



**F&E-Vorhaben  
Klimawandel am Bodensee (KlimBo)**

**Risikobewertung klimatischer  
Einflüsse auf die Trinkwasserversorgung  
aus dem Bodensee**

**Kurzfassung**

zusammengestellt  
von  
Dr.-Ing. Roland Schick, Dr.-Ing. Marcel Meggeneder  
Dipl.-Ing. Michael Fleig

im Auftrag der  
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und  
Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)



Landesanstalt für Umwelt, Messungen und  
Naturschutz Baden-Württemberg

**Juni 2013**

# Impressum

- Titel:** Risikobewertung klimatischer Einflüsse auf die Trinkwasserversorgung aus dem Bodensee
- Herausgeber:** Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz  
Baden-Württemberg (LUBW)  
Abteilung Wasser  
Postfach 10 01 63  
76231 Karlsruhe  
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>
- Koordination:** Institut für Seenforschung  
Argenweg 50/1  
88085 Langenargen  
Leitung: Dr. Gerd Schröder, Projektbetreuung: Bernd Wahl  
E-Mail: [isf@lubw.bwl.de](mailto:isf@lubw.bwl.de)  
Tel.-Nr.: 0049 (0)7543/304-0, Fax: 07543/304-299
- Bearbeitung:** Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung  
Hauptstraße 163  
70563 Stuttgart  
E-Mail: [bwv@zvbwv.de](mailto:bwv@zvbwv.de)  
Tel.-Nr.: 0049 (0)711/973-0, Fax: 0711/973-2030
- DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Karlsruher Straße 84  
D-76139 Karlsruhe  
E-Mail: [info@tzw.de](mailto:info@tzw.de)  
Tel.-Nr.: 0049 (0)721/9678-0, Fax: 0721/9678-101
- Autoren:** Dr.-Ing. Roland Schick, Dr.-Ing. Marcel Meggeneder, Dipl.-Ing. Michael Fleig
- Stand:** Juni 2013, Version 1.1
- ISSN / ISBN:**
- Copyright:** Die Veröffentlichung, die Vervielfältigung und der Nachdruck, ist -auch auszugsweise- nur mit vorheriger Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet
- Haftung:** Sowohl der Herausgeber als auch der Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung und das DVGW-Technologiezentrum Wasser übernehmen keine Haftung für Schäden, die aufgrund von weiterführenden oder fehlerhaften Anwendungen der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse und Sachverhalte entstehen

Die vorliegende Literaturstudie wurde im Rahmen des F&E-Verbundforschungsvorhabens „Klimawandel am Bodensee, KlimBo“ durch die Europäische Union aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie des INTERREG IV-Programms „Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein“ gefördert.



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung



„Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorauszusagen,  
sondern darauf, auf die Zukunft vorbereitet zu sein“

Perikles um 500-420 v.Chr., athenischer Politiker und Feldherr

## Vorbemerkungen

Der globale Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen für die Menschheit des 21. Jahrhunderts. Der Klimawandel manifestiert sich dabei nicht nur in verstärkt auftretenden Wetteranomalien und Extremereignissen sondern vielmehr auch in subtilen, z.T. nicht reversiblen Veränderungen, die zukünftig unsere Lebensgrundlagen in zunehmendem Maße beeinflussen werden. Führende Fachgremien und anerkannte Forschergruppen rechnen mit weitreichenden Veränderungen und einer erheblichen Zunahme von klimabedingten Schäden, wenn es nicht gelingt, den bereits quantifizierbaren bzw. prognostizierten Temperaturanstieg der Erdatmosphäre zu begrenzen. Daher wird mit Ausnahme weniger Skeptiker die Notwendigkeit und Dringlichkeit von Maßnahmen

- zur Vermeidung oder zumindest Minderung von klimawirksamen Treibhausgasemissionen sowie
- zum Erhalt bzw. zur Optimierung der Anpassungsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme an die unvermeidbaren Auswirkungen

in Fachkreisen nicht mehr bestritten.

In der Bodenseeregion ist bereits heute die Klimaänderung in mannigfaltiger Weise sichtbar und spürbar. Um im Kontext des Klimawandels frühzeitig die sich ändernden Rahmenbedingungen erkennen, deren Entwicklungen und Auswirkungen für das aquatische System „Bodensee“ abschätzen und beurteilen sowie erforderliche Handlungsoptionen u.a. für die Wasserversorgungsunternehmen erarbeiten zu können, besteht Konsens darüber, die bisherigen Schutzmaßnahmen im Rahmen international abgestimmter Anstrengungen und innovativer Aktivitäten verstärkt fortzusetzen.

Das von der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie des INTERREG IV-Programms „Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein“ geförderte Verbundforschungsvorhaben

„Klimawandel am Bodensee, KlimBo“

kann hierbei einen wesentlichen Beitrag leisten. An dem Gesamtprojekt, das insgesamt auf einen Förderzeitraum von drei Jahren ausgerichtet ist, wirken im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit bzw. eines regelmäßigen Erfahrungsaustausches folgende Institutionen mit:

- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB)
- Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR)
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)
- Bundesamt für Umwelt, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (BAFU)
- Amt für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg (AUL)
- Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS)
- Universität Konstanz, Limnologisches Institut (LIK)
- Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG)
- Ingenieurbüro Prof. Kobus und Partner GmbH (kup)
- DVGW-Technologiezentrum Karlsruhe (TZW)
- Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV)

Ziel dabei ist es, bis Ende 2014 in 6 Teilprojekten weiterführende Erkenntnisse aufzuzeigen, mit denen die zu erwartenden meteorologischen / hydrologischen Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklungen im Bodenseegebiet sowie auf die hydrodynamischen, biologischen und physikalisch/chemischen Wechselwirkungen im Bodensee im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtungsweise charakterisiert werden können. U.a. werden in langfristig angelegten Messkampagnen und Modellsimulationen die klimabedingten Einflüsse auf die Wasserqualität, die Tiefenwassererneuerungen und Stoffaustauschprozesse sowie auf den Wärmehaushalt des Bodensees und seiner Kompartimente eingehend untersucht und bewertet.

Im Rahmen der vorliegenden Literaturstudie

„Risikobewertung klimatischer Einflüsse auf die  
Trinkwasserversorgung aus dem Bodensee“

wurden speziell die Folgen der klimatischen Veränderungen aus Sicht der Trinkwasserversorgung aufgezeigt. Sie wurde von der Bodensee-Wasserversorgung (BWV) in enger Zusammenarbeit mit dem DVGW-Technologiezentrum Karlsruhe (TZW) und der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) erstellt und zeigt in beispielhafter Weise die kooperative und erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Praxis und Wissenschaft auf.

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen Mitwirkenden, die durch ihre fachliche Kompetenz, ihre wertvollen Hinweise und konstruktive Kritik wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, recht herzlich bedanken.

Der Europäischen Union sowie den Anrainerstaaten des Bodensees danken wir für die finanzielle Unterstützung. Neben einer Förderung zur nachhaltigen Entwicklung der Grenzgebiete als attraktiver Lebens-, Natur-, Wirtschafts- und Kulturraum konnte dadurch ein weiterer wesentlicher Beitrag zur grenzüberschreitenden Kooperation zwischen den in der Bodenseeregion tätigen wissenschaftlichen Institutionen geleistet werden.

Nicht zuletzt danken wir dem Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, das die Gesamtkoordination aller erforderlichen organisatorischen und administrativen Aufgaben übernommen hat.

Zweckverband  
BODENSEE-  
WASSERVERSORGUNG



Dr. Marcel Meggeneder

ARBEITSGEMEINSCHAFT  
WASSERWERKE BODENSEE-RHEIN



Dr. Kurt Ruegg

DVGW-TECHNOLOGIEZENTRUM  
WASSER KARLSRUHE



Dr. Josef Klinger

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.0 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Allgemeines .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
<b>2.0 Klimaentwicklungen und zukünftige Umweltauswirkungen</b> .....	<b>3</b>
2.1 Bodenseeregion und Anrainerstaaten .....	3
2.2 Bodensee und seine Kompartimente .....	5
<b>3.0 Mögliche Folgen des Klimawandels für die Wasserversorgungsunternehmen</b> .....	<b>7</b>
3.1 Wasserbeschaffenheit .....	7
3.2 Wasserdargebot und Trinkwasserbedarf .....	8
3.3 Wassergewinnung aus dem Bodensee .....	10
3.4 Aufbereitung des Bodenseewassers .....	11
3.5 Verteilung/Speicherung des Trinkwassers .....	11
3.6 Energie- und Stromversorgung .....	12
3.7 Einflüsse der Klimaänderung auf das menschliche Wohlbefinden und Gesundheit .....	13
3.8 Ökonomie .....	14
<b>4.0 Überlegungen zur Exposition, Sensitivität, Vulnerabilität und zum Risikomanagement</b> .....	<b>15</b>
<b>5.0 Handlungsoptionen, Anpassungsmaßnahmen</b> .....	<b>17</b>
<b>6.0 Gesamtbeurteilung und abschließende Bemerkungen</b> .....	<b>24</b>
<b>7.0 Literatur</b> .....	<b>26</b>

# 1.0 Einführung<sup>1</sup>

## 1.1 Allgemeines

Die Klimaveränderung stellt neben dem globalen Bevölkerungszuwachs und den zukünftigen Fragen zur Energieversorgung eine der wesentlichsten Herausforderungen unserer Gesellschaft im 21. Jahrhundert dar. Das Thema „globaler Klimawandel“ und die damit verbundenen Auswirkungen stehen daher nicht nur zunehmend im Fokus der internationalen Politik und der Fachexperten, sie sind auch verstärkt in das öffentliche Bewusstsein gerückt.

Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts wird eine weltweite Erwärmung der Erdatmosphäre beobachtet, verbunden mit einer Vielzahl an direkten und indirekten Folgeerscheinungen (u.a. Rückgang der Schnee- und Eisbedeckung, Änderung der Niederschlagsmuster in Bezug auf Intensität und Häufigkeit, zeitliche Verteilung und räumlichen Ausdehnung von Extremereignissen,...), die durch natürliche Einflussfaktoren wie Sonnenaktivität, Schwankungen des ozeanischen Strömungssystems oder Vulkanausbrüche alleine nicht mehr erklärbar sind. Bis auf wenige kritische Stimmen besteht weitgehend wissenschaftlicher Konsens darüber, dass die Klimaänderung, die vor allem durch die anthropogen verursachten Emissionen von Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Methan CH<sub>4</sub>, Distickstoffoxid (Lachgas N<sub>2</sub>O), Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>, Stickstofftrifluorid NF<sub>3</sub> und Aerosole bedingt ist, nicht mehr verhindert, sondern lediglich in ihrer Auswirkung gemindert werden kann. Selbst bei einer sofortigen signifikanten Verringerung oder zumindest einer Stabilisierung der Emissionen der sogenannten Treibhausgase auf heutigem Niveau, werden sich für nahezu alle Regionen auf der Erde die beobachteten Trends in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen. Die Lebensgrundlagen und Entwicklungschancen künftiger Generationen werden dadurch zunehmend verändert. Nach den Angaben des Weltklimarates ist daher gegenüber dem Bezugsjahr 1990 eine Halbierung der weltweiten Treibhausgas-Emissionen bis zum Jahr 2050 erforderlich. Gelingt es hingegen nicht, die anthropogen bedingten Klimaeinflüsse zu minimieren, ist mittel- bis langfristig mit klimabedingten Schäden in erheblichem Ausmaß zu rechnen.

---

<sup>1</sup> [AGBU (2006), BAFU (2010a), Bardossy (2012), Bodensee Online (2008), Bundesregierung (2008), Bundesregierung (2011), BWV (2013), EAWAG (2009), Eder (2008a), EU (2007), EU (2009), Feierabend (2010), Frassl (2012), Gönner (2008), Göttle (2007), Hunziker (2011), IGKB (2004), IGKB (2008b), IGKB (2011b), IGKB (2011c), IGKB (2013a), IPCC (2007a), IPCC (2007b), IPCC (2007c), IPCC (2007d), IPCC (2007e), IPCC (2007f), Kempe (2008), Klimaskeptiker (2012a), Klimaskeptiker (2012b), Lang (2008), Lang (2008), Lang (2010), Lebensministerium (2011a), Lebensministerium (2011b), LUBW (2011a), LUBW (2011b), LUBW (2011d), Mehlhorn (2008), NABU (2012), Nagler (2011), North (2007), OcCC (2007), OcCC (2008), ÖWAV (2010), Rinke (2008), Schavan (2008), Scheuermann (2008), Schick (2006), Schick (2013a), Schick (2013b), Wasserwirtschaft (2008); ZAMG (2010)]

Nicht nur weltweit sondern auch im Einzugs- bzw. Trinkwasserversorgungsgebiet der Bodenseeregion sind die Auswirkungen des Klimawandels bereits sicht- und spürbar. Insbesondere der Wasserkreislauf als wesentlicher Bestandteil des Klimas ist hiervon signifikant und nachhaltig betroffen. Um den zukünftigen Herausforderungen der Wasserwirtschaft, des vorsorgenden Gewässerschutzes und der Trinkwasserversorgung unter derartigen Rahmenbedingungen gerecht zu werden, bedarf es daher weiterhin gemeinsamer Anstrengungen und entsprechend innovativer Forschungsaktivitäten. Es gilt, gemeinsam mögliche Defizite zu erkennen, integrale Lösungsansätze zu erarbeiten und die notwendigen Maßnahmen den sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen anzupassen. Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) sowie die durch die Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) vertretenen Wasserversorgungsunternehmen sind sich mehr denn je ihrer Verantwortung und Verpflichtung bewusst. Sie setzen sich nicht nur für die ökologische Stabilität des Bodensee, den Ressourcenschutz und die Belange der Wasserversorgung ein, sie sind -ihrer Tradition folgend- auch bereit, aktiv bei entsprechenden F&E-Vorhaben mitzuwirken, die zu einer weitergehenden Aufklärung der in unserer aquatischen Umwelt zu beobachtenden Prozessabläufe beitragen und die aus den Ergebnissen abzuleitenden Maßnahmen umzusetzen.

## 1.2 Zielsetzung

Speziell die vorliegende Literaturstudie

### **„Risikobewertung klimatischer Einflüsse auf die Trinkwasserversorgung“,**

die als Teilaspekt des von der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung sowie des INTERREG IV-Programms „Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein“ geförderten Verbundforschungsvorhaben

### **„Klimawandel am Bodensee, KlimBo“**

durchgeführt wurde, zielt darauf ab, die aus den klimatischen Veränderungen resultierenden Auswirkungen und Folgen aus Sicht der Trinkwasserversorgung zu analysieren und zu bewerten. Am Beispiel der Seewasserwerke sollen vor allem

- kritische Punkte und Wissensdefizite identifiziert,
- im Sinne einer Vulnerabilitätsabschätzung und Risikobewertung die relevanten Störgrößen im System „Trinkwasserversorgung und Klimawandel“ konkretisiert, priorisiert und beurteilt sowie
- integrale Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen im Hinblick auf die Belange in der Wertschöpfungskette der Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung/Speicherung erarbeitet werden.



Aufgrund der Vielzahl an Einflussgrößen und deren gegenseitige Wechselwirkungen ist jedoch eine szenariobasierte Ableitung von Prognosen nur unter großen Unwägbarkeiten und Unsicherheiten möglich. Bereits kleinste Abweichungen der getroffenen Annahmen von den zukünftig realen Entwicklungen können signifikante Fehlinterpretationen zur Folge haben. Eine kritische Einzelfallprüfung ist daher unerlässlich, ebenso wie eine regelmäßige Neubewertung der daraus gezogenen Schlussfolgerungen.

Die nachfolgenden Überlegungen und Schlussfolgerungen sind als „Entscheidungs- und Orientierungshilfen“ anzusehen, die aus heutiger Sicht plausibel erscheinen. Als Diskussionsgrundlage können sie in Form von Denkanstößen dazu beitragen, die Entscheidungsträger verstärkt für das Thema „Klimaveränderung“ zu sensibilisieren sowie die Bereitschaft zu wecken, die bisherige Sicht- und Verhaltensweise ergebnisoffen zu hinterfragen.

## 2. Klimaentwicklungen und zukünftige Umweltauswirkungen<sup>2</sup>

### 2.1 Bodenseeregion und Anrainerstaaten

Wie die bislang auf **Deutschland, Schweiz und Österreich** bezogenen Untersuchungen zum Thema „Klimawandel“ zeigen, sind seit den 60/70er Jahren des letzten Jahrhunderts in allen Anrainerstaaten des Bodensees die Lufttemperaturen um ein bis zwei Grad Celsius gestiegen. Es ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen davon auszugehen, dass sich die damit verbundenen Umweltauswirkungen analog den weltweiten Trends fortsetzen werden. Ebenso wird die zeitliche und räumliche Variabilität des Klimas ab 2050 deutlich zunehmen.

---

<sup>2</sup> [academia-Engelberg (2008), AGBU (2006), ANEBO (2010), Anschober (2012), AWEL/IBK (2007), BAFU (2008), BAFU (2010a), BAFU (2012a), BAFU (2012b), BAFU (2012c), Bardossy (2010), BMU (2005), BMU (2012a), BodenseeOnline (2008), Born (2008), BUWAL (2004a), BUWAL (2004b), BWV (2013), Castell-Exner (2010), ch2011 (2011), cipra (2009), Cipra (2011), DAV (2010), Dienst (1994), Dienst (2008), DWD (2012a), DWD (2012b), DWD (2012d), EEA (2009), EUWID (2011), EUWID (2012), FAZ(2007), Flessner (2009), Formayer (2001), Formayer (2004), Formayer (2008), Frei (2007), Frei (2008), Funk (2010), Gander (2009), Gessner (2009), Gewässerfachstellen (2008), Graßl (2000), Güde (2010), Günther (2004), Haeberli (2010), Hamberger (2012), Haubner (2009), Hennegriff (2008), Hunkeler (2010), Hunziker (2011), IDW (2008), IGKB (2004), IGKB (2006a), IGKB (2006b), IGKB (2007a), IGKB (2007c), IGKB (2008a), IGKB (2008b), IGKB (2011a), IGKB (2011b), IGKB (2011c), IGKB (2012a), IGKB (2012b), IGKB (2013a), IGKB (2013b), ISF (2009), Jacob (2008), Jacob (2009), Jannin (2010), Jonas (2005), Kampf (2008), KHR (2006), Kinzelbach (2007), Kipfer (2008), Kipfer (2010), KLIWA 1-18 (2000- 2012), Köhler (2012), Kotlarski (2007), Kottmeier (2005), Kramer (2006) Kromp-Kolb (2008), Kromp-Kolb (2009), Kuhn (200x), LAWA (2010), LfU (2011), Livingstone (2010), LUBW (2007a), LUBW (2007b), LUBW (2011c), LUBW (2011d), LUBW (2012), LUBW (2013), Luding (2007), Malitz (2007), Mayer (2007), Messmer (2011), Messmer (2012), Naef (2010), Neumann (2007), NFP 61 (2010), North (2007), OcCC (2007), Ostendorf (2003a), Ostendorf (2003b), Ostendorf (2006), Ostendorf (2007), Ostendorf (2008), ÖWAV (2010), Posch u.a. (2012), Preuß (2011a), Preuß (2011b), Regionalverband (2009a), Regionalverband (2009b), Regionalverband (2010), REKLIBO (2009), Rossknecht (2003), Ruegg (2008), Sailer (2009), Scheuermann (2008), Schick (2013), Schlichterle (200x), Schneider (2010), Schneider (2012), Schneider (2013), Schröder (2006), Seneviratne (2010), Siebert (2011), Siebler (2006), Städler (2006), Südkurier (2003), Südkurier (2011), Tiefenschärfe (2013), Truffer (2006), UBA (2003), UBA (2005a), UBA (2010a), UBA (2010b), UMBW (2005), UMBW (2009), UMBW (2010), UMBW (2012), Wahl (2007), Werner (2012), WWF (2007), www.neozoen-bodensee.de (2013), www.occ.ch (2013), www.proclim.ch (2013), www.tiefenschärfe-bodensee.info (2013), ZAMG (2011), Zintz (2009)]

U.a. ist vermehrt mit trockenen Sommertagen und länger anhaltenden Hitzeperioden, einer Verringerung von Frost- bzw. Eistagen sowie einem Anstieg der Schneefallgrenze zu rechnen. Ferner werden auch die Bilanzgrößen zum Wasserhaushalt wie Gesamtniederschlagsmenge, Niederschlagsverteilung, Verdunstung sowie der direkte und unterirdische Abfluss auch in Zukunft sowohl lokal/regional als auch saisonal unterschiedlich ausgeprägt sein.

Im **alpinen Einzugsgebiet des Bodensees** führen diese Entwicklungen dazu, dass bis Mitte/Ende des 21. Jahrhunderts ein weitgehender Verlust der heute noch vorhandenen Gletscher mit einem gespeicherten Wasservolumen von ca. 10 Mrd. m<sup>3</sup> zu erwarten ist. Der dadurch resultierende jährliche Schmelzwasserabfluss spielt -bezogen auf die mittlere Wasserzuführung zum Bodensee- von ca. 11,5 Mrd. m<sup>3</sup>/a jedoch eine untergeordnete Rolle. Vielmehr ist aufgrund des Anteils an Niederschlägen, die zukünftig nicht mehr in Form von Schnee gebunden werden sowie den anthropogenen Einflüssen (u.a. jahreszeitlich angepasster Betrieb der Wasserspeicherbecken zur Energiegewinnung) insgesamt im Sommerhalbjahr eher mit einer verringerten, im Herbst/Winter dagegen mit einer erhöhten Wasserführung der Bodenseezuflüsse aus den Alpen zu rechnen. Außerdem werden als Folge des Temperaturanstieges der Atmosphäre mittelfristig hochalpine Permafrostgebiete weiter auftauen, was insbesondere bei Wetterlagen mit Starkniederschlägen verstärkt zu Hangrutschungen sowie Muren-, Schlamm- und Schneelawinenabgängen führen kann. Neben Niedrigwasserführungen sind somit auch vermehrt ereignisabhängige Überschwemmungen in den betroffenen Gebieten bzw. am Bodensee zu erwarten.

Für **Süddeutschland** werden hinsichtlich der hydrologischen Verhältnisse analoge Entwicklungen prognostiziert. Unter Beachtung der sich kleinräumig auswirkenden Wasserbilanzgrößen (Verdunstung, Sickerwasser, oberflächen- und unterirdische Abflussraten, ...), der Bodenverhältnisse (Landnutzung, Wasserspeicherkapazität,...) sowie der geologischen Unterschiede (Kiese, Sande, Festgestein,...) resultieren in den verschiedenen Regionen unterschiedliche Grundwasserneubildungsraten. So ist nach längeren Trocken- und Hitzeperioden vor allem bei sensibel reagierenden Quellschüttungen und wenig ergiebigen Grundwasservorkommen in den Festgesteinsbereichen mit einer Verringerung des lokalen Wasserdargebotes zu rechnen. Darüber hinaus kann als Folge der ausbleibenden „Verdünnung“ und gleichzeitigem vermehrten Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft die Konzentration an unerwünschten anthropogen bedingten Stoffen ansteigen. Andererseits ist im Fall von Starkregen-/Hochwasserereignissen zu beachten, dass wegen den damit einhergehenden Überschwemmungen von Gewinnungsanlagen oder der ungenügenden Schutzwirkung der Deckschichten vielerorts Beeinträchtigungen (z.B. bakteriologische Auffälligkeiten, erhöhte Konzentration an Trübstoffen,...) im oberflächennahen Grundwasser nachzuweisen sind.

## 2.2 Bodensee und seine Kompartimente

Neben den „landseitig“ beobachteten Umweltauswirkungen werden durch den Klimawandel auch gewässerspezifische Gegebenheiten des Bodensees und seiner abiotisch bzw. biotisch veränderbaren Kompartimente maßgeblich beeinflusst (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1:**  
**Ausgewählte Beispiele der Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodensee und seiner Kompartimente**

„äußere Störgrößen“ Meteorologie/Hydrologie Einzugsgebiet	Gletscherschmelze, Auftauen hochalpiner Permafrostgebiete, Anstieg Schneefallgrenze, Umverteilung der Niederschlagsmengen vom Sommer in das Winterhalbjahr (räumlich und zeitlich unterschiedlich ausgeprägt) Zunahme von Extremereignissen (Trocken-/Hitzeperioden, Starkniederschläge/Hochwasser mit vermehrten Stoffeinträgen)
Zuflussregime Wasserstand Wasserdargebot	Räumlich und zeitlich stark schwankende Wasserführung der Zuflüsse Vergleichmäßigung monatsbezogener Wasserstände (Jahresganglinie) Gesamtwasserdargebot nahezu gleichbleibend
Freiwasserkörper, Flachwasser und Uferbereich	Mögliche Änderungen der Wasserbeschaffenheit (Erhöhung Wassertemperatur, Eintrag von partikulären und gelösten Stoffen, Änderung der temperaturabhängigen bio-/chemischen Wechselwirkungen) Stabilere Schichtungsverhältnisse, ggf. Ausbleiben der Vollzirkulation Änderung hydrodynamischer Vorgänge (Einschichtungsverhalten Zuflüsse, Strömungs- und Stofftransportvorgänge im Freiwasser und Flachwasser-/Uferbereich sowie am Seegrund) Ökologische Auswirkungen (Einfluss auf aquatische Lebensräume und -gemeinschaften, z.B. Änderungen des Artenspektrums von Mikroorganismen, Kleinorganismen, tierische und pflanzliche Organismen oder Ausbreitung Neozoen und Neophyten)
Seeform, Seeboden/Sediment	Änderung der Morphologie/Struktur des Sees Milieuänderung in Seebodennähe (Sauerstoffkonzentration, Remobilisierungerscheinungen, Aufwirbelungen und Verlagerung partikulärer Stoffe)

Die Wasserbilanz des Bodensees wird neben der Verdunstung, der unmittelbaren Niederschlagsmenge auf den See, dem Zufluss aus dem Karstgebiet der oberen Donau, der Gletscherschmelze und den Überleitungen aus bzw. in Fremdeinzugsgebiete (z.B. Inn-III, Seez-Tamina) vor allem von den Niederschlagsverhältnissen in seinem Einzugsgebiet und dem natürlichen Abfluss in den Seerhein (Konstanzer Schwelle) bzw. in den Hochrhein in der Nähe von Stein am Rhein (Eschenzer Horn) bestimmt. Mittel- bis langfristig wird sich bei einem prognostizierten, nahezu gleichbleibenden Gesamtwasserdargebot<sup>3</sup> eine Vergleichmäßigung der monatsbezogenen Bodenseewasserstände (Jahresganglinie) ergeben. Ursache ist die Umverteilung der Niederschlagsmengen vom Sommer- in das Winterhalbjahr sowie der temperaturbedingte Anstieg der Verdunstungsrate. Im Vergleich zu heute ist davon auszugehen,

<sup>3</sup> mittlere jährliche Wasserzuführung zum Bodensee: ca. 360 - 380 m<sup>3</sup>/s

dass somit zukünftig im Sommer i.d.R. mit niedrigeren, im Winter dagegen mit höheren Pegelständen zu rechnen ist. Nicht vorhersehbare Extremereignisse können zudem dazu führen, dass sowohl die bisher beobachteten Maximal- als auch die Minimalwerte für mehrere Tage/Wochen über- bzw. unterschritten werden. In solchen Fällen kann der Wasserstand innerhalb weniger Stunden stark ansteigen, wie es beispielsweise das Starkregenereignis im August 2005 mit einem Pegelanstieg von etwa einem halben Meter innerhalb von 24 Stunden deutlich gezeigt hat.

Ferner werden sich die Zuflüsse bei solchen Hochwasserereignissen nicht mehr in der Thermokline einschichten, sondern das Wasser wird vielmehr direkt im Mündungsbereich aufgrund der hohen Frachten an partikulären Inhaltsstoffen<sup>4</sup> bis auf die Seesohle absinken. Dort breitet es sich über längere Strecken aus und vermischt sich heterogen mit dem Tiefenwasser. Im Fall extremer Hochwasserereignisse ( $H_{\text{extrem}} = 610 \text{ cm}$ , Pegel Konstanz) ist mit großflächigen Überschwemmungen im Uferbereich, Sedimentation- bzw. Erosionserscheinungen von partikulären Inhaltsstoffen im Bereich der Hang-/Haldenkante und des Seebodens (Rutschungen, Aufwirbelungen,...) sowie großflächigen Behinderungen durch Treib-/Totholz zu rechnen.

Durch die klimabedingte Temperaturzunahme der Atmosphäre kann in den letzten 30 Jahren eine deutlich messbare Erwärmung der Lufttemperaturen um 1 bis 2°C und des oberflächennahen Seewassers um ca. 1°C beobachtet werden. Der Temperaturanstieg im Tiefenwasser fällt schwächer aus, ist jedoch ebenfalls deutlich nachweisbar. Setzen sich diese Temperaturentwicklungen fort, ist mittelfristig mit thermischen Schichtungsverhältnissen im Bodensee zu rechnen, die im Vergleich zu heute eine stabilere Ausprägung aufweisen und länger andauern. Da eine Erneuerung des Tiefenwassers neben anderen Einflussparametern<sup>5</sup> maßgeblich durch die Temperaturverhältnisse im Winter bestimmt wird, sind zukünftig mit hoher Wahrscheinlichkeit Zeitabschnitte von mehreren Jahren zu besorgen, die durch eine geringere Sauerstoffkonzentration in Seebodennähe gekennzeichnet sind. Bei solch veränderten Milieubedingungen können Remobilisierungen z.B. von Phosphat und Schwermetallen aus dem Seesediment nicht ausgeschlossen werden.

Zudem sind bei zunehmend wärmerem Wasser deutlich wahrnehmbare Änderungen bio-/chemischer Prozessabläufe denkbar. So ist mit einer Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeiten innerhalb des biochemischen Systems „Bodensee“ und der Gewässerbiozöosen im Flachwasser/Uferbereich zu rechnen. Dadurch könnte es beispielsweise in oberflächennahen Wasserschichten verstärkt zu biogenen Calcitausfällungen kommen, die zu einem autochtonen Partikeltransport in das Tiefenwasser

---

<sup>4</sup> Anmerkung: Bei extremen Niederschlagsereignissen können aufgrund von Abschwemmungen aus Landflächen bzw. der Mobilisierung von im Flussbett abgelagerten Sedimenten innerhalb weniger Tage mehr als 1 Mio. Tonnen Feststoffe unterschiedlicher Größe und Dichte in den Bodensee eingetragen werden

<sup>5</sup> z.B. windinduzierte Ereignisse, Abkühlungs- und Strömungsverhältnisse in den Flachwasserzonen („differential cooling“), Einschichtungsvorgänge der Zuflüsse, Temperatur- und Dichteunterschied der Wasserschichten zwischen Epi- und Hypolimnion, ...

beitragen. Sollten derartige Ereignisse verstärkt im Bereich des Seerheins stattfinden, sind langfristig sogar Sedimenterhöhungen denkbar, die u.U. den Wasserpegelstand des Bodensees zusätzlich beeinflussen können. Ebenso ist es vorstellbar, dass sich im Bodensee vorkommende Mikroorganismen (z.B. Bakterien,...), Kleinorganismen (z.B. Nematoden,...), tierische Organismen (Fische,...) oder bislang nicht „heimische“ Tiere und Pflanzen (Neozoen und -phyten) zukünftig vermehrt ausbreiten, die eine höhere Resilienz gegenüber den geänderten Rahmenbedingungen der Klimaerwärmung aufweisen. Ggf. können so in Zukunft unerwünschte Geruchs- und Geschmackstoffe gebildet und freigesetzt werden. Zudem können extreme Niederschläge durch den Eintrag von Trüb- und Spurenstoffen aus punktuellen und diffusen Quellen zu einer weiteren Änderung der mikrobiologischen bzw. physikalisch/chemischen Wasserbeschaffenheit führen.

### 3. Mögliche Folgen des Klimawandels für Wasserversorgungsunternehmen<sup>6</sup>

Neben den unmittelbaren Auswirkungen und Einflüssen der Klimaveränderung auf die Umwelt bzw. auf den Bodensee und seiner Kompartimente resultieren auch direkt bzw. indirekt nachweisbare Sekundärfolgen, die speziell für die Wasserversorgungsunternehmen zu berücksichtigen sind. Hierbei handelt es sich vorwiegend um nutzungsspezifische, technische und sozio-ökonomische Aspekte, die eng mit der Roh- und Trinkwasserbeschaffenheit bzw. der Versorgungssicherheit (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung/Speicherung) verbunden sind.

#### 3.1 Wasserbeschaffenheit

Wie eingehend erörtert, ist unter Berücksichtigung der räumlichen Bodensee-Kompartimente, den jahreszeitlich schwankenden Umweltbedingungen sowie den komplexen seeinternen Strömungsvorgängen eine klimabedingte Änderung der Beschaffenheit des Bodenseewassers im Entnahmebereich der Seewasserwerke (i.d.R. 40 m bis 60 m Tiefe) nicht auszuschließen. Ebenso können die landseitig zur Trink-

---

<sup>6</sup> [akademie-engelsberg (2008), AWEL/IBK (2007), BAFU (2007a), BAFU (2007b), BDEW (2008b), BDEW (2010), BDEW (2011), BDEW (2012), BMU (2003), BMU (2012d), Bunse (2009), BWV (2013), Castell-Exner (2010), Cornelius (2007), DVGW (2007a), DVGW (2009a), DVGW (2011), Eisenmenger (2006), epd (2012), EUWID (2011), Gander (2009), Günther (2012), Haakh (2009a), Haakh (2009b), Haakh (2009c), Hofmann (2012), IBA (2011), IGKB (2004), IRR (2011a), IRR (2011b), IRR (2012a), IRR (2012b), Kempfert (2007), Kinzelbach (2007), Kröhner (2010), Kunz (2005), Landtag Baden-Württemberg (2009), Liebscher (1991), Livingstone (2010), Löbermann (2012), LUBW (2011), Mai (2008), Merkel (2008), MunichRe (2009), NFP 61 (2010), Petry (2009), Preuß (2011a), Preuß (2011b), Prognos (2010), Raith (2004), Regionalverband (2009a), Ruegg (2008), Schonmuth (2010), Sorge (2013a), Städler (2006), Stark (2009), Statistisches Bundesamt (2006), Statistisches Bundesamt (2009), Südkurier (2003b), Tichler (2007), UBA (2008a), UBA (2011b), UBA (2012d), UBA (2012g), UFZ (2011), UMBW (2004), UMID (2009), Wasserbilanz-Bodensee (2011a), Wasserbilanz-Bodensee (2011b), Wasserwirtschaft (2010), Wricke (2007), www.DIN.de (2013), www.dstgb.de (2013), www.dvgw.de (2013), www.oevgw.at (2013), www.statistik.baden-wuerttemberg.de(2013), www.svgw.ch (2013)]

wasserversorgung genutzten Ressourcen (Grundwasser, Quellen, Uferfiltrat,...) durch den Klimawandel sowohl quanti- als auch qualitativ beeinträchtigt werden. Alle bisher getroffenen Aussagen, die sich auf die Wasserqualität des Bodensees bzw. der Vorkommen im Trinkwasserversorgungsgebiet des Bodensees beziehen, gelten hierbei sinngemäß.

### 3.2 Wasserdargebot und Trinkwasserbedarf

Treffen die zu erwartenden Klimaprojektionen bezüglich der Wasserbilanz zu, sind unter Berücksichtigung der Speicherkapazität des Bodensees<sup>7</sup> keine Einschränkungen für die Seewasserwerke hinsichtlich des Wasserdargebotes zu erwarten. Unter der Annahme, dass auch in Zukunft durch die insgesamt 17 Seewasserwerke ca. 170 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr zu Trinkwasserzwecken entnommen werden, entspricht dies lediglich etwa 1,5 % des Wasserdurchflusses durch den See oder etwa der Hälfte der natürlichen Verdunstung. Außerdem wird die trinkwasserbezogene Entnahme durch die aus Gründen der Energiegewinnung aus Fremdeinzugsgebieten übergeleiteten Wassermengen kompensiert.

Das langjährige Wasserdargebot im betrachteten Trinkwasserversorgungsgebiet hängt vor allem von den regionalen/örtlichen verfügbaren Wasservorkommen und den saisonalen Einflüssen ab. Wie aus den bisherigen, orientierenden Abschätzungen zur Grundwasserneubildung abgeleitet werden kann, ist davon auszugehen, dass unter meteorologischen „Normalbedingungen“ die Grundversorgung der Bevölkerung in der Bodenseeregion und dem süddeutschen Raum mit örtlich gewonnenem Wasser zumindest in den nächsten Dekaden als gewährleistet angesehen werden kann. Es scheint, dass in Abhängigkeit der sich z.T. kleinräumig auswirkenden Wasserbilanzgrößen und örtlicher Verhältnisse i.d.R. im Trinkwasserversorgungsgebiet des Bodensees Grund- und Quellwasser weiterhin in ähnlichem Ausmaß wie heute zur Verfügung steht bzw. lediglich mit moderaten Veränderungen zu rechnen ist. Hingegen werden wegen der prognostizierten Zunahme der Häufigkeit und Intensität von extremen Wetterereignissen und den damit verbundenen Auswirkungen die Seewasserwerke in Hinblick auf Versorgungssicherheit und Wasserabgabe aus den vorgenannten Gründen (vgl. Kap. 2.1, Süddeutschland) vor größere, nach derzeitigem Stand des Wissens lösbare Herausforderungen gestellt.

Der zukünftige Bedarf an Trinkwasser ist nicht allein von klimarelevanten Faktoren abhängig, vielmehr sind bei einer Abschätzung der Abgabemenge auch sogenannte „Wandelprozesse“ und „äußere“ Einflussfaktoren zu berücksichtigen (**Tabelle 2**).

---

<sup>7</sup> Volumen des Bodensees bei Mittelwasser: ca. 48,4 Mrd. m<sup>3</sup>

**Tabelle 2:**  
**„Wandelprozesse“ und „äußere“ Einflussfaktoren, von denen der Bedarf an Trinkwasser aus dem Bodensee zusätzlich bestimmt wird**

verbraucher-spezifisches Verhalten	Ausgehend von dem dem bisherigen Verbraucherverhalten ist zukünftig in Baden-Württemberg und der Bodenseeregion mit einem stagnierenden bzw. rückläufigen „Pro-Kopf-Verbrauch“ zu rechnen. Aufgrund der hohen Fixkosten führt dies jedoch langfristig zu keiner finanziellen Entlastung des Endverbrauchers. Ggf. bedarf es erhöhter technischer Anforderungen (z.B. Steuerung/Regelung der Aufbereitungsanlagen, vermehrt Spülungen im Verteilsystem, ...), um die hygienisch einwandfreie Wasserbeschaffenheit sowie die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können.
Demographie	Aus der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung für Süddeutschland lässt sich keine maßgebliche Steigerung des Wasserbedarfs im Trinkwasserversorgungsgebiet des Bodensees ableiten. Für die Bodenseeregion ist hingegen ein Anstieg der Bevölkerungszahl und damit eine steigende Trinkwasserabgabe nicht auszuschließen.
Industrielle/wirtschaftliche Entwicklungen	Im Norden des Versorgungsgebietes aus dem Bodensee ist vermutlich eine strukturelle Weiterentwicklung, im Umland des Bodensees und dem mittleren Neckarraum vermutlich eine Konsolidierung zu erwarten. Abgesehen von lokalen Ausnahmen ist bei einhergehenden Wassersparmaßnahmen somit eher mit einem sinkenden Bedarf an Trinkwasser auszugehen.
Konkurrierende Wassernutzungen	Vor allem während der Vegetationsperiode und einer Intensivierung der Landwirtschaft bei ggf. noch extensiv bewirtschafteten Flächen wird sich im Falle abnehmender Sommerniederschläge ein steigender landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf ergeben. Dadurch können auf lokaler Ebene Engpässe resultieren, in denen das örtliche Wasservorkommen zur Deckung der Nachfrage aller Nutzer (z.B. Haushalte, Landwirtschaft, Industrie, Gewerbe) nicht mehr ausreicht (Nutzungskonflikte verstärken ggf. die Spitzenabgabe).
Technologische Fortschritte bzw. Innovationen	Technologische Fortschritte und Innovationen im Bereich der Versorgungswirtschaft (z.B. Einsatz von Membranverfahren) begünstigen die Tendenz, verstärkt die örtlichen Wasservorkommen zu nutzen. Insbesondere die überregionalen Wasserversorgungsunternehmen sind hiervon verstärkt betroffen, da dadurch ihre mittlere Wasserabgabe (Grundlast) verringert wird.
Institutionelle und politische Vorgaben	EU-weite, nationale oder landes-/kommunalpolitische Vorgaben können maßgeblich die Wasserabgabe der Seewasserwerke beeinflussen, z.B. über die Preisgestaltung oder den gesetzlich festgeschriebenen Vorrang der ortsnahen Wassergewinnung vor einer überregionalen Wasserversorgung.
Preisentwicklungen	Steigende Kosten, u.a. durch erhöhte Energie-/Strombezugskosten verursacht, stellen i.d.R. einen Anreiz für verbraucherseitige Wassereinsparungen oder die Suche nach Alternativangeboten (z.B. Wiederinbetriebnahme örtlich verfügbarer Wasservorkommen unter Nutzung innovativen Aufbereitungstechniken) dar.

Obwohl die Vorhersagen über die in den nächsten Jahrzehnten zur Verfügung zu stellenden Trinkwassermengen nur unter Vorbehalt abgeleitet werden können, deuten alle derzeit vorliegenden Hinweise darauf hin, dass die Wasserversorgungsunternehmen am Bodensee zukünftig eher mit rückläufigen mittleren Tagesabgabemengen (Grundlast) und in verstärktem Maße mit nicht vorhersehbaren, temporär beschränkten, jedoch ausgeprägten Spitzenabgaben konfrontiert sind. Dadurch kön-

nen Jahresspitzenfaktoren (Quotient aus Spitzenabgabe dividiert durch mittlere Jahresabgabe) resultieren, die einen Wert von über 1,5 aufweisen.

Dies bedeutet, dass Versorgungssituationen wie sie beispielsweise im Sommer 2003 auftraten, zukünftig häufiger oder sogar regelmäßig vorkommen können. Insbesondere in Regionen, die durch ein entsprechendes Siedlungsaufkommen und ökonomisches Wachstum bei gleichzeitig hohen Verdunstungs- und geringen Niederschlagsraten gekennzeichnet sind (z.B. mittlerer Neckarraum), kann sich unter derartigen Wetterbedingungen sowohl bei den Privathaushalten als auch bei der Industrie und Landwirtschaft der Wasserbedarf über einen Zeitraum von bis zu mehreren Wochen deutlich erhöhen. Demzufolge bedarf es im Rahmen einer zukunftsorientierten Trinkwasserversorgung vor allem bei den überregionalen Wasserversorgungsunternehmen (z.B. Bodensee-Wasserversorgung) einer angemessenen Prüfung der anstehenden Strategieentscheidungen über Planungen und Maßnahmen zur Betriebsoptimierung bzw. zur Dimensionierung/Erneuerung von technischen Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und Verteilung/Speicherung. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse und gewählten Lösungsansätze sollten so flexibel sein, dass sie jederzeit auf weiter sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden können.

### **3.3 Wassergewinnung aus dem Bodensee**

Für die Wassergewinnung aus dem Bodensee ist vor allem zu beachten, dass sowohl Hochwasser- als auch Niedrigwasserstände bei den Seewasserwerken zu Betriebseinschränkungen oder gar zu Zerstörungen von technischen und baulichen Anlagenteilen führen können. In diesem Zusammenhang gilt es, beispielsweise alle Folgen für die Wasserversorgungsunternehmen zu berücksichtigen, die mit dem Hochwasserschutzkonzept „Rhein - Erholung und Sicherheit (RHESI)“ und der geplanten Erhöhung der Abflusskapazität des Alpenrheins von 3.400 m<sup>3</sup>/s auf 4.300 m<sup>3</sup>/s innerhalb der Flussstrecke von der Ill-Mündung bis Zufluss Bodensee verbunden sind. Neben der Vermeidung von Schäden und Freisetzung von anthropogen bedingten Schadstoffen, die bei einer Überflutung des unteren Rheintals mit seiner hohen Siedlungs- und Industriedichte resultieren würden, sind hier aber auch die möglichen Überschwemmungen der Infrastruktur der Wasserwerke sowie eine Beeinträchtigung des Bodenseewassers durch Treib-/Totholz und partikuläre Inhaltsstoffe zu nennen. Andererseits können -ebenso wie bei der Entnahme von Grundwasser aus Brunnenschächten- auch durch Niedrigwasserstände unerwünschte Folgeerscheinungen resultieren. Bei entsprechend hohen Reibungswiderständen in den Entnahmeleitungen ist es mit abnehmendem Wasservordruck nur bedingt möglich, die maximale Förderleistung der Brunnen- bzw. Rohwasserpumpen zu gewährleisten. Zudem erhöht sich bei langfristig sinkenden Wasserständen die Wahrscheinlichkeit, dass Pumpen gegenüber Kavitationserscheinungen anfälliger werden. Die jeweiligen Schwellenwerte, bei denen mit signifikanten Beeinträchtigungen zu rechnen ist, sind dabei von den jeweiligen wasserwerksspezifischen Gegebenheiten (u.a. geodätische Höhendifferenz zwischen den Rohwasserpumpen und des Bodenseewas-



ser- bzw. des Grundwasserspiegels, Länge/Durchmesser und Beschaffenheit der Innenwandflächen der Entnahmeleitung, Ablagerungen,...) abhängig.

### 3.4 Aufbereitung des Bodenseewassers

Ziel der Seewasserwerke wird es auch in Zukunft sein, für mehr als 5 Mio. Menschen Trinkwasser bereitzustellen, das so beschaffen ist, dass

- durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit ausgeschlossen,
- die Einhaltung entsprechender mikrobiologischer und physikalisch/chemischer Qualitätskriterien (u.a. aktuelle Fassung der TrinkwV vom 05.12.2012) sichergestellt und
- das Wasser unter Berücksichtigung seiner günstigen korrosionschemischen Eigenschaften für die üblichen häuslichen Verwendungszwecke und die Mischung mit Wässern anderer Beschaffenheit (z.B. Grundwasser, Uferfiltrat) geeignet

ist. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird es auch weiterhin einer effizienten Aufbereitung des Bodenseewassers bedürfen.

Welche Verfahrenskombinationen und Prozess-/Betriebsbedingungen in Zukunft anzuwenden sind, ist vorrangig von der Beschaffenheit des im Hypolimnion entnommenen Wassers abhängig. In diesem Zusammenhang könnten vor allem

- die bei Hochwasserereignissen resultierenden Einträge an partikulären und gelösten Wasserinhaltsstoffen,
- die zu erwartende Änderung der thermischen Schichtungs- bzw. Zirkulationsverhältnisse
- die Veränderung des Artenspektrums an tierischen und pflanzlichen Organismen sowie
- die zunehmenden zivilisatorischen Einflüsse

zu langfristigen Entwicklungen führen, die eine Anpassung und Optimierung der bewährten Aufbereitungsverfahren (Partikelabtrennung, Oxidation, Desinfektion) oder gar eine Ergänzung durch innovative Technologien (z.B. Adsorption, Membranfiltration) erforderlich machen.

### 3.5 Verteilung/Speicherung des Trinkwassers

Neben der Wassergewinnung und -aufbereitung stellt die Verteilung und Speicherung des Trinkwassers eine weitere Kernaufgabe der Trinkwasserversorgung dar. Um Trinkwasser über weite Wege sicher und in qualitativ einwandfreier Beschaffenheit verteilen zu können, ist daher bereits beim Aufbau und der Montage von Fern-, Haupt-, Versorgungs- oder Anschlussleitungen auf eine entsprechende Anlagenkonzeption und technisch durchdachte Detaillösungen zu achten, die den größtmöglichen Schutz gegenüber Beeinträchtigungen des Trinkwassers bieten. Da die Nutzungsdauer von Rohrleitungen neben den verwendeten Rohrmaterialien (z.B. Grau-

guss, Stahl, zementgebundene Werkstoffe, Polymerwerkstoffe,...) u.a. von der Boden- und Wassertemperatur sowie dem Durchsatzverhalten und den damit verbundenen mechanischen Belastungen (Druckschwankungen, Materialabtrag,...) abhängt, ist es aus thermodynamischen und reaktionskinetischen Gründen theoretisch möglich, dass durch die klimabedingten Temperaturerhöhungen und den Veränderungen der hydrologischen Größen die Erosions- und Korrosionswahrscheinlichkeit der Rohrleitungen beeinflusst wird. Bislang liegen jedoch noch keine Hinweise vor, die auf signifikant nachteilige Effekte im Zusammenhang mit den korrosionschemischen Wechselwirkungen im System „Wasser - Rohrmaterial - Boden“ hindeuten. Vielmehr ist im Falle von Extremereignissen damit zu rechnen, dass bei Rohren, deren Stabilität bereits durch Korrosionsprozesse verringert ist, es bei erhöhten Wasserabgaben (Stichwort: Spitzenabgabe) zu einem verstärkten Auftreten von Rohrbrüchen und vermehrten Schadens- und Wasserverlusten kommen kann. Während in Hitzeperioden der Boden unter Abnahme seines Volumens („Schrumpfung“) und Setzungen austrocknet, wird bei langanhaltenden Niederschlägen oder Starkregen der Boden dagegen derart vernässt, dass bei ungünstigen Untergrundverhältnissen die Wahrscheinlichkeit von Bodenverschiebungen oder Hangrutschungen zunimmt. Beides bedingt geänderte Kraftverteilungen und damit Veränderungen in den Betungs- und Lagerungsbedingungen. Höhere Biege-Zug-Spannungen im Rohrwerkstoff, Muffenaustriebe oder Undichtigkeiten an nicht-längskraftschlüssigen Verbindungen sind möglich. Die damit einhergehenden Schadensbilder (z.B. Quer- oder Schalenbrüche bei Grauguss) sind zwar nicht neu, sie können aber infolge der in Zukunft öfters zu erwartenden Druckschwankungen gehäuft auftreten. Ferner ist bei der Betrachtung von Verteilsystemen in Ortsnetzen festzustellen, dass bei lang anhaltenden Hitzeperioden aufgrund der Wärmeaufnahme und -speicherkapazität urbaner Verdichtungsräume vor allem in Versorgungsbereichen mit geringer oder gar stagnierender Wasserabgabe und einem hohen Versiegelungsgrad sogenannte Wärmeinseln entstehen können. Bereits heute werden unter ungünstigen Bedingungen in derartigen Leitungsabschnitten Trinkwassertemperaturen von über 20°C nachgewiesen. In Abhängigkeit von dem hygienischen Zustand der Rohrleitungen, der Beschaffenheit des Trinkwassers einschließlich des verfügbaren Desinfektionspotenzial sowie der Standzeit sind daher unter ungünstigen Bedingungen (z.B. Stagnation, Endstränge) zumindest lokal/regional und zeitlich begrenzte mikrobiologische Auffälligkeiten oder Biofilmbilösungen nicht auszuschließen.

### **3.6 Energie- und Stromversorgung**

Die Versorgungssicherheit aller Wasserversorgungsunternehmen wird nicht nur von den vorhandenen technischen Anlagenkomponenten und deren Betriebszuständen bestimmt; die Bereitstellung von Trinkwasser ist auch entscheidend von einer sicheren Energie-/Stromversorgung abhängig. Daher fühlt sich die Versorgungswirtschaft nicht erst seit den beobachteten Auswirkungen des Klimawandel einem sensiblen / schonenden Umgang mit Energie und endlicher Ressourcen im Sinne eines nachhaltigen, verantwortungsvollen Wirtschaftens verpflichtet.

Im Zusammenhang mit der politischen Entscheidung, die Klimaschutzziele bei gleichzeitigem Verzicht auf Atomstrom zu erreichen, gewinnt dabei die Energiebereitstellung aus regenerativen/erneuerbaren Energien (u.a. Wasserkraft, Windenergie, solare Strahlung, Erdwärme und nachwachsende Rohstoffe) zunehmend an Bedeutung. Der rasant steigende Anteil stellt jedoch die Betreiber von Stromnetzen vor neue Herausforderungen. Um auch in Zukunft eine bedarfsgerechte Bereitstellung und zeitliche Verfügbarkeit von Strom gewährleisten zu können, sind neben dem zügigen „intelligenten“ Ausbau von Stromnetzen vor allem die hohen Anforderungen an das Energiemanagement (z.B. Ausgleich von Lastschwankungen, Energiespeicherung, vermehrt dezentrale Stromeinspeisungen,...) zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass der Nutzungsdruck auf die im Einzugsgebiet des Bodensees vorhandenen Speicherkraftwerke weiterhin hoch sein wird. Daher ist auch in Zukunft mit einer entsprechenden Bewirtschaftung der Speicherbecken zu rechnen, die i.d.R. von Mai bis September durch eine Rückhaltung bzw. im November bis Februar durch eine verstärkte Abgabe von Wasser gekennzeichnet ist. Darüber hinaus ist neben den tagesrhythmischen Feststoffaufwirbelungen in den Fließgewässern („Schwall- und Sunk-Betrieb“) wegen der ggf. zusätzlichen Entsorgung der in den Speicherbecken abgelagerten Sedimenten in Zukunft mit zusätzlichen Einträgen an partikulären und gelösten Inhaltsstoffen in den Bodensee zu rechnen. Außerdem ist unter extremen Witterungsbedingungen (z.B. Sturm, Blitzeinschläge,...) eine Beeinträchtigung bis hin zum Totalausfall der Stromversorgung nicht auszuschließen. In Niedrigwasserperioden kann es zudem zu Einschränkungen und Leistungsminderungen bei thermischen Kraftwerken an Flüssen kommen, die auf die in den Wärmelastplänen festgeschriebenen Anforderungen der Kühlwasserentnahme zurückzuführen sind.

### **3.7 Einflüsse der Klimaänderung auf das menschliche Wohlbefinden und Gesundheit**

Im Rahmen von sozio-ökologischen Überlegungen wird deutlich, dass die langfristige Änderung der Witterungsbedingungen auch Effekte auf die menschliche Gesundheit ausübt. So können beispielsweise Mitarbeiter als Folge von Unwettern direkt betroffen sein (Unfälle, Einsatz als Hilfskräfte,...). Länger anhaltende Wärmebelastungen über einige Tage, die durch extreme Hitze, hohe relative Luftfeuchtigkeit und geringen Windgeschwindigkeiten charakterisiert sind, können zu Flüssigkeitsmangel, Hitzschlag, Herzinfarkt, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Nierenversagen und Stoffwechselstörungen führen. Im Extremsommer 2003 starben allein in Deutschland mehrere tausend Menschen an derartigen Symptomen. Ein weiterer Anstieg allergischer Erkrankungen und Atemwegsproblemen aufgrund hoher Ozonkonzentrationen in bodennahen Schichten sowie einer veränderten Pollenzusammensetzung/-verteilung und biogener Aeroallergene (z.B. Emissionen von thermophilen Schadinsekten) ist wahrscheinlich. Nicht zuletzt ist bei sensiblen Menschen das Wohlbefinden bei Umgebungstemperaturen von über 26 °C beeinträchtigt (Kreislaufbeschwerden, Schwindel, erhöhter Puls, Kopfschmerzen,...). Trifft dies auch auf Mitarbeiter/innen der Wasserversorgungsunternehmen zu, ist deren Konzentrationsfähigkeit

eingeschränkt und es können vermehrt Fehler auftreten. Setzen sich zudem die bereits beobachteten Tendenzen einer verstärkten Ausbreitung von endemischen Krankheitserregern (z.B. Borrelien, FSME-Virus) bzw. die Ansiedlung bislang „nicht heimischer“ humanpathogener Schädlinge fort, ist im worst-case-Fall einer Epidemie oder gar Pandemie ein Ausfall der nahezu gesamten Mitarbeiterbelegschaft vorstellbar. Es gibt bereits heute Anzeichen dafür, dass aufgrund der klimabedingten Änderung von ökologischen Faktoren, dem natürlichen Vogelflug sowie dem zunehmenden globalen Personen-, Tier- und Güterverkehr auch in Deutschland Ausbrüche von Infektionskrankheiten möglich sein könnten, deren Verbreitung bislang auf tropische und subtropische Regionen beschränkt war (Beispiel: „Vogelgrippe“ - Influenzaviren A/H5N1 oder asiatische Tigermücke, ...). Treten zudem Resistenzbildungen gegenüber Antibiotika auf, ist auch mit einer eingeschränkten Therapiebarkeit zu rechnen. Neben der Übertragung von Krankheitserregern durch landgebundene Vektoren (z.B. Mücken, Zecken, Nager,...) ist auch eine orale Aufnahme von pathogenen Mikroorganismen über den Wasserpfad denkbar.

### 3.8 Ökonomie

Schlussendlich werden die klimabedingten Änderungen ökonomische Folgen für die Wasserversorgungsunternehmen nach sich ziehen. Rück- und Risikoversicherer wie z.B. Munich-Re AG rechnen weltweit wegen zunehmender wetterbedingter Umweltkatastrophen mit finanziellen Aufwendungen von jährlich dreistelligen Milliardenbeträgen. Wie die geplanten Ausbaumaßnahmen des Alpenrheins auf der internationalen Rheinstrecke zeigen, gehen auch die schweizerischen und österreichischen Experten davon aus, dass im Falle eines entsprechenden Hochwasserereignisses ohne weitergehende Vorsorgemaßnahmen ein Gesamtschadenspotenzial im betroffenen Gebiet des unteren Alpenrheintals in Höhe von mehreren Milliarden Euro resultieren würde.

Nicht nur die Seewasserwerke stehen daher zunehmend vor der Aufgabe, die Folgen extremer Wetterereignisse sowie die Auswirkungen der Klimaänderungen in ihren zukünftigen Entscheidungen zu berücksichtigen. Wegen ihrer längeren Umsetzungs- und Finanzierungsphase bedürfen dabei vor allem die investiven Maßnahmen einer frühzeitigen und sorgfältigen Planung. Ferner sind praktikable Ansätze erforderlich, mit denen offene Fragenstellungen zur Priorisierung und Finanzierung der jeweiligen Anpassungsmaßnahmen ebenso wie Fragestellungen zur Preisgestaltung beantwortet werden können. Bislang liegen jedoch diesbezüglich nur bedingt auswertbare Daten vor.

Um zumindest eine erste orientierende Einschätzung vornehmen zu können, wird daher angenommen, dass der bisherige spezifische Investitionsbedarf der deutschen Wasserversorgungsunternehmen<sup>8</sup> von ca. 0,4 bis 0,5 Euro/m<sup>3</sup> auf die zukünftigen

---

<sup>8</sup> Gesamtinvestitionen 2010: 2,0 bis 2,5 Mrd. Euro; Trinkwasserabgabe 2010: 5,2 Mrd. m<sup>3</sup>, Kostenanteil: Gewinnung/Aufbereitung ca. 10-20%, Kostenanteil: Verteilung/Speicherung: ca. 60-70%

Verhältnisse übertragbar und in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts mit klimabedingten Mehrkosten zwischen 1% und 10% zu rechnen ist. Unter diesen Hypothesen lassen sich aus heutigen Gesichtspunkten die finanziellen Zusatzbelastungen in einer Größenordnung im unteren einstelligen Cent pro Kubikmeter-Bereich ableiten, die durch die Auswirkungen und Folgen der zu erwartenden Witterungsverhältnisse verursacht werden können. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten/Unwägbarkeiten können in Einzelfällen, insbesondere wenn

- hohe Elementarschäden an relevanten Anlagenteilen (Rohwasserpumpen, Hauptleitungen,...) zu beklagen sind,
- weitergehende Aufbereitungsstufen oder
- aufwendige Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich werden

die tatsächlich entstehenden Kosten von den o.g. Werten erheblich abweichen. Da zudem die Betriebs- und Investitionskosten maßgeblich durch die weitgehend klimunabhängigen Wandelprozesse (z.B. verbraucherspezifisches Verhalten, Demographie, industrielle und wirtschaftliche Entwicklungen, technologische Fortschritte/Innovationen sowie institutionelle und politische Vorgaben) beeinflusst werden, sind die o.g. Aussagen zu den klimabedingten Anpassungskosten daher stets kritisch zu überprüfen. Dabei sollte aber nicht die Frage „Wie viel müssen wir zukünftig für unser Trinkwasser bezahlen?“ im Vordergrund stehen, sondern vielmehr die Einsicht entscheidend sein, wie viel uns allen hygienisch einwandfreies Trinkwasser in Zukunft wert ist, das jederzeit in ausreichender Menge und Druck bis an den Zapfhahn des Verbrauchers geliefert wird.

#### **4. Überlegungen zur Exposition, Sensitivität, Vulnerabilität und zum Risikomanagement<sup>9</sup>**

Bei den Wechselwirkungen, die das aktuelle und zukünftige Wettergeschehen prägen, handelt es sich in physikalisch/chemischer Hinsicht um äußerst komplexe und heterogene Prozesse. Im Rahmen des Klimawandels wird zudem erwartet, dass die Variabilität und die Vielfalt der zukünftig zu erwartenden Witterungsbedingungen weiter zunehmen. Trotz der stetigen Fortschritte im Bereich der Computermodellierung und der Erweiterung der Wissensbasis sind die heutigen Möglichkeiten der Klimaprojektion jedoch noch weit davon entfernt, die zukünftigen Klimaentwicklungen und Klimamuster in ihrer Gesamtheit wirklichkeitsgetreu zu erfassen. Für viele anwendungsbezogene Fragestellungen liegen bislang lediglich Einschätzungen oder Wahrscheinlichkeitsaussagen vor, die z.T. durch große Unsicherheiten und geringe Detaillierungsgrade gekennzeichnet sind. Die Unwägbarkeiten basieren dabei vorwiegend auf

---

<sup>9</sup> [BMVBS (2011), Brauch (2004), BWV (2013), DIN/ISO/EN 31000 (2011), gfs (1993), Haakh (2009a), Haakh (2009b), Haakh (2009c), IPCC (2001), IPCC (2007), KlimaMoro (2011), KlimaMoro (2013a), KlimaMoro (2013b), Mohammadzadeh (2013), Mayer (2007), UBA (2005a), UBA (2005b), UBA (2005c), UBA (2012c), UBA (2013), Umweltamt Wien (2010), Vester (2012), Wang (2012), Weis (2011), www.clip.eu (2013), www.klimalotse.anpassung.net (2013), www.klima-scout.de (2013)]

- Wissenslücken oder einer fehlenden/unsicheren Informationsbasis,
- den Grenzen der Vorhersagbarkeit von in der Zukunft stattfindenden Ereignissen, u.a. hervorgerufen durch unvorhersehbare Naturkatastrophen oder durch den zu betrachtenden langen Zeithorizont des Klimawandels (i.d.R. bis Ende des 21. Jahrhunderts) sowie auf
- der beschränkten Nachbildungs-/Simulationsmöglichkeit der klimarelevanten Prozessabläufe durch computerunterstützte Klimamodelle.

Um trotz oder gerade wegen der aufgezeigten Grenzen zumindest aus heutiger Sicht plausible Aussagen über mögliche Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen ableiten zu können, gilt es, im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise die kritischen Parameter im System „Klimawandel und Trinkwasserversorgung aus dem Bodensee“ zu identifizieren, charakterisieren, konkretisieren und zu priorisieren. Hier bietet sich u.a. der Einsatz von systematisch-strukturierenden Methoden an, mit denen zumindest halbquantitativ aufgezeigt werden kann, wie sich Änderungen der Eingangsgrößen (Input) eines Systems auf die Ausgangsgrößen (Output) auswirken. Mit Hilfe einer solchen Systemanalyse, die auf dem Ansatz des „vernetzten Denkens“ von Vester basiert, lassen sich unter Einbindung von Literaturangaben und Fachexperten grundlegende „Ursache-Wirkungs-Beziehungen“ transparent und nachvollziehbar darstellen sowie Kriterien ableiten, mit denen das System „Klimawandel - Trinkwasserversorgung“ zumindest ansatzweise im Sinne einer Gesamtbeurteilung durch „Muster mit Unschärfen“ charakterisiert werden kann. U.a. ist es möglich, Aussagen darüber zu machen, welche Klimaauswirkungen besonders auf die Komponenten der Wasserversorgung einwirken oder umgekehrt welche Komponenten der Wasserversorgung besonders „empfindlich“ auf die sich ändernden Rahmenbedingungen reagieren und wie verletzlich diese sind. Gleichzeitig wird deutlich, dass die teilweise gegensätzlichen Entwicklungen der klimabedingten Änderungen und der zu erwartenden zivilisatorischen Einflüssen einen nicht einfachen Abwägungsprozess erforderlich machen. Die aus der kritischen Überprüfung aller relevanten Größen gewonnenen Erkenntnisse besitzen somit nicht nur eine wissenschaftliche Basis, sie bilden mit ihrer Transparenz und Nachvollziehbarkeit vielmehr die Grundlagen für die praxisbezogenen Belange einer zukunftsorientierten Trinkwasserversorgung.

Wie die Ergebnisse der durchgeführten Systemanalyse zeigen, sind deutliche Einflüsse der klimabedingten Veränderungen auf die einzelnen Bereiche der Trinkwasserversorgung zu erkennen, es liegen jedoch bislang keine Hinweise vor, die darauf hindeuten, dass durch die zu erwartenden Auswirkungen und Folgen des Klimawandels ein akuter und dringender Handlungsbedarf erforderlich wäre. Keine der „Schlüsselkomponenten“ innerhalb der Wertschöpfungskette „Trinkwasserversorgung“ ist im Sinne der Vulnerabilität bzw. des Risikos als „kritisch“ einzustufen. Es ist davon auszugehen, dass neben der Wasserbeschaffenheit und den technischen Komponenten (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung, Speicherung, Energieversorgung) auch sozio-ökonomische Belange auf anthropogene Wandelprozesse und klimabedingte Veränderungen teilweise empfindlich reagieren. In Einzelfällen sind sogar Schäden in beträchtlichem Ausmaß nicht auszuschließen. Beispielsweise können Extremniederschläge, die mit außergewöhnlichen Hochwässern und Über-

schwemmungen einhergehen, zu nicht vorhersehbaren Beeinträchtigungen sowohl der Wasserbeschaffenheit als auch der technischen Anlagen führen. Neben Versorgungsengpässen oder -ausfällen sind zur Wiederherstellung der Funktions- und Lieferfähigkeit u.U. betriebliche und/oder investive Mehrkosten in nicht unerheblichem Maße notwendig. Die Verantwortlichen der Wasserversorgungsunternehmen sind daher angehalten, sich den hieraus resultierenden Anforderungen zu stellen und präventive Maßnahmen bei den zukünftigen Entscheidungsprozessen und Strategieausrichtungen mit einzubeziehen.

## 5. Handlungsoptionen, Anpassungsmaßnahmen<sup>10</sup>

Seit der internationalen Anerkennung des globalen Klimawandels als „grundlegende Herausforderung der Menschheit“ im Jahre 1990, steht die Erarbeitung von Maßnahmen zur Verringerung der deutlich sichtbaren Auswirkungen und Folgen innerhalb der Staatengemeinschaften zunehmend im Fokus. Als Teil der auf Vorsorge und Nachhaltigkeit ausgerichteten Umweltschutzprogramme stützt sich die Klimapolitik dabei i.d.R. auf die zwei integrativ zu betrachtenden Eckpunkte der Prävention/Mitigation und Anpassung/Adaption. Um den damit verbundenen Anforderungen gerecht zu werden, haben beispielsweise die auch Anrainerstaaten des Bodensees umfassende Energie- und Klimaschutzinitiativen entwickelt, mit denen im jeweiligen nationalen Maßstab u.a. versucht wird, eine zuverlässige, umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung aufzubauen. Große Bedeutung spielen hierbei die Klimaschutzmaßnahmen zur Energieeinsparung (z.B. Industrie, Landwirtschaft, private Haushalte, Gebäudesanierung, Verkehr, ...) und zur Steigerung der Energieeffizienz (Einsatz und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien wie Wasserkraft, Solarnergie, Windkraft, thermische Nutzung von Bodenseewasser,...). Da die Klimaveränderung selbst unter größten Anstrengungen nicht mehr zu stoppen ist, sondern nur noch abgeschwächt werden kann, werden als zweite Säule der Klimapolitik auch Initiativen und Maßnahmen zur Anpassung an die damit verbundenen Auswirkungen und Folgen als zielführend angesehen. Derartige Anpassungsstrategien stellen einen übergeordneten Handlungsrahmen dar, die sich an den Prinzipien der wissenschaftlichen Erkenntnisse, der zeitlichen und räumlichen Flexibilität, der Vorsorge und

<sup>10</sup> [akademie-engelberg (2008), AWEL/IBK (2007), BAFU (2008), BAFU (2010b), BAFU (2012a), BAFU (2012b), BAFU (2012d), BDEW (2008a), BDEW (2010), BMBF (2011), BMU (2005), BMU (2009a), BMU (2009b), BMU (2010a), BMU (2010b), BMU (2012b), BMU (2012c), Bundesregierung (2008a), Bundesregierung (2008b), Bundesregierung (2011), Castell-Exner (2010), Ch2011 (2011a), Clisp.eu (2013), Donner (2011), DVGW (2007a), DVGW (2007b), DVGW (2009a), DVGW (2009b), DVGW (2010), DVGW (2011), EU (2009), EUWID (2012b), EUWID (2013), EWP (2009), Fichtner (2010), Funk (2010), Gander (2005), Göttle (2007), Grüner (2007), Gujer (2011), Günther (2012), Haeberli (2010), Hofmann (2009), Hofmann (2012), Hunkeler (2010), IBA (2011), IBK (2005), IBK (2008), IBK (2011), IRR (2011a), IRR (2011b), IRR (2012a), IRR (2012b), IWW (2007), Jannin (2010), Kempfert (2007), KHR (2006), Kromp-Kolb (2009), Kronberger (2011), Kropp (2009), Landtag Baden-Württemberg (2010), Lebensministerium (2011a), Lebensministerium (2011b), Lucas (2011), Mayer (2007), Merkel (2012), Müller (2006), Naef (2010), NFP 61 (2010), North (2007), OcCC (2007), OcCC (2008), Petry (2009), Pinnekamp (2007), Ruegg (2008), Ruegg (2012), Rueß (2011), Scholz (2007), Schöner (2011), Seneviratne (2010), Städler (2008b), Stoll-Kleemann (2008), Tichler (2007), TrinkwV (2001), Truffer (2006), UBA (2008a), UBA (2008b), UBA (2010a), UBA (2010b), UBA (2010c), UBA (2011a), UBA (2011b), UBA (2011c), UBA (2011f), UBA (2012b), UBA (2012f), UBA (2012g), UBA (2013), UBA Österreich (2010a), UBA Österreich (2010b), UMBW (2003), UMBW (2004), UMBW (2005), UMBW (2007), UMBW (2010a), UMBW (2012a), UMBW (2012b), von Gunten (2010), Weber (2011), Weiß (2009), www.anpassung.net (2013), www.DIN.de (2013), www.dvgw.de (2013), www.oevgw.at (2013), www.svgw.ch (2013), www.svgw.ch (2013)]

Nachhaltigkeit, der Subsidiarität und Verhältnismäßigkeit, des integralen Ansatzes sowie der Offenheit, Kooperation und Partnerschaft orientieren.

Wie bereits ausgeführt, sind jedoch die bislang verfügbaren Informationen und Modellrechnungen zu den einzelnen Auswirkungen/Folgen auf Umwelt- und Gesellschaftssysteme mit z.T. großen Unsicherheiten behaftet. Die Anpassungsstrategien sind daher i.d.R. als dynamische Prozesse anzulegen, die auf aktuelle Veränderungen und damit neue Anforderungen jederzeit flexibel angepasst werden können. Es erweist sich hierbei als vorteilhaft, am Vorsorgegrundsatz orientierte pragmatische Lösungsansätze zu verfolgen, die darauf ausgerichtet sind, u.a. so genannte „no/low-regret-Maßnahmen“ zu erarbeiten und umzusetzen, die unter Berücksichtigung ökonomischer, demographischer, technologischer und politischer Rahmenbedingungen auch dann einen „Mehrwert“ aufweisen, wenn die prognostizierten Entwicklungen des zukünftigen Klimas nicht oder nur in geringerer Ausprägung mit den tatsächlichen übereinstimmen. Ferner können solche praktikablen Handlungsoptionen auch dazu beitragen, die durch zivilisatorische Einflüsse bedingte Vulnerabilität der betroffenen Komponenten in aquatischen Ökosystemen zu verringern.

Um über die bisherigen Anstrengungen am Bodensee hinaus die betroffenen Entscheidungsträger der Wasserwirtschaft und aller Wasserversorgungsunternehmen zu ermutigen, sich aktiv in die derzeit laufenden Diskussionen einzubringen, werden nachfolgend im Sinne von Orientierungshilfen Möglichkeiten aufgezeigt, die es erlauben sollen, Chancen und Systemresilienzen frühzeitig zu erkennen, den Vulnerabilitäten der betroffenen Komponenten in aquatischen Ökosystemen entgegenzuwirken sowie den daraus resultierenden Klimarisiken und Folgeschäden durch verantwortungsvolle Planungen vorzubeugen.

### ***Vorsorgender Gewässerschutz***

- Der vorsorgende Gewässerschutz und der nachhaltige Umgang mit der Ressource „Wasser“ ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, zu der die Wasserwerke im Rahmen ihrer Verbands- und Gremienarbeit seit langem ihren Beitrag leisten. Es wird vorgeschlagen, unter Federführung des Fachbereiches „See“ der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) sowie des wissenschaftlichen Beirates der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) einen ständigen Projektkreis „Klima“ einzurichten.
- Die im System „Klimawandel und Trinkwasserversorgung“ resultierenden Wechselwirkungen sind äußerst komplex. Um beispielsweise frühzeitig auf mögliche Änderungen des biologischen und mikrobiologischen Artenspektrums, unerwünschte Stoffeinträge oder zunehmenden Schädlingsdruck agieren zu können, sind daher die zukünftigen Entwicklungen in den aquatischen Ökosystemen verstärkt zu beobachten, zu analysieren und zu beurteilen. Grundlage hierfür bilden zielgerichtete Monitoring-Programme, in denen der biologische, mikrobiologische und physikalisch/chemische Parameterumfang, die Untersuchungshäufigkeit sowie die Probenahmestellen den zukünftigen Anforderungen stets anzupassen sind. Hierbei bietet es sich beispielsweise an, dass das „Internationale Kooperationsnetzwerk Bodensee, IKNB“ die Koordination für die Zusammenarbeit der am Boden-



see tätigen Kommissionen, nationalen Umweltbehörden, Verbänden und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen übernimmt.

- Im Zuge des Klimawandels wird sich u.a. der Anstieg der Wassertemperaturen im Bodensee verstärkt mit der Folge stabilerer Schichtungsverhältnisse, unzureichendem Tiefenwasseraustausch und abnehmender Sauerstoffkonzentration am Seegrund fortsetzen. Vor dem Hintergrund der bereits zu beobachtenden und den zu erwartenden Auswirkungen dürfen daher die erreichten Erfolge im Gewässerschutz nicht durch Initiativen gefährdet werden, die beispielsweise auf eine Erhöhung der Phosphatkonzentrationen im Bodensee drängen.
- Aufgrund der zu erwartenden Zunahme der thermischen Nutzung des Bodenseewassers zu Kühl- und Heizzwecken (Stichwort: Energieeinsparung, Steigerung Energieeffizienz, Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen) sind zwischen den Anrainerstaaten einheitliche Standards und Regelungen zum Wärmelastmanagement sowie der zulässigen Veränderungen im Einleitungsbereich sowie im Gesamtsystem aufzustellen und abzustimmen.

### ***Qualitätssicherung - Überwachung der Wasserbeschaffenheit***

- In der Praxis der Trinkwasserversorgung hat die Qualitätssicherung seit jeher einen hohen Stellenwert eingenommen. Dabei stand bzw. steht aus gesetzlicher Sicht die Überwachung des abgegebenen Trinkwassers im Vordergrund. Für Deutschland sind beispielsweise die aktuellen Anforderungen an die Beschaffenheit von Trinkwasser in der TrinkwV 2001, in der Fassung vom 05.12.2012 festgelegt. Um auch zukünftig unter den zu erwartenden Klimaentwicklungen und den zunehmenden wirtschaftlichen Zwängen eine einwandfreie hygienische Wasserbeschaffenheit gewährleisten zu können, wird jedoch eine darüber hinausgehende systematische Betrachtungsweise -ausgehend vom Rohwasser über die Gewinnung und Aufbereitung bis hin zur Verteilung/Speicherung- als zielführend erachtet. Daher wird empfohlen, die Qualitätssicherung nicht nur auf produktbezogene sondern -wie in der schweizerischen Lebensmittelgesetzgebung vorgeschrieben und von vielen Wasserversorgern bereits praktiziert- verstärkt auf risikobasierte und prozessorientierte Kontrollen im Sinne des HACCP<sup>11</sup>-Konzeptes auszurichten. In enger und vertrauensvoller Zusammenarbeit mit der zuständigen Behörde können hiermit auch vor dem Hintergrund des Klimawandels Schwachstellen und kritische Punkte in allen Bereichen der Wasserversorgung frühzeitig identifiziert, im Sinne einer Gefährdungsanalyse bewertet und -falls erforderlich- geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

### ***Zukünftiger Wasserbedarf***

- Im Zusammenhang mit der Abschätzung des Bedarfs an Trinkwasser für „morgen“ sind entsprechende Prognosen und Trendanalysen zu erstellen, die neben den zukünftigen meteorologischen Entwicklungen auch die o.g. Wandelprozesse berücksichtigen. Demzufolge sind bereits vorhandene Vorhersagemodelle weiterzuentwickeln bzw. die GIS -basierten Rohrnetzberechnungen an die zukünftigen Anforderungen einer bedarfsgerechten Auslastung des Speichervolumens anzupassen.

---

<sup>11</sup> HACCP = Hazard Analysis and Critical Control Point

- Insbesondere bei überregionalen Wasserversorgungsunternehmen sind in Zukunft erhöhte Spitzenabgaben bei gleichzeitig verringerter Grundlast zu erwarten. Individuelle Entscheidungen zur Anpassung der Versorgungsstrukturen (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung/Speicherung) an einen ggf. sich zeitlich und räumlich ändernden Trinkwasserbedarf sind sorgsam abzuwägen. Zum Beispiel steht einem aus hygienischen Gründen ggf. gebotenen Rückbau (z.B. geringer Rohrquerschnitt,...) ein klimabedingtes ausreichend dimensioniertes Leitungssystem sowie die Vorhaltung ausreichender Speicherkapazitäten (Hochbehälter) entgegen.

### ***Versorgungssicherheit - Technische Belange der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung/-speicherung***

- Im Hinblick auf die erwartete Zunahme von Extremsituationen wird zur Vermeidung bzw. Minimierung von Schäden an den Gewinnungsanlagen und Brunnen-/Quellfassungen vorgeschlagen, bestehende Hochwasservorhersage- sowie bodensee- bzw. flussspezifische Strömungs- und Grundwassermodelle (z.B. BodenseeOnline,...) unter Berücksichtigung wasserwerksrelevanter Parameter weiterzuentwickeln sowie die Warn- und Alarmdienste dahingehend anzupassen, indem die Wasserversorgungsunternehmen direkt mit in die Meldekette eingebunden werden.
- Die geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen im Alpenrheintal erfordern entsprechende Vorsorgestrategien bei den Seewasserwerken. Neben den baulichen Maßnahmen (z.B. Errichtung von Schutzwällen gegen Überflutungen, hochwasserdichter Ausbau von gefährdeten Hochbauten, technischen Anlagen und Anfahrtswegen, ...) ist auch die Optimierung betrieblicher und managementbasierter Prozessabläufe (z.B. einzugsgebietsbezogenes Hochwassermanagement, länderübergreifende Hochwasservorhersage, frühzeitige Information und Kontaktaufnahme zu Behörden, Erarbeitung interner Anweisungen zum Verhalten bei Hochwasser, Abstimmung mit externen Hilfskräften zur Schadensbegrenzung,.....) notwendig.
- Hinsichtlich der Wassergewinnung sind geeignete Strategien und technische Lösungsansätze zu erarbeiten, um auch bei ungünstigen Verhältnissen (z.B. temporäre Niedrigwasserstände, langfristig sinkender Wasservordruck, Absenkung des Grundwasserspiegels im Trinkwasserversorgungsgebiet, ...) eine sichere und zuverlässige Wasserentnahme gewährleisten zu können. Um einer möglichen Begrenzung der Förderleistung bzw. möglichen Kavitationserscheinungen entgegen wirken zu können, ist z.B. eine Verringerung des Abstandes zwischen der Pumpe und dem Wasserspiegel, eine Anpassung der Entnahmelösungen bzw. Pumpenschaufelräder oder zusätzliche Maßnahmen zur Drucksteigerung denkbar.
- Eine weitere mögliche Beeinträchtigung der Wasserentnahme kann u.U. auch dadurch erfolgen, dass jederzeit und unabhängig vom Klimawandel bislang nicht heimische Organismen (Neozoen oder Neophyten) in den Bodensee eingeschleppt werden können, deren Verhalten im Ökosystem Bodensee noch unbekannt ist (Stichwort: „Quagga-Muschel“). In entsprechenden Forschungsprojekten sind daher ohne Zeitverzug weitergehende Erkenntnisse zu erarbeiten und regulatorisch bzw. technisch umsetzbare Präventionsmaßnahmen aufzuzeigen.

- Bei den Seewasserwerken werden seit langem effiziente, gut aufeinander abgestimmte Aufbereitungsstufen zur Sicherung einer hygienisch einwandfreien Beschaffenheit des abgegebenen Trinkwassers eingesetzt. Im Rahmen dieses „Multi-Barrieren-Systems“ kommen neben den Desinfektionsmaßnahmen vor allem den Verfahren zur Partikelabtrennung eine besondere Bedeutung zu. Da klimabedingt eine Änderung der Beschaffenheit des Bodenseewassers (u.a. mikrobiologische Auffälligkeiten, erhöhte Feststoffanteile, anthropogene Spurenstoffe,...) nicht vollständig auszuschließen ist, kann als mögliche Gegenmaßnahme ggf. eine Optimierung der bewährten Aufbereitungsstufen (z.B. Anpassung der Betriebsbedingungen zur Filtration und Filterspülung, der Zugabemenge von Flockungs- oder Desinfektionsmittel, ...) bzw. die Ergänzung durch innovative Technologien (Membranfiltration, Aktivkohle, advanced oxidation processes,..) in Erwägung gezogen werden.
- Zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sind alle relevanten technischen Anlagen zur Gewinnung und Aufbereitung möglichst redundant auszulegen. Das Verteilsystem ist auf eine entsprechende Vernetzung der Transportleitungen sowie auf Verbundmöglichkeiten für Notfälle auszurichten. Zusätzliche Sicherheit bieten Lösungen mit mehreren Bezugsquellen (Stichwort: „zweites Standbein“).
- Zur Vermeidung bzw. Minimierung von Betriebsstörungen und Infrastrukturschäden sind langfristig die begonnenen Instandhaltungs-, Sanierungs- und Wartungskonzepte für alle technischen Anlagen sowie die Ersatz- und Ertüchtigungsmaßnahmen für alle Hochbauten fortzuführen. Dies betrifft alle Bereiche der Wasserversorgung, beginnend bei
  - der Gewinnung (z.B. regelmäßige Reinigung der Entnahmeverrichtungen, regelmäßige Pumpenrevisionen,...),
  - über die Aufbereitung (z.B. Überprüfung der Verfahrenstechnologien, Ausbau bzw. Austausch der Kühlung besonders schützenswerter Pumpen, Maschinen, Aggregate, Schaltschränke ...) bis hin zu
  - der Verteilung (z.B. Austausch defekter/korrodiertes Leitungen, Minimierung von Wasserverlusten, Vermeidung von Kondenswasserbildung in Hochbehältern, Aufstellen von Luftentfeuchtern, systematisch durchgeführte Rohrnetzinspektionen und -spülungen, Ausrichtung des Verteilsystems hinsichtlich Notfallvorsorge, Schaffung von Verbundmöglichkeiten, Einbau von strategisch relevanten Pumpwerken und Verschlussorganen, Vorhaltung ausreichender Desinfektionskapazitäten und Schaffung von Möglichkeiten zur Nachdesinfektion,...).

### **Energie- und Stromversorgung**

- Wegen den ggf. zu erwartenden Engpässen bei der Energieversorgung ist neben redundanten Lösungsansätzen (z.B. netzunabhängige Mehrfacheinspeisungen) im Zusammenhang mit dem Strombezug auch ein ausgewogener Ausbau stationärer bzw. eine entsprechende Vorhaltung mobiler Notstromaggregate anzuraten.
- Im Rahmen der Klimaschutzmaßnahmen sind die zukünftigen Belange der Wasserversorgung zunehmend an der Senkung des Energieverbrauchs, der Steigerung der Energieeffizienz und der Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auszurichten (Energiemanagement, Energiebereitstellung aus regenerativen/erneuerbaren Energiequellen wie Wasserkraft, Windenergie, solare Strahlung,...).

### ***Monitoring und Forschung***

- Um den zukünftigen Anforderungen des Klimawandel gerecht zu werden, reichen betrieblich-technische Maßnahmen alleine nicht aus, vielmehr bedarf es auch praxisorientierter Monitoring-, Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die in Kooperation mit den zuständigen Behörden und wissenschaftlichen Institutionen durchzuführen sind. Es gilt, das in den Wasserwerken vorhandene Know-how verstärkt einzubringen sowie bei der Erarbeitung von Vorsorgemaßnahmen aktiv mitzuwirken.

### ***Katastrophen- und Notfallmanagement***

- Trinkwasserversorgungssysteme sind Infrastruktureinrichtungen mit existenzieller Bedeutung. Im „betrieblichen Alltag“ sind hinsichtlich der Trinkwasserversorgung keine Einschränkungen zu erwarten. Das gleichzeitige Auftreten mehrerer Störungen oder die Verkettung ungünstiger Umstände können jedoch zu unvorhersehbaren Ausnahmesituationen führen, in der die vorhandenen betriebsgewöhnlichen Mittel und/oder Organisationsstrukturen zu deren Beherrschung nicht mehr ausreichen. Als Beispiele sind hier neben Personalausfall (Epi-/Pandemie) und dem Versagen von Anlagenteilen, intentionalen Gefahren sowie Großschadensereignissen vor allem auch Naturkatastrophen zu nennen. Solche außergewöhnlichen Vorkommnisse sind dadurch gekennzeichnet, dass sie zwar verhältnismäßig selten eintreten, jedoch vielfach mit einem hohen Schadenspotenzial verbunden sind.
- Insbesondere im Zusammenhang mit den sich ändernden Rahmenbedingungen des Klimawandels und den zukünftig verstärkt zu erwartenden extremen Wetterereignissen wird empfohlen, „in Friedenszeiten“ die vorhandenen Vorsorgepläne und Organisationsmaßnahmen zu aktualisieren und ein entsprechendes Katastrophen- und Notfallmanagement, das an die hierarchische Organisationsstruktur der zuständigen Behörden für den Katastrophenschutz und der Einsatzkräfte zur Schadensabwehr (z.B. Polizei, Feuerwehr, Rettungskräfte, ...) angelehnt ist, aufzubauen. U.a. sind frühzeitig entsprechende Kontakte mit den zuständigen Behörden, wissenschaftlichen Institutionen sowie mit Kollegen von befreundeten Wasserversorgungsunternehmen sicherzustellen, da für eine erfolgreiche Bewältigung einer Krise eine gute Vernetzung und vertrauensvolle Zusammenarbeit ausschlaggebend ist.
- Mit dem Aufbau eines Krisenmanagements lassen sich zwar Unfälle, Sabotageakte oder Naturkatastrophen nicht verhindern. Doch als Instrument der temporären Unternehmenssteuerung dient es dazu, die Handlungsfähigkeit des Wasserversorgungsunternehmens auch bei außergewöhnlichen Vorkommnissen durch fundierte, sachgerechte und transparente Entscheidungen soweit wie möglich aufrecht zu erhalten.

### ***Präventive Kommunikationsstrategie, Zusammenarbeit mit Dritten***

- Die Anpassung der natürlichen und gesellschaftlichen Systeme an den Klimawandel ist durch eine Vielzahl an Herausforderungen gekennzeichnet, die oftmals nicht einfach zu lösen sind. Daher ist im Rahmen einer erfolgsversprechenden Vorgehensweise eine frühzeitige und gezielte Bewusstseinsbildung in Form eines breit angelegten Kommunikations- und Dialogprozesses, ein kooperatives Miteinander sowie eine enge Zusammenarbeit zwi-

schen politischen Entscheidungsträgern, Wissenschaft, Praxis und Öffentlichkeit unerlässlich. Dabei sind unter Nutzung der vorhandenen wasserwerksinternen und externen Informationsmöglichkeiten sowie der Einbeziehung aller heute zur Verfügung stehenden Medien (z.B. Intranet, Internet, Soziale Netzwerke, Diskussionsforen, Workshops, Kolloquien, Veröffentlichungen, Fernsehen, Rundfunk, ...) Strukturen zu schaffen, die auf den Grundgedanken einer „präventiven Kommunikationsstrategie“ und eines interaktiven Austausches von Wissen aufbauen.

### **Sozio-ökonomische Aspekte**

- Um die zukünftigen Aufgaben der Wasserversorgungsunternehmen, insbesondere in Hochverbrauchszeiten bzw. im Not- und Katastrophenfall erfüllen zu können, bedarf es weiterhin qualifizierter Mitarbeiter/innen in ausreichender Anzahl. Entsprechende Ausbildungen sowie regelmäßige Schulungen/Fortbildungen sichern die fachlichen und sozialen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse. Motivierte und zufriedene Mitarbeiter/innen mit ausreichender Wissensbasis sind einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren.
- Zur Minimierung von klimabedingten Einflüssen (z.B. Hitze), die zu nachteiligen Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit und des Wohlbefindens führen können, sind geeignete Anpassungen hinsichtlich der Arbeitsbedingungen und des Arbeitsplatzes (z.B. flexible Zeiteinteilung, Lockerung der Kleiderordnung, Wärmedämmung von Gebäuden, Installation von Klimaanlage/Ventilatoren in Fahrzeugen und Büroräumen,...) vorzusehen.
- Für den Fall, dass große Teile der Mitarbeiterschaft krankheitsbedingt ausfallen, sind die vorhandenen Infektionsschutzmaßnahmen und Not-/Störfallpläne (z.B. abteilungs- und bereichsinternen bzw. unternehmensübergreifenden „Aushilfemöglichkeiten“) zu aktualisieren, fortzuschreiben und konsequent umzusetzen.
- Hinsichtlich der vorgeschlagenen Handlungserfordernisse und Präventionsmaßnahmen sind in Zukunft investive und organisationsbasierte Mehrkosten zu erwarten. Finanzierungsmodelle, die weiterhin eine faire und sozialverträgliche Kostenverteilung gewährleisten, sind zu entwickeln.
- Da die Wasserversorgung u.a. durch eine aufwändige Infrastruktur und durch lange Nutzungsdauer der technischen Anlagen gekennzeichnet ist, sind in einem Abwägungsprozess ökonomische Aspekte in Form einer entsprechenden Kosten-Nutzung-Analyse zu bewerten. Während bei einer klassischen Vorgehensweise diejenige Handlungsoption ausgewählt wird, die unter Berücksichtigung direkter Kosten und Nutzen entweder das beste Gesamtergebnis (Effektivität) erbringt oder mit Blick auf die eingesetzten Mittel die beste Rentabilität (Effizienz) verspricht, werden bei einer erweiterten Kosten-Nutzen-Analyse auch indirekte Kostenkomponenten (z.B. Folgekosten durch Schädigung der Umwelt, Erhalt der Biodiversität, Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensqualität, ...) mit berücksichtigt.
- Wegen ihrer längeren Umsetzungs- und Finanzierungsphase bedürfen vor allem die vermögensplanrelevanten Aktivitäten einer frühzeitigen und sorgfältigen Planung. Da außerdem eine Zunahme von Wetterextremen verbunden mit Elementarschäden größeren Ausmaßes nicht auszuschließen ist, wird daher zusätzlich empfohlen, den bestehenden

Versicherungsschutz zu überprüfen und hinsichtlich der zu erwartenden Rahmenbedingungen ggf. anzupassen. Versicherungsgesellschaften sind derzeit dabei, entsprechende Produkte zu generieren.

### **Rechtlicher Ordnungsrahmen**

Die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser unter Berücksichtigung der klimatischen, demographischen, ökologischen und ökonomischen Veränderungen stellt eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen der Zukunft dar. Als bedeutendes Element der Daseinsfürsorge leisten hierbei die Wasserversorgungsunternehmen im Spannungsfeld zwischen Umwelteinflüssen und anthropogenen Eingriffen einen wesentlichen Beitrag. Dabei muss allen Beteiligten immer wieder klar gemacht werden, dass es für die Anpassung an den Klimawandel kein allgemeingültiges Handlungsmuster gibt. Dafür sind die Umweltauswirkungen und die Folgen für die Wasserversorgungsunternehmen (z.B. Rohwasserbeschaffenheit, Anlagensicherheit, ...) regional zu unterschiedlich. Anpassungsbedarf und Handlungsmöglichkeiten ergeben sich i.d.R. aus den jeweiligen naturräumlichen Bedingungen und den Wechselwirkungen mit anderen Wandelprozessen. Nicht zuletzt sind es auch die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen, die die Gestaltungsspielräume eines Wasserversorgers definieren. Ziel muss es sein, im regulatorischen Bereich allen Tendenzen und Entwicklungen entgegen zu wirken, bei denen eine Benachteiligung der Trinkwasserversorgung nicht auszuschließen ist. Neben raumordnerischen und wasserwirtschaftlichen Planungen sind auch technische Überlegungen mit einzubeziehen.

- Insbesondere in länger anhaltenden Hitze- und Trockenperioden können konkurrierende Nutzungen der örtlich/regional begrenzten Wasservorkommen (z.B. Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft vs. Trinkwasserversorgung) zur Verknappung des Wasserdargebotes führen. Um die Ressourcenverfügbarkeit gewährleisten zu können, ist darauf hinzuwirken, dass durch Rechtsgrundlagen der Trinkwasserversorgung und der Sicherung der Stromversorgung zu Hochverbrauchszeiten Vorrang eingeräumt wird.
- Vor dem Hintergrund einer auch in Zukunft gesicherten Trinkwasserversorgung sind die aktuellen gesetzlichen Vorgaben sowie das Leitbild „Wasserversorgung in Baden-Württemberg“ gemeinsam mit allen betroffenen Akteuren (Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Verbände, Wassernutzer) den zukünftigen Rahmenbedingungen anzupassen. Die Bedeutung der jeweiligen Versorgungssysteme „Fernwasser, Gruppenwasser, Ortswasser“ sind dabei entsprechend zu berücksichtigen. Ziel ist es, „intelligente“, d.h. zukunftsorientierte Wasserversorgungskonzepte/Verbundlösungen zu entwickeln.

## **6. Gesamtbeurteilung und abschließende Bemerkungen**

In der vorliegenden Literaturrecherche werden am Beispiel der Bodenseeregion und dessen Einzugs- und Trinkwasserverteilungsgebiet die zukünftig zu erwartenden Klimaentwicklungen sowie die damit einhergehenden Umweltauswirkungen und Folgen aus Sicht der Wasserversorgungsunternehmen dargestellt. U.a. werden die Einflüsse des Klimawandels auf nutzungsspezifische, technische und sozio-ökonomische Aspekte, die eng mit der Wasserbeschaffenheit und der Versorgungs-

sicherheit verbunden sind, aufgezeigt sowie unter Beachtung der Überlegungen zur Betroffenheit, Exposition, Sensitivität, Vulnerabilität und zum Risikomanagements mögliche Handlungsoptionen und Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die im Einzugs- und Trinkwasserversorgungsgebiet bzw. die im Bodensee resultierenden Wechselwirkungen und Prozessabläufe für die Verantwortlichen der Wasserversorgungsunternehmen keine unbekanntes Phänomene sind. Sie sind es u.a. gewohnt,

- in langfristigen Planungs- und Investitionszeiträumen von mehr als 50 Jahren zu denken,
- mit sich spontan bzw. langsam ändernden Rahmenbedingungen umzugehen und
- in allen Bereichen der Wertschöpfungskette „Ressource - Gewinnung - Aufbereitung - Verteilung/ Speicherung“ Entscheidungen unter Unsicherheiten zu treffen.

Außerdem liegen ihnen sowohl für Extremereignisse und den damit verbundenen Herausforderungen als auch im Umgang mit einer langfristigen bzw. zeitlich begrenzten Änderung der Wasserbeschaffenheit bereits einschlägige Erfahrungen vor.

Wie die Überlegungen der Vulnerabilitätsabschätzung und Risikomanagement ferner gezeigt haben, **ist deutlich ein Einfluss der zu erwartenden Klimaentwicklungen auf die Trinkwasserversorgung zu erkennen. Bislang sind jedoch keine Hinweise ableitbar, die auf einen akuten und dringenden Handlungsbedarf hindeuten. Dennoch sind alle betroffenen „Akteure“ zu einer vorausschauenden, aktiven und sachlichen Auseinandersetzung mit dem Thema „Klimawandel“ sowie zur Erarbeitung entsprechender Anpassungsstrategien bzw. Handlungsoptionen aufgefordert.**

Dabei gilt es, in Abhängigkeit von den politischen, sozialen und finanziellen Gestaltungsmöglichkeiten sowie den standortspezifischen Rahmenbedingungen<sup>12</sup> Bewährtes zu erhalten und mit Augenmaß in den nächsten Jahren/Jahrzehnten fortzuentwickeln. Aufbauend auf einer konsequenten Umsetzung von Maßnahmen, die vor allem auf den Eckpunkten

- des vorsorgenden und nachhaltigen Gewässerschutzes,
- einer regelmäßigen Überwachung des Wassers in allen Komponenten der Wertschöpfungskette „Trinkwasserversorgung“,
- des Einsatzes bewährter bzw. innovativer Technologien zur Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung/Speicherung einschließlich deren Instandhaltung,
- der Förderung von bzw. der aktiven Beteiligung an entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie
- einer vorausschauenden ökonomischen Vorgehensweise

basieren, sind die bislang noch nicht berücksichtigten Auswirkungen/Folgen des Klimawandels, der anthropogenen „Wandelprozesse“ sowie der zunehmenden Beein-

---

<sup>12</sup> z.B. Wassereinzugsgebiet, Wasserdargebot, Wasserbeschaffenheit, technische Struktur des Versorgungssystems, dem jeweiligen Verbraucherverhalten, den Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklungen oder der landwirtschaftlichen Wassernutzung

trächtigung der aquatischen Systeme durch unerwünschte Stoffeinträge frühzeitig in die systematischen Gesamtbetrachtungen zur Planung und Betrieb der zukünftigen Versorgungsstruktur zu integrieren.

Die Wasserversorgungsunternehmen am Bodensee tragen durch ihr weitsichtiges und verantwortungsvolles Handeln somit maßgeblich dazu bei, dass auch **unter den geänderten Rahmenbedingungen des Klimawandels weiterhin eine nachhaltige Bereitstellung von Trinkwasser im Versorgungsgebiet des Bodensees gewährleistet ist.**

## **Literatur**

Alle ausgewerteten Literaturbeiträge und Internet-Veröffentlichungen sind in der Langfassung des Abschlussberichtes alphabetisch aufgelistet.