voraussichtlich verschärfen (siehe Kap. 1). Auch im relativ „wasserreichen“ Deutschland kam es in den letzten Jahren in einigen Gegenden wiederholt zu Einschränkungen von Wassernutzungen, die teilweise mit zu geringer Wasserverfügbarkeit (Wassermenge), aber auch mit erhöhten Wassertemperaturen (Wasserqualität) in Zusammenhang standen (Koch und Grünewald 2011). Nutzungskonflikte können aber auch durch den Bau von Infrastruktur wie Pumpspeicherkraftwerken (Konflikte zwischen Klima- und Gewässerschutz) oder durch Bau-/Renaturierungsmaßnahmen an Flüssen (Konflikte zwischen Landwirtschaft, Naturschutz und Hochwasservorsorge) entstehen.

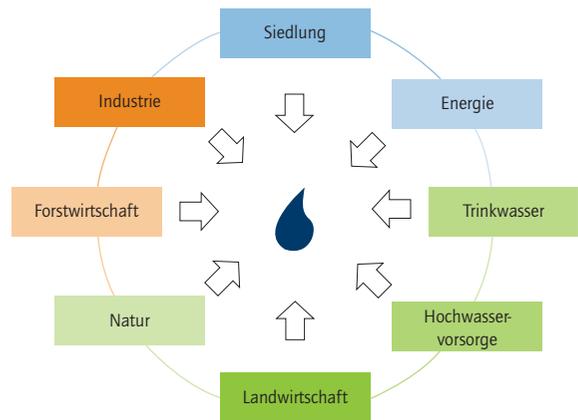
Es stellt sich dabei stets die Frage, ob es bei der konkurrierenden Nutzung von Wasserressourcen Kompromisse, sogenannte *trade offs*, oder vielleicht auch *win-win*-Situationen für eine optimale Ressourcennutzung gibt, oder ob vielmehr Prioritäten gesetzt werden müssen. Generell erfordern konkurrierende Ansprüche Bewertungsansätze, welche die unterschiedlichen Bedürfnisse und Interessen gegeneinander abwägen und zu einer „fairen“ und dauerhaft-umweltgerechten Lösung für alle Beteiligten beitragen (Hansjürgens 2011).

Eine zukunftsorientierte, das heißt nachhaltige Nutzung der Wasser- (und auch der Boden-) Ressourcen bedarf also Strategien, die die vielfältigen und zum Teil konkurrierenden Ansprüche, Zielvorstellungen und Handlungsoptionen lokaler Akteure aus Wasserwirtschaft, Land-/Forstwirtschaft und Politik in die Entscheidungsfindung mit einbeziehen. Ein weiterer wichtiger Baustein beim nachhaltigen Umgang mit Wasserressourcen ist überdies die Beteiligung und Aufklärung der Öffentlichkeit.

Wassereffizienz im internationalen Kontext

Weltweit steigt durch die wachsende Bevölkerung und die Anhebung der Lebensstandards die Nachfrage nach Nah-

Abbildung 6: Verschiedene Nutzungsansprüche an Wasser (Auswahl; siehe auch Frede et al. 2012).



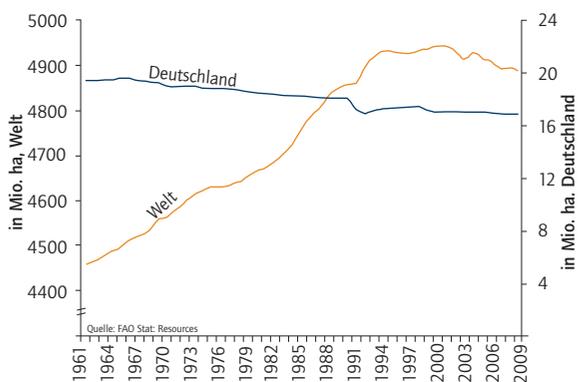
rungsmitteln und anderen Naturressourcen wie Pflanzenfasern oder Biokraftstoffen. Auch der Bedarf an Süßwasser wächst kontinuierlich (GWP 2009). Gleichzeitig nimmt die zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche durch Bodendegradierung (Versalzung, Erosion, Wüstenbildung) und die Ausdehnung von Siedlungsflächen ab (BMELV 2011; Abb. 7).

Die Landwirtschaft ist mit ungefähr 70 Prozent der gesamten Wasserentnahmen weltweit der größte Wassernutzer (vgl. Tabelle 1). Die Höhe des Wasserverbrauchs hängt dabei von klimatischen Bedingungen (Niederschlag, Verdunstung, Bodenfruchtbarkeit) sowie von sozioökonomischen Faktoren (zum Beispiel Verfügbarkeit von Technologien, *Know-how*) ab. Eine langfristig angelegte Landnutzung kann daher nur erfolgreich sein, wenn – besonders in Bezug auf Wasser – eine ressourcenschonende, natur- und sozialverträgliche Wirtschaftsweise angestrebt wird, die gleichzeitig eine ausreichende Nahrungsmittelversorgung sichert. Wirtschaftliche Zwänge, Notlagen und fehlende oder nicht

ausreichende Kontrollen sowie Unkenntnis und auch Handeln wider besseren Wissens führen noch immer in vielen Gebieten der Erde dazu, dass die Ressource Wasser zur Herstellung von Nahrungsmitteln und anderen Produkten übernutzt wird. Laut WWF (2010) beanspruchen derzeit 71 Länder auf die eine oder andere Art ihre Süßwasserquellen über Gebühr und 45 davon leiden sogar unter moderaten bis schwerwiegenden Wasserproblemen.

Inzwischen existieren aber vielerlei Technologien und Managementansätze, die es ermöglichen, den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelindustrie zu reduzieren bzw. die Wassereffizienz zu erhöhen (Grimm et al. 2008, Drastig et al. 2010). Man spricht hier vom *more crop per drop*-Prinzip, also von mehr Ernte bei gleichbleibendem Wassereinsatz. Nur so kann die bestehende bzw. sich sogar verringere nutzbare Agrarfläche die Weltbevölkerung auch in Zukunft mit ausreichend Nahrungsmitteln versorgen.

Abbildung 7: Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche (*agricultural area*) weltweit (linke Ordinate), und in Deutschland (rechte Ordinate). Daten aus der Internet-Datenbank der FAOStat (2011).



Deutschland kann also nicht nur im eigenen Land durch eine zukunftsorientierte Land- und Forstwirtschaft und einen fairen Umgang mit unterschiedlichen Nutzungsansprüchen mit den Georessourcen Wasser und Boden verantwortungsvoller umgehen. Durch erfolgreiche Forschung, kreative Ideen und innovative Technologien sowie deren Anwendung und Demonstration kann Deutschland darüber hinaus auch in anderen Ländern zur Lösung der Wasserprobleme beitragen, die der Globale Wandel mit sich bringt (siehe auch Frede et al. 2012).

3.2 EMPFEHLUNGEN

(1) Wasser in Landschaften neu bewerten

Selbst im wasserreichen Deutschland bestehen schon heute – zumindest regional und vor allem in Trockenperioden – Konflikte zwischen unterschiedlichen und teils konkurrierenden Nutzungsansprüchen an Wasser (Tourismus, Land- und Forstwirtschaft, Naturschutz, Industrie, Energie, Transport, Fischerei, Hochwasserschutz, Trinkwasserversorgung). Auch im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel zum Beispiel durch Talsperren, Wasserkraftwerke und die Hochwasservorsorge kann es zu Interessenkonflikten zwischen einzelnen Personen, Sektoren oder Verwaltungseinheiten kommen. Es fehlt derzeit noch an wirksamen Strategien, die es erlauben, mögliche Nutzungskonflikte frühzeitig zu erkennen und zu bewerten, sowie durch die stärkere Einbeziehung aller Beteiligten zu einer Entschärfung von Zielkonflikten beizutragen (Hansjürgens 2011).

– Neue Sichtweise zur Bewertung von Wasser in Landschaften

Zur Bewertung von Wasser und wasserbezogenen Konflikten wird die Verwendung eines weiten Wertbegriffs empfohlen. Die Bewertung soll nicht nur das Mess- und Monetarisierbare enthalten, sondern es sollte eine

prinzipielle Gleichbehandlung monetärer, quantitativer und qualitativer Werte erfolgen. Im Rahmen neuer Bewertungsmodelle sind somit auch die von der Bevölkerung bzw. den regionalen Nutzern von Wasser als wertvoll empfundenen – und nicht nur die am besten messbaren – Kriterien zu berücksichtigen. Dies können etwa ästhetische Faktoren sein oder der Erhalt der Tier- und Pflanzenwelt. Auch die „Dienstleistungen“ der Gewässerökosysteme müssen in die Betrachtung einfließen (siehe zum Beispiel Kap. 4.1, Ökosystemdienstleistung „Sauberes Wasser“ und Abb. 10). In der bisherigen Praxis konzentrieren sich viele Bewertungsprojekte wie auch die staatlich vorgeschriebenen Bewertungsverfahren oftmals einseitig auf die Kosten-Nutzen-Analyse. Im Rahmen von Entscheidungsunterstützungsverfahren sollten jedoch vermehrt auch solche Verfahren zum Einsatz kommen, die die oben genannten Gleichbehandlungsprinzipien berücksichtigen und zum Beispiel Bürger in die Bewertung einbinden.

– **Verstärkung der Akzeptanz durch frühzeitige Einbeziehung betroffener Interessengruppen**

Es wird empfohlen, die Bürger und Interessengruppen von Anfang an in den Bewertungsprozess einzubeziehen, um einerseits die Interessen der Betroffenen angemessen zu berücksichtigen und andererseits die Unterstützung für wasserbezogene Projekte, Maßnahmen und Entscheidungen zu erhöhen. Die Betroffenen sind dazu frühzeitig zu identifizieren, es sind mit ihnen gemeinsam Bewertungskriterien und Gewichtungsfaktoren für die zu treffenden Entscheidungen zu definieren und Unsicherheitsanalysen gemeinsam durchzuführen. Generell sollten diejenigen Bewertungsverfahren ein besonderes Gewicht erhalten, die Interessengruppen explizit einbeziehen. Hierbei sollten jedoch nicht nur die Rechte (Mitspracherecht), sondern auch die Pflichten (Verantwortung) aller Beteiligten klar definiert werden.

– **Verstärkte Einbeziehung der Szenarienmethodik**

Die zukünftige Entwicklung des ländlichen Raumes ist als eine Kombination schwer vorhersehbarer Prozesse (Treiber) und gesteuerter Interventionen (Handlungsoptionen) von Mensch-Umwelt-Systemen zu sehen. Deshalb ist die Szenarienbildung („Bilder der Zukunft“) eine zentrale Methode, um mögliche Zukunftsentwicklungen zu analysieren. Die Szenarienbildung sollte daher verstärkt als Methode in der Planung und Verwaltung eingeführt werden, um die Akteure für das Problem der Planungsunsicherheiten zu sensibilisieren, Gesprächsgrundlagen zwischen Akteuren zu schaffen und eine rechtzeitige Vorbereitung auf wasserbezogene Konflikte zu erlauben. Dazu sollte auch geprüft werden, ob und inwieweit bereits erarbeitete Szenarien oder aber auch Bewertungen (im Sinne eines *Benefit-Transfers*) auf andere Sachverhalte übertragen werden können.

(2) Wassereffizienz in der Landwirtschaft durch gezielte Maßnahmen unterstützen

Landwirtschaftliche Erzeugnisse liefern die Grundlage für die Versorgung mit Nahrungs- und Futtermitteln sowie mit nachwachsenden Rohstoffen wie Energiepflanzen. Die hohe Produktivität hat jedoch regional zum Teil starke Auswirkungen auf die Wasserressourcen der Landschaft. In landwirtschaftlich hochproduktiven Gegenden und auf trockenheitsgefährdeten Standorten können, verstärkt durch die Auswirkungen des Globalen Wandels, in Zukunft vermehrt Wasserengpässe auftreten. Aufgrund des gerade in diesen Gebieten erhöhten Wasserbedarfs der Landwirtschaft sollte der Einsatz wassereffizienter Technologien bzw. wasser- und bodenschonender Praktiken attraktiver gemacht werden. Dies kann insbesondere durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

– **Förderung und Anwendung effizienter Bewässerungstechnik**

Bundesweite Anreiz- und Honorierungssysteme für den Kauf effizienter technischer Lösungen, wie der Tropfbewässerung, erhöhen die Attraktivität wassersparender Technologien. Dies schließt auch den Einsatz präziser Kontroll- und Steuerungstechnologien für die Bewässerung mit ein. Letzteres führt nicht nur zu einer gesteigerten Wassereffizienz, sondern kann auch zu einer Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Gewässer beitragen. Insbesondere die Kombination der Bewässerung mit der Düngung (Fertigation) und die Modellierung des zukünftigen Bewässerungsbedarfs in Deutschland mit dem daraus resultierenden Einfluss auf die Landschaftswasserressourcen sind dabei weiter zu untersuchen.

– **Beratungs- und Ausbildungsangebote verstärken**

Einzelbetriebliche Beratungsmaßnahmen im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft müssen ausgebaut werden. Generell ist die Ausbildung der Landwirte zu Wassermanagern wünschenswert, was zum Beispiel durch erweiterte Aus- und Weiterbildungsangebote (Seminare, Workshops) zu erreichen ist. Grundsätzlich gilt es, die vorhandenen versuchstechnischen Infrastrukturen zu erhalten und für den Wissenstransfer weiter zu nutzen.

(3) Funktionalität und Einsatzmöglichkeiten von Bodenhilfsstoffen erforschen

Eine potenziell zukunftssträchtige Technologie, um die Wasserspeicherkapazität und die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Böden zu erhöhen, sind die sogenannten Bodenhilfsstoffe. Sie werden aus natürlichen oder synthetischen Substraten hergestellt und werden derzeit schon im Garten- und Obstbau zur Verbesserung des Wasser- und Nährstoffhaushalts von Böden eingesetzt (Superabsorber). Bodenhilfsstoffe können außerdem zur Kohlenstoff-Speiche-

rung im Boden beitragen („C-Sequestrierung“, zum Beispiel Biokohle). Der Einsatz von Bodenhilfsstoffen zeigt laut neuesten Forschungsergebnissen auf trockenheitsgefährdeten und Grenzertragsstandorten durchaus die gewünschten Effekte (Gerwin et al. 2011). Auch für den Export in aride Gebiete könnten Bodenhilfsstoffe von Interesse sein. Dennoch ist vor einer flächenhaften Anwendung im Freiland zu beachten:

– **Ausarbeitung des rechtlichen Rahmens**

Bei der Anwendung von Bodenhilfsstoffen im Freiland sind in jedem Fall die rechtlichen Vorgaben zur Vorsorge bezüglich möglicher Kontamination zu erfüllen. Die Anforderungen an die Produkte sind dabei gesetzlich noch klarer zu formulieren. Zu beachten ist, dass die Anforderungen je nach Produktart (Superabsorber, Biokohle etc.) sowie nach Einsatzgebiet (Bodenverbesserung, Kohlenstoff-Speicherung etc.) unterschiedlich sein können und daher produktspezifisch aufzuführen sind.

– **Wissensstand über die Eigenschaften und Wirkungen von Bodenhilfsstoffen ausbauen**

Die Produktion und Anwendung der Bodenhilfsstoffe tangiert viele Bereiche. Der Forschungsbedarf ist daher in allen Phasen (Entwicklung, Produktion, Anwendung, Entsorgung) sehr groß. Gerade die Identifikation der möglichen Risiken für die Umwelt (zum Beispiel eine Schadstoffanreicherung) sowie die Kohlenstoff-Bilanzierung für die Bio- bzw. HTC-Kohle muss Bestandteil einer verantwortungsbewussten Bodenhilfsstoff-Forschung sein. Aufgrund der in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial und vom Herstellungsverfahren stark variierenden Produkteigenschaften von Bodenhilfsstoffen sind generell die physikalischen und chemischen Wirkungen der Produkte sowie deren Zwischen- und Abbauprodukte durch geeignete Analysen und Labortests ausreichend zu charakterisieren, bevor sie im Freiland eingesetzt werden.

(4) Bewusstsein zu nachhaltiger Wassernutzung in Wirtschaft und Öffentlichkeit schärfen

Ein Glas Wasser trinken oder ein Steak essen – wobei verbrauchen wir mehr Wasser? Unser Wasser-Fußabdruck, also die gesamte Wassermenge, die während der Produktion der von uns konsumierten Güter (Nahrung, Kleidung, Auto etc.) verbraucht bzw. verdunstet oder verschmutzt wird, ist um ein Vielfaches höher als der real sichtbare tägliche Wasserbedarf in Haushalt und Bad. Der Wasser-Fußabdruck beinhaltet beides: die direkt verbrauchte Wassermenge einer Person, sowie das in der Nahrung und anderen Gütern verbrauchte „Virtuelle Wasser“ (siehe auch Frede et al. 2012). Man unterscheidet hier zwischen Grünem (Niederschlagswasser), Blauem (Grund- und Oberflächenwasser) und Grauem (Verdünnung von belastetem Wasser) Virtuellen Wasser. Der Wasser-Fußabdruck veranschaulicht im Grunde die „Wasserintensität“ von Produkten. Ein großer Wasser-Fußabdruck sagt jedoch allein noch nichts über die Nachhaltigkeit der Wassernutzung bzw. der Produkte aus (Schubert 2011a, b). Um das Konzept sinnvoll für die Schonung globaler Wasserressourcen zu nutzen, sollte Folgendes beachtet werden:

– Analyse des nicht-nachhaltigen Wasserverbrauchs der Landwirtschaft

Das Konzept des Wasser-Fußabdrucks von landwirtschaftlichen Gütern liefert zwar eine gute Basis zum Umgang mit der begrenzten Ressource Wasser. Es sollte jedoch zukünftig streng zwischen einem nachhaltigen

und einem nicht-nachhaltigen Fußabdruck unterschieden werden. Ein Bewertungskriterium könnten zum Beispiel absinkende Grundwasserstände in einer Region sein. Der Anteil des nicht-nachhaltigen Wasser-Fußabdrucks sollte zukünftig systematisch erhoben bzw. zu den bestehenden Daten ergänzt werden. Hier wird empfohlen, sich in einem ersten Schritt auf die eindeutigen Fälle nicht-nachhaltiger Landwirtschaft zu beschränken. Stehen die Daten zur Verfügung, so sollten beispielsweise international agierende Unternehmen diese nutzen, um bei der Produktion ihrer Güter in den jeweiligen Regionen auf einen nachhaltigen Wasser-Fußabdruck zu achten bzw. diesen auch aktiv zu fördern.

– Nicht irreleitende Informationsvermittlung

Die Informationsweitergabe an die Bevölkerung zur Nachhaltigkeit bzw. Nicht-Nachhaltigkeit der Wassernutzung bei der Herstellung von Konsumgütern ist deutlich zu verbessern, insbesondere was den Wasser-Fußabdruck von Produkten angeht. So ist etwa der Kaffeeanbau in Regionen mit ausreichendem Niederschlag trotz des hohen Wasser-Fußabdrucks nachhaltig, da hier kein zusätzliches Bewässerungswasser eingesetzt wird und so die vorhandenen Blauen Wasserressourcen (das heißt Flüsse/Grundwasser) geschont werden. Wichtig ist also, nicht den Wasser-Fußabdruck generell zu reduzieren (beispielsweise durch Verzicht auf Kaffee), sondern darauf zu achten, dass die Einsparungen dort erfolgen, wo ein hoher Wasserverbrauch negative Folgen für Mensch und Natur hat.

4 WASSERBESCHAFFENHEIT

4.1 EINFÜHRUNG

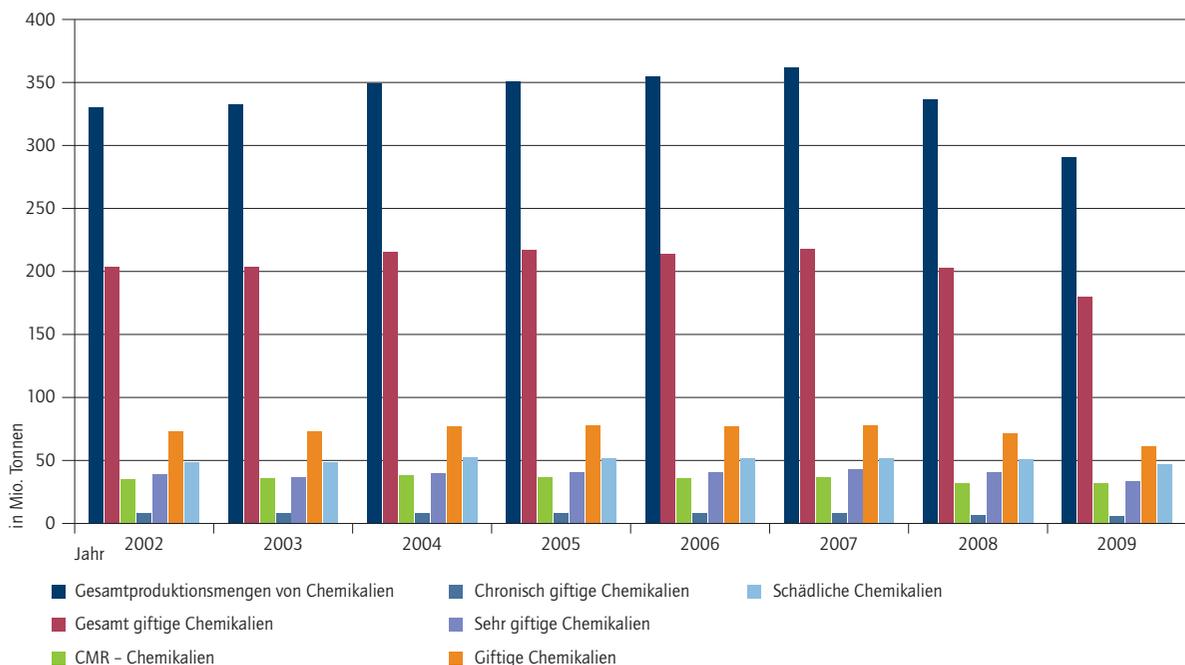
Stoffeinträge in den natürlichen Wasserkreislauf

Mit seinen Aktivitäten nimmt der Mensch erheblichen Einfluss auf die Gewässerökosysteme. Bauliche Maßnahmen in oder an Flüssen, wie das Errichten von Dämmen und die Begradigung von Flussläufen, verändern die Fließgeschwindigkeit und ökologische Durchgängigkeit eines Flusses und damit auch die Lebensbedingungen für die Organismen in den Gewässern (unter anderem Knacker und Coors 2011). Kühlwassereinleitungen aus der industriellen Produktion oder aus thermischen Kraftwerken können zur Erhöhung der Wassertemperatur sowohl in Oberflächengewässern als auch im Grundwasser führen. Landwirtschaftliche Tätigkeiten, wie

die Bewässerung von Feldern aus dem Grundwasser, können den Wasserhaushalt durch die Absenkung des Grundwasserspiegels verändern. Der Eintrag von Pflanzennährstoffen (zum Beispiel Phosphate durch Bodenerosion) kann die Qualität der natürlichen Wasserressourcen beeinträchtigen. Seit langem bekannte weitere Beispiele für durch den Menschen in aquatische Ökosysteme eingetragene Schadstoffe sind zum Beispiel Schwermetalle, die durch den Bergbau freigesetzt werden. Weniger offensichtliche Beispiele sind viele Alltags- und Haushaltsprodukte wie Reinigungsmittel oder Kosmetika, die ebenfalls industriell produzierte Chemikalien enthalten, oder Weichmacher in Kunststoffen, Farben und andere. Hinzu kommen pharmazeutische Produkte wie Antibiotika, Antidepressiva und Beta-Blocker.

Abbildung 8: Produktion toxischer Chemikalien in der EU (in Millionen Tonnen; Quelle: Eurostat 2011).

Anmerkung: Die Grafik stellt den Trend der aggregierten Produktionsmengen giftiger Chemikalien dar, gegliedert in fünf „Giftigkeitsklassen“: Krebs erzeugende, erbgutverändernde und/oder fortpflanzungsgefährdende Chemikalien (CMR); chronisch toxische Chemikalien; sehr giftige Chemikalien; giftige Chemikalien; gefährliche Chemikalien.



Insbesondere in den Industrieländern wird fortwährend eine Vielzahl neuer Stoffe entwickelt; über 50 Millionen Chemikalien sind derzeit weltweit registriert (Muir und Howard 2006, Bergmann 2011). Allein in der EU werden jährlich über 150 Millionen Tonnen gefährliche Chemikalien produziert (in den Ländern der EU 27; Abb. 8). Hinzu kommen Produktionsrückstände der Industrie oder unerwünschte Nebenprodukte sowie zahlreiche Transformations- und Abbauprodukte, die erst nach ihrem Eintrag in die Umwelt gebildet werden. Ein Großteil dieser Chemikalien gelangt über Abwassersysteme, Kläranlagen und vor allem durch die industrialisierte Landwirtschaft (hier vor allem Pestizide und Düngemittel) in die Umwelt. Über Flüsse, Seen und Böden, wo sie weiter eliminiert oder transformiert werden können, gelangen diese Stoffe in das Grundwasser und somit direkt oder indirekt auch in die Trinkwasserversorgung und damit in die menschliche Nahrungskette.

Bei allen synthetisch hergestellten Stoffen (Xenobiotika), die nur durch menschliche Tätigkeit in die Umwelt gelangen und dort nicht hinreichend schnell abbaubar sind, ist davon auszugehen, dass sie auch in den Wasserkreislauf gelangen und eine schädigende Wirkung haben können. Meist ist das toxikologische Potenzial dieser Stoffe nicht ausreichend bekannt. Daher muss es grundsätzlich das Ziel sein, den Eintrag solcher Stoffe vollständig zu vermeiden. Durch die Anstrengungen des Gewässerschutzes in Deutschland in den vergangenen Jahren konnten die anthropogenen Stoffeinträge in den natürlichen Wasserkreislauf bereits erheblich reduziert und somit die Wasserbeschaffenheit verbessert werden. Dennoch ist der Erhalt der Wasserqualität im Sinne eines „guten chemischen“ und „guten ökologischen“ Zustands der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; Europäische Gemeinschaft 2000) heute und auch künftig – gerade auch vor dem Hintergrund des Globalen Wandels – eine große Herausforderung. Die Bestandsaufnahme der Gewässer in Deutschland nach der WRRL hat gezeigt, dass für 60 bis 85 Prozent der Oberflächengewässer

und 53 Prozent der Grundwasserkörper der durch die WRRL geforderte gute Zustand bis zum Jahr 2015 nicht oder nur durch zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann (BMU 2005, SRU 2008). Eine häufige Ursache hierfür sind die bereits genannten hohen Nährstoffeinträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Ein nachhaltiger Gewässerschutz setzt voraus, dass Grundwasser und Oberflächengewässer integriert betrachtet und bewirtschaftet werden, wie nicht zuletzt auch von der WRRL gefordert wird. Die besondere Herausforderung für den Grundwasserschutz liegt darin, dass – im Gegensatz zu Oberflächengewässern – ein flächenhaftes Eingreifen und rasches Verbessern der Wasserqualität aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Skalen praktisch nicht möglich ist.

Neue organische Spurenstoffe

In den vergangenen Jahren machte eine „neue“ Stoffgruppe auf sich aufmerksam: die organischen Spurenstoffe (Abb. 9). Ihr Vorkommen im Wasserkreislauf ist als direkte Folgeerscheinung der hochentwickelten Industriegesellschaft auch ein Indikator für mögliche Auswirkungen auf die Umwelt und die natürlichen Wasserressourcen. Organische Spurenstoffe können bereits in niedrigen Konzentrationen negative Auswirkungen auf den Menschen oder die (belebte) Umwelt haben. Viele dieser „neuen Stoffe“ sind bislang weder hinreichend untersucht noch liegen ausreichende Daten für eine umfassende toxikologische Bewertung und Risikoeinschätzung vor (Bergmann 2011).

Von besonderer Bedeutung sind darüber hinaus Arzneimittel, die von Mensch oder Tier auch in veränderter Form (metabolisiert) wieder ausgeschieden werden. Mit Blick auf die demografische Entwicklung und die Alterung der Gesellschaft ist für die Zukunft mit einer kontinuierlichen Zunahme des Arzneimittelverbrauchs und des Eintrags von Arzneimittelrückständen und -wirkstoffen in den Wasserkreislauf zu rechnen. Darüber hinaus werden mit der

Weiterentwicklung der analytischen Messmethoden beständig Stoffe „neu entdeckt“ bzw. in den Gewässern nachgewiesen (Bergmann 2011, Knacker und Coors 2011).

Globaler Wandel

Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserqualität sind bislang nur ansatzweise belegbar. Mit dem Globalen Wandel und der weiteren Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist aber ein vermehrter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und damit auch ein Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser zu erwarten. Und schließlich werden bereits heute die unterschiedlichsten, teils raum-zeitlich konkurrierenden Anforderungen an den Untergrund gestellt, zum Beispiel zur Trinkwasserversorgung, für industrielle Wasserentnahmen, als Speicherort oder zur Nutzung der Geothermie. Diese Entwicklungen und Nutzungen führen zu einer Verschiebung der Schadstoffmuster und Konzentrationen im Untergrund sowie zu Veränderungen

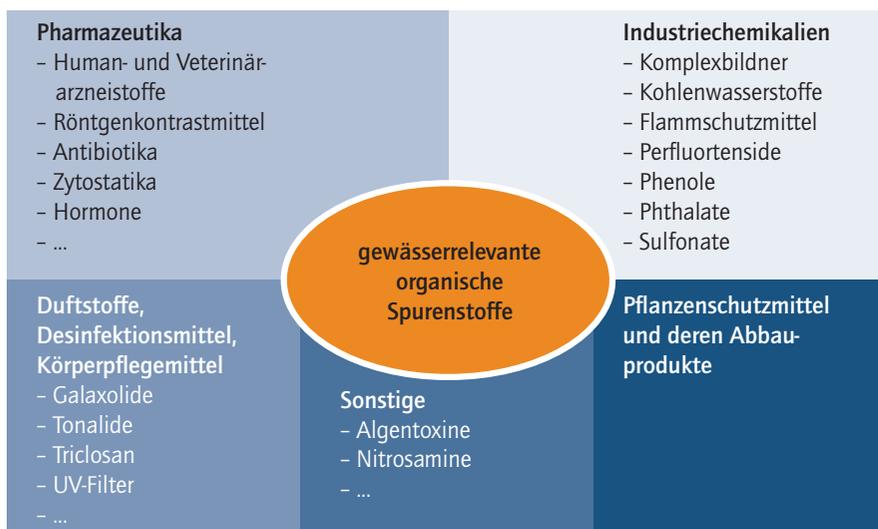
der Transformationsprozesse von Schadstoffen. Eine große Herausforderung im Hinblick auf die natürlichen Wasserressourcen wird in Deutschland somit in Zukunft nicht nur das Wasserdargebot sein, sondern vor allem Stoffeinträge sowie Nutzungskonkurrenzen und Zielkonflikte für das Schutzgut Grundwasser.

Ökosystemdienstleistung „sauberes Wasser“

In Deutschland und weltweit ist die natürliche Selbstreinigung der Ökosysteme ein wichtiger Bestandteil der Wasseraufbereitung. Knapp drei Viertel des Trinkwassers stammen aus Grundwasser, das somit die wichtigste Lebensgrundlage darstellt (BMU 2008). Ein geringerer Teil (etwa ein Viertel) wird aus Oberflächengewässern gewonnen, also aus Seen, Talsperren, Flüssen und Uferfiltrat.

Täglich werden industriell Stoffe produziert, die jederzeit in die (Trink-)Wasserressourcen (Grundwasser, Flusswasser)

Abbildung 9: Gruppen organischer Spurenstoffe von besonderer Relevanz für die aquatische Umwelt (Bergmann 2011).



gelangen können, sodass insbesondere gut wasserlösliche Schadstoffe direkte, schädigende Auswirkungen haben können – je nach Pufferkapazität des Ökosystems früher oder später. Eine wichtige Aufgabe ist es deshalb, die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme zu erhalten, da sie zur Selbstreinigung des Wassers führen und durch Rückhalt und Verdünnung die Auswirkungen von Schadstoffeinträgen erheblich verzögern können (Avramov et al. 2010). Für das Trinkwasser in Deutschland ist hierfür vor allem das Grundwasser-ökosystem zu nennen, dessen wichtigste Ökosystemdienstleistung (*Ecosystem Service*) in der Wasseraufbereitung besteht, das heißt in der langfristigen Entfernung von Kontaminationen und in der Pufferung der Einflüsse durch die moderne Industriegesellschaft. Dadurch kann eine nachhal-

tige Wasserversorgung für den Menschen und die Umwelt für lange Zeiträume (Jahrhunderte) gewährleistet werden. Ein umfassendes Prozessverständnis für dieses Ökosystem ist daher nötig, um die Grundwasserressourcen nachhaltig zu schützen und die Ressource „sauberes Wasser“ als Ökosystemdienstleistung langfristig nutzen zu können.

Vor diesem Hintergrund richten sich die folgenden Empfehlungen zu einem wesentlichen Teil auf den qualitativen und quantitativen Erhalt der Grundwasserressourcen als zentrales Kompartiment der Ökosysteme und Lieferant von Trinkwasser. Sie basieren auf den in der acatech STUDIE dargestellten Ergebnissen (Grathwohl et al. 2012).

Abbildung 10: Für Mensch und Umwelt wichtige ökologische Funktionen des Grundwassers (Ökosystemdienstleistungen). Quelle: Grathwohl et al (2012)



4.2 EMPFEHLUNGEN

(1) Einträge unerwünschter Stoffe in den Wasserkreislauf vermeiden und aus den Abwässern entfernen

In der hochentwickelten Industriegesellschaft wird alljährlich eine Vielzahl neuer Stoffe auf den Markt gebracht, die in den Wasserkreislauf gelangen, ohne dass es entsprechende analytische Nachweismethoden für Umweltproben oder Trinkwasser gibt. Auch fehlt in vielen Fällen eine ausreichende Risikoabschätzung für die Umwelt. Eine nachträgliche Entfernung von eingetragenen Stoffen ist mit erheblichem Aufwand (Implementierung von Technologien, Energieeinsatz und anderen Kosten) verbunden und oftmals nur sehr unvollständig. Daher ist insbesondere der Eintrag naturfremder Stoffe in den Wasserkreislauf entweder über die Zulassung oder bei der Anwendung und den Eintragsquellen in den Wasserkreislauf zu minimieren oder ganz zu unterbinden. Hierfür sind Regularien weiterzuentwickeln, die bereits vorhandenen technischen Möglichkeiten zu nutzen und zu optimieren sowie auch neue Technologien zu entwickeln. Insbesondere sind voranzutreiben:

– Produktionsintegrierter Umweltschutz unter Einsatz neuer Technologien

Trotz großer Fortschritte in den vergangenen zwanzig Jahren gibt es in der industriellen Produktion noch ein erhebliches Potenzial zur Verringerung des Wasserbedarfs und zur Reduzierung der Stoffeinträge in die Gewässer. Produktionsintegrierter Umweltschutz bedeutet hier, die Wasseraufbereitung in den Produktionsprozess zu integrieren, Wasser soweit wie wirtschaftlich vertretbar im Kreislauf zu führen und je nach Nutzungsart in der jeweils erforderlichen Qualität den einzelnen Prozessstufen zur Verfügung zu stellen. Maßnahmen zur Vermeidung von Abwasser bzw. Abwasserbelastungen haben Vorrang vor Maßnahmen zur üblichen *end of pipe*-Abwasserreinigung. Das bedeutet, dass Produk-

tionsprozesse unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit derart neu zu gestalten sind, dass insgesamt Wasser eingespart wird und die Produktionsabwässer weniger belastet sind. Der Einsatz neuer Prozesse und neuer Technologien, auch für die Wasserbehandlung (zum Beispiel Membranverfahren) sowie die Wasserwiederverwendung stehen dabei im Vordergrund.

– Managementansätze zu Stoffeinträgen

Ein Ansatzpunkt zur Reduzierung der Verwendung unerwünschter Stoffe ist die Dokumentation ihres Verhaltens in der Kläranlage, in der Umwelt und im Wasserwerk bereits im Rahmen des Zulassungsverfahrens. Die Hersteller dieser Stoffe (Mit-Verursacher) sind durch geeignete Verpflichtungen an dieser Dokumentation zu beteiligen. Zur Früherkennung von Problemen müssen die Abschätzung und die Erfassung von in die Umwelt bzw. in Oberflächengewässer gelangenden Stoffmengen verbessert werden, insbesondere im Falle kritisch zu bewertender Indirekt- und Direkteinleiter, zu denen auch Regenwasserüberläufe der Kanalisation zählen. Nicht bzw. schwer eliminierbare toxikologisch relevante Stoffe oder solche, die toxische Transformationsprodukte bilden, sollten möglichst durch alternative, umweltverträgliche Stoffe ersetzt werden. Darüber hinaus sind neue Instrumente zu entwickeln, die das Verbraucherverhalten steuern (zum Beispiel Informationen über Umweltschädlichkeit und verfügbare Ersatzstoffe, Kennzeichnung durch Produktlabels, Erlass von Vorschriften).

– Weiterentwicklung von Verfahrenskombinationen und Membranverfahren zur Abwasserreinigung und Wasseraufbereitung

Die Weiterentwicklung von Verfahrenskombinationen in der Abwasserreinigung und in der Wasseraufbereitung ist ein Schwerpunkt der Zukunft. Von diesen Verfahren sind erhöhte Leistungen zu fordern, die die Sicherheit und die Flexibilität der Aufbereitung berücksichtigen. Als Ergänzung konventioneller Prozesse weist

die Membranfiltration zur Wasserbehandlung ein erhebliches Entwicklungspotenzial auf. Membranverfahren erlauben in wirtschaftlich vertretbarer Weise auch die Wiederverwendung von Abwässern oder die Entsalzung von Meerwasser, etwa zu Trinkwasserzwecken oder zur Nutzung in Landwirtschaft und Industrie. Je nach Anwendungsbereich entstehen bei der Membranfiltration Konzentrate, die eventuell detoxifiziert und nachhaltig entsorgt werden müssen. Diese Konzentrate sind derzeit ein erhebliches Hindernis für den breiteren Einsatz der Membrantechniken für Umkehrosmose und Nanofiltration.

(2) Risikobewertung von Stoffgemischen und Spurenstoffen konzeptionieren

Durch menschliche Einflüsse verändertes Wasser enthält meist eine Vielzahl von Stoffen, die häufig zwar in niedrigen Konzentrationen vorliegen, aber in komplexer Mischung. Bislang werden vorwiegend Einzelsubstanzen bewertet, über eventuelle gesundheitliche Risiken von Stoffgemischen ist noch wenig Wissen vorhanden.

– Bewertung von Stoffgemischen und Toxizität von Stoffen in niedrigen Konzentrationen

Für die Bewertung von Stoffgemischen sind die Formulierung neuer Bewertungskonzepte und eine Systematisierung der vorhandenen Bewertungsansätze erforderlich. Ein integriertes und mechanismenbasiertes Bewertungssystem ist zu entwickeln, um aus der Vielfalt an Einzelstoffen nur diejenigen mit toxikologisch relevanten Wirkmechanismen auszuwählen. Sowohl empirische toxikologische Daten bzw. Tests als auch die Aufklärung von Abbauwegen sollten Grundlage einer weiterentwickelten Bewertungsstrategie sein. Für eine toxikologische Bewertung werden Alternativmethoden benötigt. Sehr aufwendige Testmethoden wie Tierversuche können in Verbindung mit einem weiteren

Validierungsschritt gegebenenfalls durch die Kombination von Test- und Nichttestmethoden (*in vitro* und *in silico*) ersetzt werden. Eine weitere große Wissenslücke besteht in der Bewertung der Toxizität von Stoffen in niedrigen Konzentrationen über lange Zeiträume. Die epidemiologische Datenlage über den Einfluss von Umweltschadstoffen auf die menschliche Gesundheit ist unzureichend bzw. existiert nicht. Hier wären größere langfristige Studien notwendig, um die Auswirkungen langfristiger Expositionen – beispielsweise über das Trinkwasser – durch gering konzentrierte Spurenstoffe zu erfassen.

– Risikominimierung bei Abbau und Transformation von Stoffen

Um der Vielfalt der Prozesse beim Abbau in der Umwelt (chemisch: organisch und anorganisch; toxikologisch) gerecht zu werden, sind neue Konzepte zur Risikominimierung erforderlich. Diese sind so zu gestalten, dass sie auch für komplexe Mischungen die Vorhersage von Risiken ermöglichen und potenziell toxische Transformationsprodukte einschließen. Wesentlicher Bestandteil der Risikoanalyse ist das Wissen über den Abbau bzw. die Transformation von Stoffen und die Entstehung potenziell toxischer Transformationsprodukte. Insofern ist die Forschung über das Abbauverhalten von Stoffen in der Umwelt zu verstärken, um die Voraussetzungen für Risikoabschätzungen zu schaffen. Es sollten für alle Stoffe, die durch Monitoring oder Risikoanalyse als umweltrelevant eingestuft werden, Abbauewege unter verschiedenen relevanten Umweltbedingungen bekannt sein.

(3) Mehrfachnutzung von Wasser vorantreiben

Bevölkerungswachstum, sich ändernde Ernährungsgewohnheiten, zunehmender Wohlstand und eine fortschreitende Industrialisierung führen zu einem weltweit steigenden Nutzungsdruck auf die Wasserressourcen und einem wachsenden Bedarf an qualitativ hochwertigem Wasser. Gleichzeitig

steigt das Aufkommen an Abwasser und damit auch die Belastung der Gewässer. Um die Versorgung mit Frischwasser langfristig zu sichern, sind ein modernes Wassermanagement und der Wechsel zu einer direkteren Kreislaufwirtschaft erforderlich. Die Wiederverwertung von Abwasser bzw. Brauchwasser und eine an die verschiedenen Einsatzzwecke angepasste Verwendung können insbesondere in Trockengebieten und in der Bewässerungslandwirtschaft erheblich zur Schonung der natürlichen Wasservorkommen beitragen. Mit dem Export von Technologien zur Wasseraufbereitung und Störstoffbeseitigung kann Deutschland einen Beitrag zur Lösung globaler Wasserprobleme leisten.

– **Selektive Wasseraufbereitung in Abhängigkeit von der Nutzungsart**

Differenziert nach Art der Nutzung und den jeweiligen Anforderungen an die Wasserqualität kann Wasser in unterschiedlichen Qualitätsstufen bereitgestellt werden. Für bestimmte Nutzungen und in Trockengebieten ist die Mehrfachnutzung eine zukunftsweisende Strategie zur Schonung der Wasserressourcen. Nicht zuletzt aufgrund der zum Teil hohen Kosten einer Aufbereitung ist eine der Nutzung entsprechende Behandlung und Wasseraufbereitung sinnvoll.

– **Technologien zur gezielten Störstoffbeseitigung bei der Wasseraufbereitung**

Bislang werden bei der Wasseraufbereitung oft unspezifisch und unnötig viele Wasserinhaltsstoffe entfernt. Um den Aufbereitungsaufwand und damit auch die Kosten zu senken, sollten künftig in Abhängigkeit von der Nutzungsart möglichst nur störende Wasserinhaltsstoffe entfernt werden. Unter Störstoffen sind dabei die Wasserinhaltsstoffe zu verstehen, die aus toxikologischen oder sensorischen Gründen oder aus Gründen der Aufbereitung, Verteilung und Verwendung oder aus prinzipiellen Gründen (weil naturfremd) als störend empfunden werden. Der Aufwand und die Kosten für

eine Wasseraufbereitung mit gezielter Störstoffentfernung sollte den bisherigen Verfahrensweisen gegenübergestellt werden, um tatsächliche Einsparpotenziale erkennen zu können. Technologien zur gezielten Störstoffbeseitigung sind weiterzuentwickeln und die Forschung zur selektiven Entfernung bestimmter Substanzen (insbesondere auch von persistenten Schadstoffen) ist zu verstärken.

– **Definition rechtlicher Standards**

Für eine Wiederverwendung von Abwasser muss die Qualität für die jeweils beabsichtigte Nutzung ausreichend sein. Für alle Arten der Wasserwiederverwendung gleichermaßen sind die höchsten Anforderungen an die Sicherstellung und Gewährleistung der öffentlichen Gesundheit zu stellen. Bislang variieren die weltweit definierten Standards oder Richtlinien für die Wasserwiederverwertung je nach Art der Anwendung, dem regionalen Kontext sowie der allgemeinen gesellschaftlichen Risikowahrnehmung; in Deutschland und in der übrigen Europäischen Union gibt es keine verbindlichen Vorgaben. Daher sind rechtliche Regelungen für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten wie beispielsweise Bewässerungslandwirtschaft, Grundwasseranreicherung oder industrielle Nutzung zu definieren.

(4) Hygienische Qualität von Roh- und Trinkwasser überwachen und sicherstellen

Der hygienische Standard des Trinkwassers ist in Deutschland sehr hoch. Infolge des Klimawandels ist mit einem Anstieg der Wassertemperaturen im Untergrund (Grundwasser, Trinkwasserinfrastruktur) zu rechnen und deshalb eine Vermehrung von Krankheitserregern im Wasser nicht auszuschließen. Die ebenfalls erwarteten vermehrten Extremereignisse wie Starkniederschläge mit Hochwasser können zu örtlich und zeitlich begrenzten Trinkwasserverschmutzungen führen. Besondere Herausforderungen bestehen für Einrichtungen wie Krankenhäuser, die stets mit hygienisch

einwandfreiem Trinkwasser versorgt werden müssen. Die hygienische Überwachung der Wasserressourcen und Sicherstellung von einwandfreiem Trinkwasser sind daher Aufgaben, die zukünftig auch durch vermehrte Anstrengungen in Forschung und Entwicklung begleitet werden sollten.

– **Verbesserung der Rohwasserüberwachung bezüglich Krankheitserregern**

Es wird empfohlen, die von der WHO im *Water safety plan* entwickelte Risikoabschätzung für Pathogene, insbesondere für Viren, zu übernehmen. Dieser kombiniert die Bewertung der Rohwasserqualität mit der Effizienz der angewendeten Aufbereitungsmethode. Dies beinhaltet eine regelmäßige Kontrolle des Rohwassers unter Berücksichtigung extremer klimatischer und wetterbedingter Ereignisse wie Starkregenereignisse, Überschwemmung oder Schneeschmelze. Moderne Wassermanagementkonzepte sollten zudem die Vulnerabilität von Einzugsgebieten und Grundwasserleitern berücksichtigen. Hierdurch könnten gerade in Gebieten mit erhöhter Gefahr einer Kontamination des Grundwasserleiters die Schutzzonen besser ausgewiesen werden. Aufgrund der zunehmenden Kontaminationsquellen wird ferner die Entwicklung eines integrativen Indikatorkonzepts empfohlen, das alle relevanten Gruppen von wasserbürtigen Krankheitserregern berücksichtigt. Um hygienische Gefährdungspotenziale zu erkennen, ist eine bundesweite Meldepflicht für Krankheiten, die über das Wasser übertragen werden können, einzurichten, verbunden mit flächendeckenden epidemiologischen Untersuchungen, um Krankheitsausbrüche mit den potenziellen Quellen in Verbindung bringen zu können.

– **Sicherstellung von hygienisch unbedenklichem Trinkwasser**

Hygienisch einwandfreies Wasser muss an den Entnahmestellen der Nutzer gewährleistet werden. Dies

bedeutet, dass auch das Leitungssystem von der Trinkwasseraufbereitung bis zum Endverbraucher zu berücksichtigen ist. Durch weitere Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Technologien ist sicherzustellen, dass nur gesundheitlich unbedenkliches Trinkwasser die Nutzer erreicht.

(5) Auswirkungen der Nutzung des Untergrunds auf das Wasser beachten

Mit den technischen Entwicklungen ist auch der Untergrund einer zunehmenden Zahl von Nutzungen sowie auch Nutzungskonkurrenzen und -konflikten ausgesetzt. Besonders der oberflächennahe Untergrund steht unter einem zunehmenden Nutzungsdruck, zum Beispiel zur Speicherung, Zufuhr und Entnahme von thermischer Energie, zur Zwischenspeicherung von Wasserressourcen (Bewässerungswasser), zur Lagerung von Kohlendioxid (CCS) oder weiterer neuartiger Verfahren (zum Beispiel *Hydrofracking* zur Gasgewinnung). Um dennoch eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasser- und Bodenressourcen zu gewährleisten, sollten zunächst die Risiken hinreichend untersucht werden. Beispiele hierfür sind:

– **Nutzung von oberflächennaher thermischer Energie**

Die oberflächennahe Nutzung thermischer Energie setzt voraus, dass die Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Wasser und Boden erforscht werden. Der Schutz der natürlichen Ressourcen und insbesondere der Wasserressourcen selbst sowie die Sicherstellung des einwandfreien Funktionierens aller Prozesse, die zum Erhalt und der Erneuerung dieser Ressource dienen, sind zu gewährleisten.

– **Stoffeinträge bei massiven Eingriffen in den Untergrund**

Auch aus Baumaterialien werden in nicht unerheblichem Maße Stoffe in die Umwelt eingetragen. Hierzu zählen insbesondere auch Schwermetalle, die als

„altes“ Thema aus dem Fokus geraten sind, sowie synthetisch hergestellte Additive. Gerade mit Blick auf das (Bau-)Stoffrecycling (zum Beispiel Bauschutt und Schlacken im Straßenbau und in der Landschaftsgestaltung, Aschen und Schlacken in Betonfundamenten und Tunnelbauwerken) besteht hoher Forschungsbedarf, um Stoffflüsse abschätzen zu können. Auf dieser Grundlage sind schließlich Konzepte für den Umgang mit Baustoffen und Recyclingmaterialien unter dem Aspekt des Wasserschutzes zu erarbeiten. Bei großvolumigen Bauwerken in sensiblen aquatischen Systemen (zum Bei-

spiel Tunnelbauwerken) wäre – da die Inhaltsstoffe von Beton und anderen Baumaterialien in der Regel nicht bekannt sind und dem Firmengeheimnis unterliegen – eine Offenlegung von Daten zu den Inhaltsstoffen und den verwendeten Mengen zu fordern.

Zu diesem Themenkomplex zählt auch die Bewertung der CO₂-Speicherung im Untergrund und in Aquiferen; hier steht die Forschung noch am Anfang und sollte dringend vorangetrieben werden.

5 REGULATORISCHE UND INSTITUTIONELLE ANSÄTZE FÜR EINE NACHHALTIGE WASSERBEWIRTSCHAFTUNG

5.1 EINFÜHRUNG

Die nachhaltige Bewirtschaftung der Georessource Wasser bezieht sich nicht nur auf den einzelnen Brunnen, das Wasserwerk, die Talsperre, den See, den Bach oder das Feuchtgebiet, sondern auf die Georessource Wasser im Gewässer-einzugsgebiet insgesamt (DFG 2003). Zweifellos ist der Begriff der Nachhaltigkeit komplex und besitzt vielfältige Facetten (zum Beispiel Turner 1993, Trzyna 1995). Stark vereinfacht lässt sich die nachhaltige Wasserressourcenbewirtschaftung jedoch wie folgt beschreiben: „nie mehr verbrauchen als nachfließt, Vorsorge bei Qualität und Quantität, Minimierung der Belastung bei Gebrauch des Wassers, Partizipation“ (Grambow 2009: 236).

Eine nachhaltige Planung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen mit ihren vielfältigen räumlich und zeitlich differenzierten Dargebots- und Bedarfsbedingungen stellen in vielen Regionen der Welt, aber auch in Europa und sogar in einigen Teilen Deutschlands eine große Herausforderung dar. Diese verschärft sich deutlich, wenn dabei großräumige und tiefgreifende (globale) Änderungen der Bedingungen zu berücksichtigen sind – etwa durch einen Wandel der Land- und Wassernutzung und/oder des Klimas.

Der projizierte Klimawandel beeinflusst das mittlere Wasserdargebot mit großer Wahrscheinlichkeit ebenso wie die veränderte Ausprägung hydrologischer Extremereignisse (Hoch- und Niedrigwasser) und die Wasserbeschaffenheit in Raum und Zeit. Deshalb werden wasserbezogene Anpassungsstrategien insbesondere in Gebieten, die bereits heute durch Wasserverfügbarkeitskonflikte (nach Menge, Zeit, Beschaffenheit usw.) betroffen sind, für notwendig und vernünftig erachtet (zum Beispiel Koch und Grünwald 2011). Sie sind im Allgemeinen so flexibel anzulegen, dass gegebenenfalls weitere notwendige Anpassungsmaßnahmen auf diesen aufbauen können (*flexible and no regret*

strategies bzw. *low regret strategies*). Sie müssen aber auch die anderen Probleme des Globalen Wandels (Welt- und EU-Agrar- und Wirtschaftspolitik, internationale und nationale Energiepolitik, demografischer Wandel, Bevölkerungsentwicklung etc.) mit all ihren Unsicherheiten berücksichtigen. Um diese Unsicherheiten schrittweise zu mindern, bedarf es aber auch im Speziellen vielfältiger und sachgerechter Analysen und Anstrengungen insbesondere im Bereich der Forschung und deren Praxisumsetzung sowie im institutionellen Bereich.

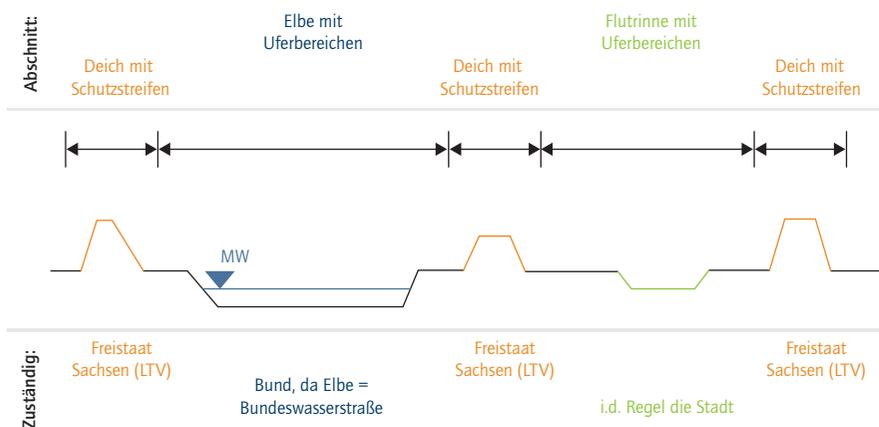
In den letzten beiden Jahrzehnten ist, unter anderem befördert durch zwei internationale Konferenzen der UN in Dublin (Konferenz zu Wasser und Umwelt, 1992) und Rio de Janeiro (Konferenz zu Umwelt und Entwicklung, 1992), das Konzept des Integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM) zentraler Teil der internationalen Agenda geworden (UN 1992, Grambow 2008). Zur Umsetzung dieser internationalen Aktion wurde mit Unterstützung der Weltbank die *Global Water Partnership* (GWP) -Initiative ins Leben gerufen. TAC (2000) beschreibt integrierte Wasserbewirtschaftung als einen Prozess, der eine Entwicklung der Wasser- und Landressourcen sowie der damit verknüpften Naturressourcen auf eine Weise ermöglicht, dass sowohl der ökonomische Nutzen als auch die soziale Wohlfahrt für die Gesellschaft ein Maximum erreichen, ohne die (nachhaltige) Lebensfähigkeit der betroffenen Ökosysteme zu beeinträchtigen.

Obwohl über die Existenz der engen Wechselbeziehung zwischen Wasser- und Landschaftsnutzung auch in Deutschland weitgehend Klarheit besteht, überwog und überwiegt in Wissenschaft wie Verwaltung die Tendenz, Land und Wasser getrennt zu betrachten – etwa in der Agrarwissenschaft und den Hydrowissenschaften bzw. in Landwirtschaft und Wasserwirtschaft.

Erst in den letzten Jahren hat sich, insbesondere im Zusammenhang mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRMRL), ein vertiefter und verbreiteter Auseinandersetzungsprozess zu dieser Thematik in Deutschland entwickelt. Beispielsweise hat das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in den vergangenen ca. fünf Jahren viele Fördermittel für den Themenschwerpunkt „Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM)“ bereitgestellt. Für die nächsten fünf Jahre ist ein weiterer BMBF-Förderschwerpunkt mit dem Titel „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“ eingerichtet worden. Auch die vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) 2009 neu gegründete *Water Science Alliance* fordert einen neuen, dynamischen Umgang mit dem IWRM-Konzept im Rahmen des Globalen Wandels und sieht hier noch deutlichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf (Water Science Alliance 2010).

Bei der Umsetzung der WRRL in Deutschland wird zweifellos den Grundideen des IWRM-Konzepts gefolgt. Die WRRL sieht die Bewirtschaftung von Flussgebietseinheiten, die Erstellung von Maßnahmeplänen und die umfassende Einbeziehung der Öffentlichkeit vor. Dies stellt die Verwaltungsbehörden des Wassersektors jedoch vor eine Vielzahl von Herausforderungen. Vor allem die Notwendigkeit des Managements von Flussgebietseinheiten über politische bzw. administrative Grenzen hinweg erfordert ein hohes Maß an Abstimmung und Koordination zwischen den beteiligten Behörden, Ländern und Mitgliedstaaten. Durch die föderale Struktur Deutschlands mit 16 verschiedenen Landes-Wasserpolitiken bzw. -gesetzen besteht eine mangelnde Übereinstimmung von räumlicher Ausdehnung (der Flusseinzugsgebiete) und politischer Zuständigkeit (der Behörden; vgl. Abb. 11). Es existiert also eine Inkompatibilität (*problems of fit*, Fichter und Moss 2004) zwischen der politisch-administrativen Planungseinheit „Bundesland“ und der natürlich-regionalen Planungseinheit „Flusseinzugsgebiet“

Abbildung 11: Schema der Zuständigkeiten innerhalb des Flussquerschnitts der Elbe im Stadtgebiet von Dresden (aus: Grünewald et al. 2003, verändert).



(zum Beispiel Grünewald 2008a). Die durch die WRRL entstehenden neuen Anforderungen haben erhebliche Auswirkungen auf die verschiedenen institutionellen Aspekte des Wassermanagements. Dies erfordert ein Umdenken im Hinblick auf die derzeitige Praxis und gegebenenfalls auch neue Strukturen (Moss 2004, Theesfeld und Schleyer 2011).

In diesem Sinne werden nicht nur aus Sicht des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU), sondern auch aus Sicht der deutschen Wasserwirtschaft große Defizite und Risiken gesehen, insbesondere im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Verwaltungsreformen (Bürokratieabbau etc.) und Kommunalisierungsbestrebungen der Bundesländer (zum Beispiel DFG 2003, SRU 2007). Detailliert werden in SRU (2007) die aktuellen Reformtrends in den Bundesländern ebenso kritisch analysiert und hinterfragt wie der Umweltschutz im Ressortgefüge von Bund und Ländern. Bezüglich der Neuordnung der Aufgabenverteilung in der Landesverwaltung ist die Kritik besonders deutlich. Hier stellt der SRU fest, dass die Umverteilung der administrativen Zuständigkeiten auf die Kommunen die Leistungsfähigkeit der Umweltverwaltungen herabsetzt. Diese Übertragung von Aufgaben auf Städte und Kreise führt zu einer Fragmentierung und einem Verlust von Sachverstand, Expertenwissen, Netzwerken und Verwaltungsroutinen (ebenda). So ist eine an Landkreisen angelagerte Wasserwirtschaftsverwaltung neben der Umsetzung der WRRL und der HWRMRL kaum imstande, auch noch eine differenzierte und effiziente Klimaanpassungsstrategie im Rahmen einer (integrierten) Wasserressourcenbewirtschaftung zu erarbeiten.

Mit diesen Defiziten muss sich die Politik auseinandersetzen und gegebenenfalls auf den verschiedenen Ebenen und den verschiedenen Ressorts der Länder und des Bundes in Deutschland umsteuern. Wie die Hochwasserereignisse unter anderem im Elbegebiet zeigen, sollte präventiv und nicht reaktiv (Grünewald 2008b) mit der Georessource Was-

ser und den möglichen klimawandelbedingten Veränderungen umgegangen werden.

5.2 EMPFEHLUNGEN

(1) Naturressourcen integriert betrachten und bewirtschaften

Eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Deutschland muss auf der Basis der regional unterschiedlichen Verhältnisse bezüglich Wasserdargebot und -bedarf erfolgen und die natürlichen Funktionen der regionalen aquatischen und (semi-)terrestrischen Systeme berücksichtigen. Der nachhaltige Umgang mit Wasserressourcen kann nicht isoliert zum Beispiel nur durch wasserwirtschaftliche Einflussnahmen im Rahmen eines eng verstandenen integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM) erreicht werden. Das IWRM selbst muss sektoren- und politik- sowie akteursübergreifend umgesetzt werden und Einflussnahmen auf Wasserdargebot und -bedarf gleichermaßen vorsehen. Das heißt, die Integration sollte sich nicht nur auf ein gemeinsames Management von Oberflächen- und Grundwasserressourcen über alle administrativen Ebenen hinweg beschränken, sondern auch die Betrachtung mehrerer Ressourcen, wie Wasser, Boden, Land, Wald und Gewässerökosysteme mit einschließen.

(2) Theorie und Praxis durch die Verstärkung von regionalen Netzwerken enger verbinden

Die Inkompatibilität zwischen der politisch-administrativen Planungseinheit „Bundesland“ und der im Rahmen der Umsetzung der WRRL zu steuernden natürlich-regionalen Planungseinheit „Flusseinzugsgebiet“ erfordert verstärkte Anstrengungen zur Vernetzung der unterschiedlichen Akteure und Entscheidungsträger auf den verschiedenen Ebenen. Um das Fehlen einer Flussgebiets-Behörde mit rechtlich bindender Entscheidungsgewalt zu kompensieren, müssen die Landes-Wasserbehörden daher intensivere Formen der

Interaktion mit öffentlichen Einrichtungen, Verbänden und anderen Interessengruppen finden, als bislang praktiziert. Diese sind in regionalen Netzwerken gezielt weiter zu fördern. Aber auch die Forschung muss stärker in die Entwicklung von Strategien für die Praxis eingebunden werden. Ein Ansatzpunkt ist die verstärkte Verknüpfung der Entwicklung von Handlungsstrategien und konkreten Maßnahmenbündeln mit der inhaltlichen Ausrichtung von Forschungsvorhaben bzw. -ausschreibungen.

(3) Adäquate Formen der Kommunikation von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit finden

Die Abwägung zwischen unterschiedlichen Nutz- und Schutzinteressen an den Wasserressourcen kann nur über eine stetige Kommunikation erreicht werden. Erfolgreich ist eine solche nur dann, wenn nicht nur Klarheit erreicht

wird über das „Wie“ der externen Kommunikation, zum Beispiel mit der Öffentlichkeit, sondern auch über das „Was“ der Vermittlung, zum Beispiel intern im Bereich der Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Verwaltung, wie das folgende Beispiel verdeutlicht: Mit der Umsetzung der HWRMRL vollzieht sich derzeit ein Übergang vom bisherigen Hochwasserschutz-Versprechen hin zur bewussten Auseinandersetzung und zum Umgang mit den Hochwasserrisiken durch Hochwasservorsorge. Wie die jüngsten Hochwasserereignisse in den Jahren 2010 und 2011 zeigten, überwiegt im Sprachgebrauch von Politikern und Behörden aber nach wie vor das Hochwasserschutz-Versprechen. Demzufolge ist es nicht verwunderlich, wenn auch in der Bevölkerung und den Medien nach wie vor der klassische Hochwasserschutz-Anspruch dominiert.

6 QUERSCHNITTSTHEMEN

6.1 EINFÜHRUNG

Vor dem Hintergrund des Globalen Wandels muss Deutschland verschiedene Herausforderungen hinsichtlich seiner Wasserressourcen adressieren: den Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt, eine effiziente Wassernutzung und den Erhalt der Wasserqualität. Einige Querschnittsthemen sind für eine nachhaltige, integrierte Wasserressourcenbewirtschaftung in allen Bereichen zu berücksichtigen.

Monitoring

Eine entscheidende Grundlage für die Erfassung vergangener und zukünftiger Änderungen der Quantität und Qualität der Wasserressourcen ist die Gewinnung, Dokumentation und Bereitstellung langjähriger Datensätze. Weltweit ist festzustellen, dass erstens die existierenden Messnetze oft nur unvollständige und inkompatible Daten bereitstellen, zweitens eine beunruhigende Tendenz zur Reduzierung der Messnetze (Hydrologie, Stoffspektrum und -belastung) besteht und drittens die Bereitstellung und der Austausch von Daten zwischen verschiedenen Erfassungssystemen und geografischen Räumen nur unzureichend funktionieren (WWAP 2009). In Deutschland existiert ein umfangreiches Monitoring-System für verschiedene wasserbezogene Parameter. Die Daten werden auf verschiedenen administrativen Ebenen erhoben und archiviert. Bislang existieren entsprechende Datenbanken jedoch nur getrennt voneinander und sind nicht verknüpft. Es gibt weder einen Überblick über die im Einzelnen erfassten Parameter noch über die erfassten Standorte (Hüttl und Bens 2012); auch fehlt vielfach eine Abstimmung zur Erhebungsmethodik. Zudem wurden in den vergangenen Jahren der Umfang und die Ausstattung von Monitoringprogrammen in Deutschland teilweise drastisch reduziert.

Forschungsförderung

Die Stärkung der Interdisziplinarität in Wissenschaft und Forschung ist ein bereits seit vielen Jahrzehnten verfolgter Grundsatz der Forschungsförderung – auch in den Wasserwissenschaften (DFG 2003). In der Vergangenheit konnten hierdurch bereits erfolgreich Barrieren überwunden oder verringert werden (zum Beispiel zwischen den Natur- und den Sozialwissenschaften). Nach wie vor bestehen jedoch bei der Abstimmung große Defizite zwischen den Einzeldisziplinen. Hierzu zählt insbesondere eine gemeinsame strategische Ausrichtung von Forschungsprojekten und -programmen (BMBF 2010). Zudem sind Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung zeitlich noch zu wenig aufeinander abgestimmt. Ein verbindender Mittelweg zwischen Grundlagenforschung, die rein auf den Erkenntnisgewinn zielt, und angewandter Forschung, die beispielsweise eine Entwicklung technischer Produkte zum Ziel hat, ist die problemorientierte Umweltforschung (Daschkeit 2006, Schumann 2011). Sie greift wissenschaftliche Themen auf, die an gesellschaftlich relevanten Problemlagen orientiert sind. Die Übersetzung der gesellschaftlichen Probleme (Bodendegradation, Hochwasser, Grundwasserunreinigung etc.) in wissenschaftliche Forschungsprojekte sowie die Vermittlung der Ergebnisse in einen gesellschaftlichen Diskurs sind zentrale Aufgaben der Zukunft. Ein abgestimmtes Vorgehen ist dabei essenziell für die strategische Entwicklung von Förderprogrammen.

Technologien

Zukunftsfähige Technologien leisten einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der weltweiten Wasserprobleme. Deutschland weist hohe Qualitäts- und Technikstandards im Bereich der Wassertechnologien auf; deutsche Technik ist in den Branchen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung international präsent. Eine Barriere für die erfolgreiche Positionierung deutscher Unternehmen auf dem Weltmarkt sind die traditionell regionale Ausrichtung und die kleinteilige Strukturierung des Wassersektors (GWP 2008,

Moss und Schlippenbach 2011). Die zahlreichen mittleren und kleinen Unternehmen verfügen zwar über eine hohe Innovationskraft, jedoch häufig weder über das entsprechende Eigenkapital noch über die Netzwerke, um mit den *Global Players* konkurrieren zu können. Weitere Gründe für den ungenügenden internationalen Marktzugang deutscher Unternehmen sind unter anderem das hohe Preisniveau und ineffiziente Strukturen (Schippel et al. 2009). Als große Chance wird jedoch gerade aufgrund der kleinteiligen Struktur die Vermarktung von „angepassten Lösungen“ gesehen. Es besteht daher besonders hoher Handlungsbedarf zur Verbesserung der Rahmenbedingungen, um den Export von Wassertechnologien der deutschen Industrie zu fördern. Neben finanziellen Ressourcen sind wesentliche Bausteine hierfür die Durchführung von Demonstrationsprojekten und die Errichtung von Demonstrationsanlagen.

6.2 EMPFEHLUNGEN

(1) Integriertes Monitoring einführen und Monitoringprogramme systematisieren

Durch ihre Verknüpfung lassen sich die bislang getrennt gehaltenen Systeme der quantitativen und qualitativen Datenerfassung effizienter gestalten. Vorhandene Datenbanken können zusammengeführt und die Erhebungsmethoden vereinheitlicht werden. Dies gilt insbesondere für gleiche Untersuchungsparameter in ähnlichen Naturräumen. Auch großräumig ist es sinnvoll, die Erfassung der Daten zwischen den erfassenden Stellen (zum Beispiel Bundes- und Landeseinrichtungen, Forschungsinstitute) regionen- und länderübergreifend abzustimmen und zu systematisieren. Vorstellbar sind über administrative Grenzen hinweg abgestimmte Observatorien und Messkonzepte. Die Dokumentation und der Zugang zu den Daten lassen sich grundsätzlich verbessern und raumübergreifend abgestimmte Ansätze zum Austausch von Daten und zur Datenanalyse entwickeln.

– Neue Technologien zur quantitativen Erfassung des Wasserhaushalts fördern

Zunehmend eröffnen sich neue technologische Möglichkeiten, um den Wasserhaushalt zu erfassen. Beispiele sind die Nutzung von satelliten-, flugzeug- oder bodengestützter Gravimetriemessung zur Detektion zeitlicher Veränderungen der Wasserspeicherung in Landschaften oder die Nutzung von Satellitensystemen (GPS) zur Bestimmung des atmosphärischen Wassergehalts. Neue Generationen preisgünstiger, kleiner und selbstorganisierender Sensornetze können umfassende und in Echtzeit verfügbare Datensätze ermöglichen. Mit den rapide wachsenden Möglichkeiten zur Erfassung multi-dimensionaler Datensätze ist zu prüfen, ob hydrologische Phänomene direkt aus Messungen (durch „datengetriebene Ansätze“) zuverlässiger beschrieben und quantifiziert werden können als durch Ansätze, die auf Simulationsmodellen und Datenkalibrierung beruhen. Es gilt letztlich, beide Ansätze sinnvoll zu kombinieren.

– Veränderungen der Wasserqualität frühzeitig erkennen

Ein Ziel des qualitativen Monitorings ist das frühzeitige Erkennen von neu auftretenden Problemstoffen sowie von Veränderungstrends bei den Stoffkonzentrationen, um rechtzeitig (Gegen-)Maßnahmen einleiten zu können. Finanzielle Mittel müssen für die Gewährleistung der Kontinuität der Datenerfassung und für einen intelligenten Ausbau in einem ausreichenden Maß bereitgestellt werden. Ein konzertiertes Monitoringprogramm der Länder (eventuell mit Koordinierung und finanzieller Beteiligung des Bundes) für Schadstoffe im Oberflächen- und Grundwasser könnte eine solide Datenbasis für die Bewertung von Umweltrisiken bieten. Lang- oder kurzfristige Trends der Stoffeinträge wären belegbar und könnten politische Entscheidungen flankieren. Um auch anthropogene Spurenstoffe nachweisen zu können, werden Indikatoren benötigt. Hierfür sind die chemischen und biologischen Analysemethoden zur

Erstellung und Kontrolle von Qualitätsnormen für anthropogene Spurenstoffe in Abwässern und Vorflutern weiterzuentwickeln.

– **Messstellen in ausreichender Zahl vorhalten und aktuelles Stoffspektrum abdecken**

Zwar konnte die Erfassung von Einzelstoffen in der Vergangenheit erfolgreich vorangetrieben werden, jedoch wurden die Mess- und Überwachungsaktivitäten der Länder in den vergangenen Jahren auf einen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie unbedingt notwendigen Umfang reduziert. Gerade die neuen Stoffgruppen werden somit in den Monitoringprogrammen nicht oder nur vereinzelt in wenigen Bundesländern und nur über einen kurzen Zeitraum erfasst. Daher besteht Handlungsbedarf, um das Monitoringnetz anzupassen und somit der Aktualität des Themas Spurenstoffe gerecht zu werden. Die bestehenden Monitoringsysteme sind zu erhalten und zu optimieren. Zu prüfen ist, ob durch eine bessere Kooperation von Behörden mit universitären und außeruniversitären Forschungsinstitutionen Kosteneinsparungen und Qualitätsverbesserungen realisiert werden könnten, zum Beispiel durch gemeinsame Messprogramme. Es ist sinnvoll, das Stoffspektrum alle drei Jahre zu überprüfen und anzupassen. Die vorgegebenen Stofflisten müssen räumlich differenziert (zum Beispiel nach Flusseinzugsgebieten) und um besonders relevante Stoffe ergänzt werden.

(2) Interdisziplinäre, anwendungsorientierte Forschung stärken

Um ein nachhaltiges Management der Georessourcen – hier insbesondere von Wasser und Boden – auch unter den Bedingungen des Globalen Wandels erreichen zu können und die vielfältigen Einflüsse und Abhängigkeiten besser zu verstehen, ist ein neues „Forschungsmodell“ erforderlich. Dieses muss auf eine bessere Abstimmung und Verzahnung einzelner Bereiche bzw. die Stärkung der interdisziplinären Forschung ausgerichtet sein. Hierfür ist eine vertiefte Zu-

sammenarbeit der für ein integriertes Wasserressourcenmanagement relevanten Disziplinen (unter anderem Hydrologie/Wasserwirtschaft, Bodenwissenschaften, Agrar- und Forstwissenschaften) notwendig.

– **Integrierte Forschungsförderung**

Zur Verbesserung einer integrierten Forschung sind Forschungsprogramme stärker systemorientiert auszurichten, um fachübergreifende Forschungsprojekte zu unterstützen (zum Beispiel von Hydrologie und Bodenwissenschaften). Vor allem innovative Instrumente und Ergebnisse aus interdisziplinärer Zusammenarbeit sowie die Anerkennung interdisziplinärer Publikationen und die Förderung interdisziplinärer Studien, Konferenzen und Austauschprogramme sind zu forcieren. Die Schaffung neuer und die Erhaltung bestehender interdisziplinärer Langzeitprojekte mit sich gegenseitig ergänzenden Messmethodiken sollten dabei zentraler Teil der Forschungsförderung werden.

– **Bessere Koordinierung und Informationsaustausch zwischen Disziplinen und Sektoren**

Um den Austausch zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung wie auch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu verstärken, ist der Einsatz einer internationalen Koordinierungsstelle denkbar. Diese kann die Abstimmung und konzeptionelle Vorarbeit inhaltlich und organisatorisch unterstützen, den Informationsaustausch durch begleitende Disziplinen übergreifende Veranstaltungen (Workshops, Fachgespräche) stärken und fachübergreifende, problemorientierte Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben anregen. Die Koordinationsstelle könnte im Rahmen ihrer fachübergreifenden Kompetenz Ideen und Ansätze bündeln und Hilfestellung bei der Lösung aktueller Probleme – zum Beispiel bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie – geben.

– **Längerfristige Ausrichtung von Förderprogrammen**

Weit gefasste interdisziplinäre Förderprogramme

müssen mit einer angemessenen Laufzeit versehen werden. Eine verbesserte Abstimmung und gemeinsame Zielfindung der verschiedenen Disziplinen sowie ein sinnvolles aufeinander Aufbauen einzelner Arbeitsschritte lassen sich nur durch längerfristig ausgerichtete Förderprogramme erreichen.

(3) Zukunftsweisende Technologien vorantreiben und Rahmenbedingungen für Innovationen verbessern

Deutschland ist Vorreiter für technologische Innovationen im Wassersektor. Um weiterhin eine qualitativ hochwertige Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zu gewährleisten und den Zukunftsmarkt „Wasser“ in Deutschland auszubauen, besteht Handlungsbedarf (GWP 2008). Insbesondere sind die Rahmenbedingungen zu verbessern, um Technologien marktfähig und absatzfähig zu machen. Häufig sind die Vorführung innovativer Technik bzw. die Besichtigung einer Demonstrationsanlage ausschlaggebend für den Verkauf. Es fehlen jedoch vielfach die notwendigen Referenzanlagen. Hohes Entwicklungspotenzial und Forschungsbedarf besteht aus Sicht der Projektgruppe unter anderem im Bereich der folgenden Technologiefelder:

– Geofernerkundungsgestützte Wasserhaushalts-Detektion und -Bilanzierung fördern

Geofernerkundungsgestützte Technologien können teilweise Wasserhaushaltsgrößen mit höherer räumlicher und zeitlicher Abdeckung sowie kostengünstiger als bislang erfassen. Eine Schlüsselrolle für das Verständnis hydrologischer und ökologischer Prozesse der Erdoberfläche spielt dabei die Bodenfeuchte. Satellitengestützte Verfahren auf Mikrowellenbasis sind eine effiziente, in vielen Regionen der Erde praktisch sogar die einzige Möglichkeit zur Bodenfeuchte-Detektion für zum Beispiel die Abflussmodellierung, die Bewässerungssteuerung und das Dürremonitoring. Bei der Entwicklung entsprechender Verfahren gab es zwar in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte, doch es gilt, ihr

enormes technologisches Potenzial besser zu nutzen.

– Technologien der künstlichen Grundwasseranreicherung weiterentwickeln

Für die Ausweitung der Bewässerungslandwirtschaft, auch in Deutschland, ist es notwendig, zusätzliche Wasserquellen zu erschließen. Durch eine verstärkte Einführung von Verfahren der künstlichen Grundwasseranreicherung, zum Beispiel unter Nutzung winterlicher Oberflächenwasserüberschüsse oder des Klarlaufs von Kläranlagen, lassen sich große Mengen an Bewässerungswasser zur Verfügung stellen, ohne den Wasserhaushalt von Grund- und Oberflächengewässer zusätzlich zu belasten. Für die praktische Anwendung ist hier jedoch zunächst standortspezifisch die Eignung von Grundwasserleitern zu prüfen und eine Kontamination von Grundwasser durch Schadstoffeinträge auszuschließen. Es besteht ein dringender Bedarf an Pilotanlagen für Systemlösungen zur Wasserzuleitung und -infiltration sowie zum Speichermanagement.

– Technologien zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen weiterentwickeln

Mit dem demografischen Wandel und einer weiteren Alterung der Bevölkerung ist mit einer Zunahme des Verbrauchs von Arzneimitteln zu rechnen. Damit wird auch ein erhöhter Eintrag von Arzneistoffen und deren Transformationsprodukten in die kommunalen Abwässer und in die Gewässer einhergehen. Mit den heutigen Abwasserreinigungsverfahren können diese Stoffe nicht ausreichend entfernt werden. Ein großer Forschungs- und Entwicklungs-Bedarf ist daher bei der Entwicklung von Technologien und Verfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen wie Arzneimittelrückständen aus Abwasser sowie bei der Trinkwasseraufbereitung vorhanden. Auch hier kommt Pilotanlagen eine besondere Rolle zu, die zu fördern sind. Ein hoher Handlungsbedarf besteht vor allem im Falle der Uferfiltratnutzung an Flüssen mit hoher Belastung durch geklärtes Abwasser.

LITERATUR

Avramov et al. 2010

Avramov, M., Schmidt, S.I., Griebler, C., Hahn, H.J., Berkhoff, S.: „Dienstleistungen der Grundwasserökosysteme“. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Nr. 3 (2010), S. 75-80.

Barthel et al. 2010

Barthel, R., Mauser, W., Schneider, K., Gundel, A., Ziller, R., Bendel, D.: „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserhaushalt, Grundwasserneubildung, Grundwasserstände und Grundwasserqualität im Einzugsgebiet der Oberen Donau – Abschließende Ergebnisse des GLOWA-Danube-Projekts“. In: *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, Nr. 67 (2010), S. 107.

Bergmann 2011

Bergmann, A.: *Anthropogen bedingte Veränderung des Vorkommens relevanter organischer Spurenstoffe im natürlichen Wasserkreislauf Deutschlands* (acatech Materialien Nr. 12), München 2011.

BfG 2006

BfG: „Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen – Wirkungen – Folgen“. In: *Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-Mitteilungen*, Nr. 27 (2006), Koblenz.

Blöschl und Montanari 2010

Blöschl, G., Montanari, A.: „Climate change impacts – throwing the dice?“. In: *Hydrological Processes*, Nr. 24 (2010), S. 374-381.

Blöschl et al. 2011

Blöschl, G., Schöner, W., Kroiß, H., Blaschke, A. P., Böhm, R., Haslinger, K., Kreuzinger, N., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J. L., Viglione, A.: „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Ziele und Schlussfolgerungen der Studie für Bund und Länder“. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Nr. 63 (1-2) (2011), S. 1-10.

BMBF 2010

BMBF (Hrsg.): *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft*, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn/Berlin 2010.

BMELV 2011

BMELV (Hrsg.): *Agrarpolitischer Bericht der Bundesregierung*, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin 2011.

BMU 2005

BMU (Hrsg.): *Die Wasserrahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2005.

BMU 2006

BMU (Hrsg.): *Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 1 – Grundlagen*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2006.

BMU 2008

BMU (Hrsg.): *Grundwasser in Deutschland. Reihe Umweltpolitik*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2008.

BMU 2010

BMU (Hrsg.): *Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 1 – Grundlagen*, Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010.

BMU und UBA 2010

BMU, UBA (Hrsg.): *Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern. Ergebnisse der Bewirtschaftungsplanung 2009 in Deutschland*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn und Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2010.

Bormann 2010

Bormann, H.: "Runoff regime changes in German rivers due to climate change". In: *Erdkunde*, Nr. 64 (2010), S. 257-279.

Brázdil et al. 2006

Brázdil, R., Kundzewicz, Z.W., Benito, G.: "Historical hydrology for studying flood risk in Europe". In: *Hydrological Sciences Journal*, Nr. 51 (2006), S. 739-764.

Bronstert et al. 2009

Bronstert, A., Kneis, D., Bogaen, H.: „Interaktionen und Rückkopplungen beim hydrologischen Wandel: Relevanz und Möglichkeiten der Modellierung“. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Nr. 53 (2009), S. 289-304.

Bücker et al. 2012

Bücker, A., Kaiser, K., v. Schlippenbach, U.: „Einführung“. In: Hüttl, R.F., Bens, O. (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 10-23.

Bundesregierung 2011

Bundesregierung (Hrsg.): *Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen*, Berlin 2011.

Cosgrove und Rijsberman 2000

Cosgrove, W.J., Rijsberman, F.R.: *World Water Vision: making water everybody's business*. London: Earthscan 2000.

Daschkeit 2006

Daschkeit, A.: „Von der naturwissenschaftlichen Umweltforschung zur Nachhaltigkeitswissenschaft?“. In: *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, Nr. 15 (2006), S. 37-43.

Destatis 2011

Destatis: *Statistiken der GENESIS-Online Datenbank*. URL: www-genesis.destatis.de [Stand: 15.08.2011].

DFG 2003

DFG (Hrsg.): *Wasserforschung im Spannungsfeld zwischen Gegenwartsbewältigung und Zukunftssicherung. Denkschrift*, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley-VCH, Weinheim 2003.

DFG 2010

DFG (Hrsg.): *Dynamische Erde – Zukunftsaufgaben der Geowissenschaften. Strategieschrift*, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bremen 2010.

Drastig et al. 2010

Drastig, K., Prochnow, A., Brunsch, R.: *Wassermanagement in der Landwirtschaft. Materialien der IAG Globaler Wandel – Diskussionspapier 3*, Berlin Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin 2010.

DWA 2011

DWA: „Wirkungen und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt“. In: *DWA-Themen T1/2011*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef.

DWD 2011 a

DWD: *Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 30.05.2011*, Pressestelle, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2011a.

DWD 2011 b

DWD: *Pressemitteilung des Deutschen Wetterdienstes vom 29.07.2011*, Pressestelle, Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2011b.

DWD 2011c

DWD: *Online Datenbank*. URL: www.dwd.de [Stand: 01.09.2011].

EEA 2009

EEA: "Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought". In: *EEA Technical report*, Nr. 2 (2009), European Environment Agency, Kopenhagen.

EEA 2010

EEA: *Die Umwelt in Europa: Zustand und Ausblick 2010. Synthesebericht*, European Environment Agency, Kopenhagen 2010.

Europäische Gemeinschaft 2000

Europäische Gemeinschaft: *Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) - Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*, Europäische Gemeinschaft, 2000.

Europäische Gemeinschaft 2007

Europäische Gemeinschaft: *Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken*, Europäische Gemeinschaft, 2007.

Eurostat 2011

Eurostat: *Online-Datenbank der Europäischen Union*. URL: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=de&pcode=tsdph320> [Stand: 25.08.2011].

Exner und Seemann 2011

Exner, E., Seemann, S.: *Wasserinstitutionen in Deutschland* (acatech Materialien Nr. 13), München 2011.

FAO 2011

FAO: *Aquastat – FAO's Information System on Water and Agriculture. Food and Agriculture Organisation*. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat> [Stand: 01.09.2011].

FAOStat 2011

FAOStat: *FAOStat – Resources. Datenbank der Food and Agriculture Organisation*. URL: <http://faostat.fao.org/> [Stand: 01.09.2011].

Fichter und Moss 2004

Fichter, H., Moss, T.: *Regionaler Institutionenwandel durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Institutionen in Naturschutz und Ressourcenmanagement – Beiträge der Neuen Institutionenökonomik*, 2004, S. 72-86.

Frede et al. 2012

Frede, H.G., Bücker, A., Bens, O., Blöschl, G., Glatzel, G., Hansjürgens, B., Hüttl, R.F., Kunst, S., Libra, J., Makeschin, F.: „Wassernutzung und Wassereffizienz in Landschaften“. In: Hüttl, R.F., Bens, O. (Hrsg.): *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 91-157.

Germer et al. 2011

Germer, S., Kaiser, K., Bens, O., Hüttl, R.F.: "Water balance changes and responses of ecosystems and society in the Berlin-Brandenburg region – a review". In: *Die Erde*, Nr. 142 (1/2) (2011), S. 65-95.

Gerstengarbe et al. 2003

Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F., Krysanova, V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P.C.: „Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven“. In: *PIK Reports*, Nr. 83 (2003), Potsdam.

Gerwin et al. 2011

Gerwin, W., Schillem, S., Asch, F., Bens, O., Bestajovsky, J., Bruns, F., Gattinger, A., Hattig, T., Hoogen, H., Hüttl, R.F., Raab, T., Rodionov, A., Schaaf, W., Schneider, B.U., Trimborn, M.: „Bodenmelioration und Anbauverfahren für trockenheitsgefährdete Standorte (BAtroS) – Abschlussbericht“. In: *Cottbuser Schriften zur Ökosystemgenese und Landschaftsentwicklung*, Cottbus 2011.

Gleick et al. 2009

Gleick, P., Cooley, H., Cohen, M., Morikawa, M., Morrison, J., Palaniappan, M.: *The World's Water 2008-2009: the biennial report on freshwater resources*, Washington D.C., USA: Island Press 2009.

Grambow 2008

Grambow, M.: *Wassermanagement. Integriertes Wasser-Ressourcenmanagement von der Theorie zur Umsetzung*, Wiesbaden: Vieweg-Verlag 2008.

Grambow 2009

Grambow, M.: „Integriertes Wasser-Ressourcenmanagement als Antwort auf drängende Wasserfragen – die Nachhaltigkeit als Dreh- und Angelpunkt einer globalen zukunftsfähigen Entwicklung“. In: *uwf – UmweltWirtschaftsForum*, Nr. 17 (3) (2009), S. 235-242.

Grathwohl et al. 2012

Grathwohl, P., v. Schlippenbach, U., Gimbel, R., Hillemeier, B., Libra, J., Meckenstock, R., Reetz, K., Schubert, H., Ternes, T.: „Wasserbeschaffenheit“. In: Hüttl, R. F., Bens, O.: *Georesource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 158-235.

Gregory and Benito 2003

Gregory, K.J., Benito, G. (Hrsg.): *Palaeohydrology: understanding global change*, Wiley, Chichester 2003.

Grimm et al. 2008

Grimm, V., Glauner, C., Eickenbusch, H., Zweck, A.: „Wasserknappheit und Technologie – Übersichtsstudie“. In: *Zukünftige Technologien*, Nr. 76 (2008), VDI Technologiezentrum, Düsseldorf.

Grünewald 2008a

Grünewald, U.: „Voraussetzung für eine erfolgreiche Flussgebietsbewirtschaftung: Klare einzugsgebietsbezogene Ursache-Wirkungs-Analysen und klares einzugsgebietsbezogenes Handeln“. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Nr. 8 (2008a), S. 423-426.

Grünewald 2008b

Grünewald, U.: „Klimawandel, Hochwasserrisikomanagement und Bewirtschaftung der Wasserressourcen in Flusseinzugsgebieten“. In: *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, Nr. 1 (2008b), S. 23-28.

Grünewald 2010

Grünewald, U.: *Wasserbilanzen der Region Berlin-Brandenburg. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppen, IAG Globaler Wandel – Regionale Entwicklung, Diskussionspapier 7*, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin 2010.

Grünewald et al. 2003

Grünewald, U., Kaltofen, M., Schümborg, S., Merz, B., Kreibich, H., Petrow, T., Thieken, A., Streitz, W., Dombrowsky, R.: „Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet“. In: *Schriftenreihe des DKKV*, Nr. 29 (2003).

Grünewald et al. 2012

Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R.F., Kaiser, K., Knierim, A. (Hrsg.): *Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel in Deutschland*, Schweizerbart, Stuttgart 2012.

GWP 2008

GWP: *Excellence in Water Technology & Water Management. Booklet on Capacities, Organisational Structures and Actors. 2nd edition*, German Water Partnership, Berlin 2008.

GWP 2009

GWP: *Strategy 2009-2013*, Global Water Partnership, Stockholm 2009.

Hansjürgens 2011

Hansjürgens, B.: *Bewertung von Wasser in Landschaften - Konzepte, Ansätze und Empfehlungen* (acatech Materialien Nr. 8), München 2011.

Hattermann et al. 2010

Hattermann, F.F., Huang, S., Koch, H.: „Simulation der Wirkung von Klimaänderungen und Klimamodellunsicherheit auf den Wasserhaushalt für deutsche Flusseinzugsgebiete“. In: Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): *Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Norddeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen* (Scientific Technical Report 10/10, Deutsches GeoForschungsZentrum), Potsdam 2010, S. 49-59.

Hillenbrand und Böhm 2008

Hillenbrand, T., Böhm, E.: „Entwicklungstrends des industriellen Wassereinsatzes in Deutschland“. In: *KA Abwasser Abfall* 55, Nr. 8 (2008), S. 872-882.

Hillenbrand et al. 2010

Hillenbrand, T., Niederste-Hollenberg, J., Menger-Krug, E., Klug, S., Holländer, R., Lautenschläger, S., Geyler, S.: *Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur* (UBA Texte 36/2010), Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau 2010.

Hoekstra und Chapagain 2008

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K.: *Globalization of Water*, Malden, MA: Blackwell Publishing 2008.

Hundecha und Merz 2011

Hundecha, Y., Merz, B.: Exploring the relationship between changes in climate and floods using a model-based analysis. In: *Water Resources Research* (im Druck).

Huntington 2006

Huntington, T.G.: "Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis". In: *Journal of Hydrology* 319 (2006), S. 83-95.

Hüttl 2011

Hüttl, R.F. (Hrsg.): *Neue Einblicke in das System Erde*, Berlin: Springer Verlag 2011.

Hüttl et al. 2011

Hüttl, R.F., Emmermann, R., Germer, S., Naumann, M., Bens, O. (Hrsg.): *Globaler Wandel und Regionale Entwicklung - Anpassungsstrategien in der Region Berlin-Brandenburg*, Berlin: Springer Verlag 2011.

Hüttl und Bens 2012

Hüttl, R.F., Bens, O. (Hrsg.): *Georessource Wasser - Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

IPCC 2007

IPCC: Climate Change 2007. *Synthesis Report* (Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A.), Geneva 2007.

Kaiser et al. 2010

Kaiser, K., Libra, J., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): *Aktuelle Probleme im Wasserhaushalt von Norddeutschland: Trends, Ursachen, Lösungen* (Scientific Technical Report 10/10, Deutsches GeoForschungsZentrum), Potsdam 2010.

Kaiser et al. 2012

Kaiser, K., Merz, B., Bens, O., Hüttl, R.F. (Hrsg.): *Historische Perspektiven auf Wasserhaushalt und Wassernutzung in Mitteleuropa. Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt*, Münster: Waxmann-Verlag 2012.

Kämpf et al. 2008

Kämpf, M., Gerdes, H., Mikat, H., Berthold, G., Roth, U. (2008): „Auswirkungen des Klimawandels auf eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“. In: *Energie-Wasser-Praxis* 59, Nr. 1 (2008), S. 49-53.

Knacker und Coors 2011

Knacker, T., Coors., A.: *Ökotoxikologische Bewertung von anthropogenen Stoffen im Wasserkreislauf* (acatech Materialien Nr. 10), München 2011.

Knutti 2008

Knutti, R.: "Should we believe model predictions of future climate change?". In: *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 366 (2008), S. 4647-4664.

Koch und Grünewald 2011

Koch, H., Grünewald, U. *Anpassungsoptionen der Wasserbewirtschaftung an den globalen Wandel in Deutschland* (acatech Materialien Nr. 5), München 2011.

Krauss und Griebler 2011

Krauss, S., Griebler, C.: *Pathogenic Viruses in Groundwater* (acatech Materialien Nr. 6), München 2011.

Kumar 2011

Kumar, P.: "Typology of hydrologic predictability". In: *Water Resources Research* 47 (2011), W00H05.

Leibniz-Gemeinschaft 2011

Leibniz-Gemeinschaft (Hrsg.): „Wasser: Achtung! Klimawandel – Sekundäreffekte auf das Wasser“. In: *Zwischenruf*, Nr. 1 (2011).

Libra et al. 2011

Libra, J.A., Ro, K. S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M.-M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J., Emmerich, K.-H.: "Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis". In: *Biofuels* 2, Nr. 1 (2011), S. 71-106.

Mahammadzadeh und Wiesweg 2010

Mahammadzadeh, M., Wiesweg, M.: „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 54, Nr. 1 (2010), S. 47-51.

Maurer et al. 2011

Maurer, T., Nilson, E., Krahe, P. *Entwicklung von Szenarien möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss- und Wasserhaushaltskenngrößen in Deutschland* (acatech Materialien Nr. 11), München 2011.

Merz et al. 2011

Merz, B., Bittner, R., Grünewald, U., Piroth, K.: *Management von Hochwasserrisiken*, Stuttgart: Schweizerbart 2011.

Merz et al. 2012

Merz, B., Kaiser, K., Bens, O., Emmermann, R., Flühler, H., Grünewald, U., Negendank, J. F. W.: „Klimawandel und Wasserhaushalt“. In: Hüttli, R. F., Bens, O.: *Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel. Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland* (acatech STUDIE), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012, S. 24-90.

Milly et al. 2008

Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J.: "Stationarity is dead: Whither water management?". In: *Science*, Nr. 319 (2008), S. 573-574.

Moss 2004

Moss, T.: "The governance of land use in river basins: prospects for overcoming problems of institutional interplay with the EU Water Framework Directive". In: *Land use policy*, Nr. 21 (2004), S. 85-94.

Moss und Schlippenbach 2011

Moss, T., Schlippenbach, U. v.: *The Intermediation of Water Expertise in a Post-privatization Context*. In: Guy, S., Marvin, S., Medd, W., Moss, T. (Eds.): *Shaping Urban Infrastructures. Intermediaries and the Government of Socio-technical Networks*. London u.a.: Earthscan 2011, S. 108-123.

Mudelsee et al. 2003

Mudelsee, M., Börngen, M., Tetzlaff, G., Grünewald, U.: "No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe". In: *Nature*, Nr. 425 (2003), S. 166-169.

Muir und Howard 2006

Muir, D.C., Howard, P.H.: "Are there other persistent organic pollutants? A challenge for environmental chemists". In: *Environmental Science and Technology*, Nr. 40 (2006), S. 7157-7166.

NKGCF 2008

NKGCF: *Global Change Research in Germany 2008* (Nationales Komitee für Global Change Forschung), München 2008.

NKGCF 2011

NKGCF: *Global Change Research in Germany 2011* (Nationales Komitee für Global Change Forschung), München 2011.

Petrow und Merz 2009

Petrow, T., Merz, B.: "Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002". In: *Journal of Hydrology*, Nr. 371 (2009), S. 129-141.

Rieland 2004

Rieland, M.: Das BMBF-Programm GLOWA: *Instrumente für ein vorausschauendes Management großer Flusseinzugsgebiete*. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 48, Nr. 2 (2004), S. 83-84.

Robinson et al. 2008

Robinson, D.A., Campbell, C.S., Hopmans, J. W., Hornbuckle, B.K., Jones, S.B., Knight, R., Ogden, F., Selker, J., Wendroth, O.: "Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: a review". In: *Vadose Zone Journal*, Nr. 7 (2008), S. 358-389.

Schippl et al. 2009

Schippl, J., Grunwald, A., Hartlieb, N., Jörisen, J., Mieli-cke, U., Parodi, O., Stelzer, V., Weinberger, N., Dieckhoff, C.: *Roadmap Umwelttechnologien 2020 – Endbericht* (Wissenschaftliche Berichte FZKA 7519), Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe 2009.

Schirmer et al. 2005

Schirmer, W., Bos, J.A., Dambeck, R., Hinderer, M., Preston, N., Schulte, A., Schwalb, A., Wessels, M.: „Holocene fluvial processes and valley history in the river Rhine catchment“. In: *Erdkunde*, Nr. 59 (2005), S. 199-215.

Schubert 2011a

Schubert, H.: *Die Konzepte des Virtuellen Wassers und des Wasser-Fußabdrucks* (acatech Materialien Nr. 4), München 2011a.

Schubert 2011b

Schubert, H.: *The virtual water and the water footprint concepts*. (acatech Materialien Nr. 14), München 2011b.

Schumann 2011

Schumann, A.: „Hydrologie – Forschung zwischen Theorie und Praxis“. In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 55, Nr. 4 (2011), S. 215-223.

Slavik und Uhl 2011

Slavik, I., Uhl, W.: *Konzepte und Technologien für eine nutzungsangepasste Bereitstellung von Wasser* (acatech Materialien Nr. 9), München 2011.

SRU 2007

SRU: *Umweltverwaltungen unter Reformdruck: Herausforderungen, Strategien, Perspektiven*, Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin 2007.

SRU 2008

SRU: *Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels* (Umweltgutachten 2008), Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin 2008.

Strigel et al. 2010

Strigel, G., Ebner von Eschenbach, A.-D., Barjenbruch, U. (Hrsg.): *Wasser – Grundlage des Lebens Hydrologie für eine Welt im Wandel*, Stuttgart: Schweizerbart 2010.

TAC 2000

TAC: *Integrated Water Resources Management*, Technical Advisory Committee, Global Water Partnership, Stockholm 2000.

Theesfeld und Schleyer 2011

Theesfeld, I., Schleyer, C.: *Institutional Requirements for Integrated Water Resource Management in Germany* (acatech Materialien Nr. 3), München 2011.

Trzyna 1995

Trzyna, T.C.: *A Sustainable World. Defining and Measuring Sustainable Development*, IUCN – The World Conservation Union, Sacramento, CA 1995.

Turner 1993

Turner, R.K.: *Sustainable environmental economics and management. Principles and Practice*, London: Belhaven Press 1993.

UBA 2011

UBA: *Daten zur Umwelt* (Ausgabe 2011 – Umwelt und Landwirtschaft), Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2011.

UN 1992

UN: *Agenda 21*. URL: <http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/agenda/rio/index.htm> [Stand 03.11.2011].

Vereecken et al. 2008

Vereecken, H., Huisman, J.A., Bogaen, H., Vanderborght, J., Vrugt, J. A., Hopmans, J.W.: "On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review". In: *Water Resources Research* 44 (2008), W00D06.

Wagner et al. 2011

Wagner, W., Vetter, M., Bartsch, A.: *Novel Microwave- and Lidar Remote Sensing Techniques for Monitoring of In-Land Water Resources* (acatech Materialien Nr. 5), München 2011.

Water Science Alliance 2010

Water Science Alliance: *Priority Research Fields*, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig 2010.

WHO 2006

WHO: *Protecting Groundwater for Health – Managing the Quality of Drinking-water Sources*, Genua 2006.

Wiesmann 2011

Wiesmann, U.: *Historische Impressionen bei einer Spreefahrt durch Berlin* (acatech Materialien Nr. 2), München 2011.

WWAP 2003

WWAP: *Water for people, water for life. United Nations World Water Development Report*, World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris 2003.

WWAP 2009

WWAP: *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*, World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris 2009.

WWF 2010

WWF: *Living Planet Report 2010 – Biodiversität, Biokapazität und Entwicklung*, World Wide Fund For Nature, Gland 2010.

Zebisch et al. 2005

Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W.: *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme* (UBA-Texte 08/05), Umweltbundesamt, Dessau 2005.

Zimmermann et al. 2008

Zimmermann, L., S. Raspe, C. Schulz, Grimmeisen, W.: *Wasserverbrauch von Wäldern - Bäume und Bestände verdunsten unterschiedlich stark* (Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. LWF aktuell - Wald und Wasser), Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising 2008.

GLOSSAR

| BEGRIFF | ERKLÄRUNG |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abfluss | Der Teil des gefallenen Niederschlags, der in Bächen und Flüssen abfließt. Er wird gemessen als Wassermenge pro Zeit und meist in Kubikmeter pro Sekunde (m ³ /s) angegeben |
| Anpassungskapazität | Die Fähigkeiten, Ressourcen oder institutionellen Kapazitäten von Systemen, Organisationen oder (einzelnen) Akteuren, sich an veränderte oder sich künftig verändernde Klimabedingungen und deren mögliche Folgen anzupassen, wirksame Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen und damit die Vulnerabilität (s.u.) zu reduzieren. |
| Anthropogene Spurenstoffe | Viele synthetisch hergestellte, organische Spurenstoffe werden in Produkten des täglichen Gebrauchs verwendet und gelangen – vorwiegend über die Siedlungsentwässerung bzw. die Kläranlagenabläufe – direkt in die Gewässer. Dort sind diese Stoffe in Spuren nachweisbar und können schon in sehr niedrigen Konzentrationen nachteilig auf aquatische Organismen und Ökosysteme wirken. Sie werden daher auch als Mikroverunreinigungen bezeichnet. Über die Uferinfiltration gelangen sie auch ins Grundwasser und stellen damit für die Trinkwasseraufbereitung eine zunehmende Herausforderung dar. |
| Biokohle/HTC Kohle | Aus Biomasse hergestellte Holz- bzw. Braunkohle-ähnliche Produkte, die entweder durch 1) Pyrolyse (thermische Zersetzung) bei Temperaturen um 450°C unter Sauerstoffausschluss oder durch 2) Hydrothermale Karbonisierung (HTC; wässrige Verkohlung) bei ca. 180-200°C erzeugt werden. Bei diesen Verfahren werden Biokohlen mit unterschiedlichen Eigenschaften gewonnen, deren Eignung als Bodenhilfsstoff und Mittel der Kohlenstoff-Speicherung Teil aktueller wissenschaftlicher Diskussionen ist. |
| Bodenfeuchte | Wassergehalt des Bodens im Porenraum. |
| Bodenhilfsstoffe | Bodenhilfsstoffe sind Stoffe ohne wesentlichen Nährstoffgehalt, die den physikalischen, chemischen oder biologischen Zustand des Bodens sowie seine Wasserhaltekapazität verbessern und die Wirksamkeit von Düngemitteln erhöhen bzw. deren Auswaschung verringern können. |
| Bodenwissenschaften | In den Bodenwissenschaften werden die Entwicklung, Eigenschaften und Verbreitung der Böden, ihre abiotischen und biotischen Prozesse, ihre Nutzung, Gefährdung, Regeneration und Sanierung im Kontext von Bodenlandschaften erforscht. |
| Evapotranspiration | Die Verdunstung von Boden- oder Wasseroberflächen wird als "Evaporation" bezeichnet, die von Pflanzen als "Transpiration". Beide werden unter dem Begriff "Evapotranspiration" zusammengefasst. |
| Geothermie | Deutschland liegt mit einer jährlichen Erdwärmenutzung von ca. 1 680 Gigawattstunden weltweit auf dem 15. Rang. Der weitaus größte Teil dieser direkt genutzten Erdwärme wird derzeit (2006) mit dezentralen Erdwärmesonden (ca. 800 Megawatt thermisch) aus geringer Tiefe bis etwa 250 Meter gewonnen. Etwa 177 Megawatt entfallen auf rund 140 zentrale Anlagen mit einer Kapazität von jeweils über 100 Kilowatt thermisch. Die Stromerzeugung aus Erdwärme steht in Deutschland zwar erst am Anfang, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat aber eine Reihe neuer Geothermievorhaben zur Stromerzeugung angeregt. |
| Globaler Wandel | Unter dem Begriff des Globalen Wandels werden zusammenfassend jene Veränderungen in Natur und Gesellschaft bezeichnet, die global wirksam sind und die Lebensgrundlagen der Menschen (zum Teil) irreversibel beeinflussen. |
| Hydrofracking | Unter Fracking oder Hydrofracking (in Verbindung mit Wasser) wird eine spezielle Technik zur Förderung von Erdgas aus Schiefergestein verstanden, die derzeit großräumig in den USA und in Kanada eingesetzt wird. Hiermit werden tief im Untergrund gelegene Erdgaslagerstätten erschlossen. |
| Hydrologie | Wissenschaft vom Wasser, seinen Erscheinungsformen über, auf und unter der Landoberfläche, seinen Eigenschaften und seinen natürlichen Zusammenhängen. |

| BEGRIFF | ERKLÄRUNG |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IWRM – Integriertes Wasserressourcenmanagement | Das Integrierte Wasserressourcenmanagement (IWRM) zeichnet sich durch die integrierte Betrachtung mehrerer Ressourcen aus, wie Wasser, Boden, Wald und aquatische Ökosysteme. Diese sollen in einem sektorübergreifenden, partizipativen Prozess auf nachhaltige Weise entwickelt und bewirtschaftet werden. Dadurch sollen isolierte sektorale und ineffiziente Nutzungssysteme überwunden werden. IWRM ist ein relativ neues Konzept, das vornehmlich in den internationalen Foren der Forschung und Wasserpolitik entwickelt und vorgebracht wurde. |
| Klimawandel | Statistisch signifikante Veränderung des mittleren Zustands des Klimas oder seiner Variabilität, die für eine längere Periode (meist Dekaden) anhält. |
| Nachhaltigkeit | Eine nachhaltige Entwicklung heißt, die Bedürfnisse der heutigen Generation zu befriedigen ohne die Möglichkeiten für zukünftige Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen, zu beeinträchtigen. Das bedeutet auch, den Verbrauch der natürlichen Ressourcen, Stoffe und Energien innerhalb der Regenerations- und Ersatzgrenzen zu halten und die Verschmutzung von Luft, Boden und Wasser innerhalb von für alle Lebewesen tolerierbaren Grenzen zu halten. |
| Spurenstoffe | Spurenstoffe sind organische Verbindungen, die als „Spuren von Stoffen“, also in sehr geringen Konzentrationen in der Umwelt und in Gewässern vorkommen können. Organische Spurenstoffe sind dann als kritisch zu bewerten, wenn sie aus human- oder ökotoxikologischer Sicht ein Risiko bzw. Gefährdungspotenzial darstellen. |
| Störstoffe | Unter Störstoffen werden im Rahmen dieser Publikation Wasserinhaltsstoffe verstanden, die aus toxikologischen oder sensorischen Gründen oder aus Gründen der Aufbereitung, Verteilung und Verwendung oder aus prinzipiellen Gründen (weil naturfremd) als störend empfunden werden. |
| Sensitivität (Empfindlichkeit) | Der Grad, zu welchem ein System oder Akteur entweder nachteilig oder positiv durch Klimavariabilität oder Klimaänderungen beeinflusst wird. |
| Szenario | Eine plausible und häufig vereinfachte Beschreibung, wie die Zukunft sich gestalten könnte, basierend auf einer kohärenten und in sich konsistenten Reihe von Annahmen in Bezug auf die treibenden Kräfte und wichtigsten Zusammenhänge. Szenarien können von Projektionen abgeleitet sein, beruhen aber oft auf zusätzlichen Informationen aus anderen Quellen, manchmal kombiniert mit einer Modellgeschichte. |
| Transformationsprodukte | Transformationsprodukte sind Abbau- oder Stoffwechselprodukte, die aus einer mikrobiellen oder chemischen Reaktion hervorgehen und sich vom Ausgangsstoff chemisch unterscheiden. |
| Virtueller Wasserhandel | Der Transfer von Virtuellem Wasser, der beim Handel mit Produkten entsteht. Im Gegensatz zu den Produkten, die real transportiert werden müssen, ist das gehandelte Virtuelle Wasser nur eine fiktive Größe, die nicht transportiert werden muss. |
| Vulnerabilität (Verwundbarkeit) | Das Ausmaß, zu welchem ein System oder ein Akteur anfällig gegenüber nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels, einschließlich der Klimavariabilität und der Extrema, oder unfähig ist, diese zu bewältigen. Die Vulnerabilität ist abhängig von der Art, dem Ausmaß, der Geschwindigkeit und der Schwankungsbreite der Klimaänderung, welcher das System ausgesetzt ist, sowie der Sensitivität (s.o.) und der Anpassungskapazität (s.o.) des Systems oder des Akteurs. |

| BEGRIFF | ERKLÄRUNG |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wasserdargebot | Die Wassermenge, die aus Oberflächen- und Grundwasser in einer bestimmten Zeitspanne zur Verfügung steht, also entnommen werden kann ohne die Ökosysteme zu schädigen. |
| Wasser-Fußabdruck | Gesamtes Wasservolumen, das pro Zeiteinheit für eine bestimmte Person oder für eine Personengruppe benötigt wird. Der Wasser-Fußabdruck (WF) kann auch auf Regionen (zum Beispiel Städte, Länder) oder auf Unternehmen bezogen werden, die Güter produzieren. Neuerdings wird der WF auch ohne Zeitbezug auf die Masse eines Produkts bezogen. Es handelt sich dabei um den Virtuellen Wassergehalt des betrachteten Produkts in der üblichen Dimension Liter Wasser/kg Produkt. Beispielsweise je nach Produktionsweise $WF \approx 10.000 - 20.000$ Liter Wasser/kg Rindfleisch. |
| Wasserhaushalt | Die mengenmäßige Erfassung des Wasserkreislaufs, der Wasserbilanz und seine Regulierung; ein wichtiger Teil der Wasserwirtschaft. |
| Wasserressource | Wasser, das für eine spezifische Nutzung in hinreichender Menge und Qualität an einem bestimmten Ort für einen bestimmten Zeitraum zur Verfügung steht oder verfügbar gemacht werden kann. |
| Wasserverbrauch | Dem natürlichen Wasserkreislauf pro Zeiteinheit entzogenes Wasser, das im betrachteten Bilanzraum (zum Beispiel einer Region, einer Nation) nicht mehr für die Nutzung zur Verfügung steht. Das Wasser wird hauptsächlich durch Verdunstung oder Sublimation dem Bilanzraum entzogen. Wird dagegen Wasser etwa zu Reinigungszwecken benutzt, kann es nach einer geeigneten Reinigung wieder verwendet werden, ist also noch im Bilanzraum verfügbar. |

ANHANG:

VERZEICHNIS WEITERER EXPERTINNEN UND EXPERTEN, DIE BERATEND ODER DURCH VORTRÄGE BEI VERANSTALTUNGEN ZUM PROJEKT BEIGETRAGEN HABEN

- Dr. Rolf Altenburger, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Dr. Claus G. Bannick, BioÖkonomieRat Berlin
- Prof. Dr. Günter Bayerl, Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Dipl. Ing. Michael Becker, Emschergenossenschaft und Lippeverband, Essen
- Dipl. Betriebswirt Holger Behrens, Geohumus International GmbH, Frankfurt
- Dr. Wulf Bentlage, Geohumus International GmbH, Frankfurt
- Dr. Nicole D. Berge, University of South Carolina, Columbia, SC
- Dipl.-Ing. Olaf Blank, Vattenfall Europe Wärme AG, Berlin
- Dr. Ralf Bleile, Stiftung Schleswig-Holsteinische Landesmuseen Schloß Gottorf
- Dipl.-Biol. Martin Böhme, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin
- Prof. Dr. Dieter Bryniok, Fraunhofer Allianz SysWasser Stuttgart
- Dr. Ann Kathrin Buchs, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Hannover
- Dr. Jens Burgschweiger, Berliner Wasserbetriebe
- Dr. Benjamin Creutzfeldt, Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum
- Dr. Mathias Deutsch, Georg-August-Universität Göttingen
- Dr. Peter Dietrich, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Dr. Peter Dominik, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Dr. Christoph Donner, Rheinisch-Westfälische Wasserversorgungsgesellschaft mbH, Mülheim an der Ruhr
- Mr. Doron, NETAFIM Israel, Tel Aviv
- Prof. Dr. Wolfgang Dott, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen
- Prof. Dr. Wilhelmus Duijnvisveld, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Prof. Dr. Martin Exner, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Prof. Dr. Matthias Freude, Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Potsdam
- Dipl.-Ing. agr. Ekkehard Fricke, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover
- Dr. Birgit Fritz-Taute, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin
- Dr. Christoph Fühner, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Dr. Andreas Gattinger, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick, Schweiz
- Dr. Robin Gebbers, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim
- Dr. Joachim Genz, Bayer AG, Leverkusen
- Dr.-Ing. Markus Gerlach, Roediger Vacuum GmbH, Hanau
- Prof. Dr. Dr. h. c. Carl Friedrich Gethmann, Universität Duisburg-Essen
- Dipl.-Ing. Regina Gnirß, Berliner Wasserbetriebe
- Prof. Dr. Kai-Uwe Goss, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Prof. Dr. Jörg-Michael Greef, Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Dr. Tamara Grummt, Umweltbundesamt, Bad Elster
- Dipl.-Ing. Andreas Hartmann, Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Dr. Thomas Henschel, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
- Dr. Joachim Herbold, Munich Re, München
- Prof. Dr. Arjen Hoekstra, Universität Twente
- Dr. Sibylle Itzerott, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
- Prof. Dr. Stefan Kaden, DHI-WASY Berlin
- Dr. Claudia Kammann, Justus-Liebig Universität Gießen
- Dipl.-Ing. Bernd Kirschbaum, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

- Dr. Andrea Knierim, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
- Prof. Dr. Klaus Knoblich, Justus-Liebig Universität Gießen
- Dr. Thomas Koch, Vattenfall Europe Mining AG, Cottbus
- Dr. Christian Korndörfer, Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden
- Dr. Heidi Kreiblich, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
- Prof. Dr. Rolf Kuhn, Internationale Bauausstellung Fürst-Pückler-Land 2000-2010
- Dr. Rainer Langner, Vereinigte Hagelversicherung, Gießen
- Dr. Boris Lesjean, Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Prof. Dr. Gunnar Lischeid, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
- Prof. Dr. Wolfram Mauser, Ludwig-Maximilians-Universität München
- Dr. Michael Mayer, Karlsruher Institut für Technologie
- Dr. Timothy Moss, Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung, Erkner
- Dipl.-Landw. Lambert Muhr, Munich Re, München
- Dipl.-Ing. agr. Karl Murr, Munich Re, München
- Dr. York Neubauer, Technische Universität Berlin
- Prof. Dr. Sascha Oswald, Universität Potsdam
- Prof. Dr. Claudia Pahl-Wostl, Universität Osnabrück
- Prof. Dr. Karl-Heinz Pörtge, Georg-August-Universität Göttingen
- Dr. Wilfried Puchert, Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg – Vorpommern, Schwerin
- Prof. Dr. Joachim Quast, Institute for Applied Marine, Limnic and Hydrological Studies, Müncheberg
- Prof. Dr. Thomas Raab, Brandenburgische Technische Universität Cottbus
- Prof. Dr. Dr. h.c. Ortwin Renn, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Wilhelm Rippl, Technische Universität Berlin
- Dr. Kyoung S. Ro, USDA-ARS Coastal Plains Soil, Water & Plant Research Center, Florence, USA
- Prof. Dr. Jochen Schanze, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden
- Prof. Dr. Wolfgang Schirmer, Universität Düsseldorf
- Dr. Michael Schlüsener, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Prof. Dr. Gerrit Schüürmann, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, Leipzig
- Prof. Dr. Andreas Schumann, Ruhr-Universität, Bochum
- Dr. Mike Schwank, Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum
- Alon Shimoni, NETAFIM Deutschland, Frankfurt Niedder-Erlenbach
- Prof. Dr. Manfred Stock, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- Dr. Bernd Susset, Eberhard-Carls-Universität Tübingen
- Dr. Maria-Magdalena Titirici, Max-Planck Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam
- Prof. Dr. Klement Tockner, Freie Universität Berlin
- Dr. Hans van der Sloot, Amsterdam
- Prof. Dr. Hans von Storch, Helmholtz-Zentrum Geesthacht
- Prof. Dr. Harry Vereecken, Forschungszentrum Jülich
- Dr. Frank Wechsung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- Dr. Bodo Weigert, Kompetenzzentrum Wasser Berlin
- Prof. Dr. Markus Weiler, Universität Freiburg
- Prof. Dr. Hubert Wiggering, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
- Dr. Ulrich Wild, BRAKELEY, Fundraising & Management Consultants München

> BISHER SIND IN DER REIHE acatech POSITION UND IHRER VORGÄNGERIN acatech BEZIEHT POSITION FOLGENDE BÄNDE ERSCHIENEN:

acatech (Hrsg.): *Mehr Innovationen für Deutschland. Wie Inkubatoren akademische Hightech-Ausgründungen besser fördern können* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Future Energy Grid. Informations- und Kommunikationstechnologien für den Weg in ein nachhaltiges und wirtschaftliches Energiesystem* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2012.

acatech (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Den Ausstieg aus der Kernkraft sicher gestalten. Warum Deutschland kerntechnische Kompetenz für Rückbau, Reaktorsicherheit, Endlagerung und Strahlenschutz braucht* (acatech POSITION), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Smart Cities. Deutsche Hochtechnologie für die Stadt der Zukunft. Aufgaben und Chancen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 10), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Akzeptanz von Technik und Infrastrukturen. Anmerkungen zu einem aktuellen gesellschaftlichen Problem* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 9), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Nanoelektronik als künftige Schlüsseltechnologie der Informations- und Kommunikationstechnik in Deutschland* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 8), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Leitlinien für eine deutsche Raumfahrtspolitik* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 7), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2011.

acatech (Hrsg.): *Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status Quo – Herausforderungen – Offene Fragen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 6), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2010.

acatech (Hrsg.): *Intelligente Objekte – klein, vernetzt, sensitiv. Eine neue Technologie verändert die Gesellschaft und fordert zur Gestaltung heraus* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 5), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Strategie zur Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Handlungsempfehlungen für die Gegenwart, Forschungsbedarf für die Zukunft* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 4), Heidelberg u.a.: Springer Verlag 2009.

acatech (Hrsg.): *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland. Empfehlungen zu Profilbildung, Lehre und Forschung* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 3), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

acatech (Hrsg.): *Innovationskraft der Gesundheitstechnologien. Empfehlungen zur nachhaltigen Förderung von Innovationen in der Medizintechnik* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 2), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

acatech (Hrsg.): *RFID wird erwachsen. Deutschland sollte die Potenziale der elektronischen Identifikation nutzen* (acatech BEZIEHT POSITION, Nr. 1), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

> **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de

> **DIE REIHE acatech POSITION**

In dieser Reihe erscheinen Positionen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Die Positionen enthalten konkrete Handlungsempfehlungen und richten sich an Entscheidungsträger in Politik, Wissenschaft und Wirtschaft sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Positionen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und vom acatech Präsidium autorisiert und herausgegeben.