

**WASSER**



**ABFALL**

## ■ **SCHRIFTENREIHE**

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

**Heft 170**

# **„Zukunft denken“ – Wasserwirtschaft 2035**

**Wien 2015**

## **Impressum**

### **Medieninhaber und Herausgeber:**

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Marc-Aurel-Straße 5, 1010 Wien

### **Hersteller:**

RSA R. & W. Smutny OG, Wien

*Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.*

*Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung, und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.*

Alle Rechte vorbehalten.

© 2015 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

## Vorwort

### „Zukunft denken“ – Wasserwirtschaft 2035

*Johann WIEDNER, Amt der Steiermärkischen Landesregierung*

Anlässlich seines 100-jährigen Bestehens hat der Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) das Motto „Zukunft denken“ in sein Logo aufgenommen. Damit wurde das Erfolgsgeheimnis der Vergangenheit bewusst gemacht und als Zukunftsprogramm fortgeschrieben.



Die zukunftsweisende Gestaltung und Entwicklung der österreichischen Wasserwirtschaft wurde vom ÖWAV maßgeblich unterstützt. Unterstützt durch die Bereitstellung einer Plattform für alle Akteurinnen und Akteure der Wasserwirtschaft mit dem Ziel, einen wissenschaftlich fundierten und praxistauglichen Wissensaufbau sowie kontinuierlichen Wissenstransfer sicherzustellen.

Viele Universitäten und Forschungsinstitute mit hervorragenden ProfessorInnen und ExpertInnen haben sich in der Vergangenheit dafür zur Verfügung gestellt und wirken auch aktuell daran mit.

So stellt die Forschung immer wieder neue Analysen und Untersuchungsergebnisse bereit, um bestehende Aufgaben besser zu bewerkstelligen bzw. um für künftige Herausforderungen gute Lösungen für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser zu ermöglichen. Darüber hinaus sind die Universitäten maßgeblich verantwortlich für die Bereitstellung gut ausgebildeter, mit aktuellem und zukunftsweisendem Wissen ausgestatteter Fachleute für alle Bereiche der Wasserwirtschaft.

Nach intensiven Jahrzehnten des Ausbaues einer wasserwirtschaftlichen Infrastruktur – verbunden mit vielen Anlagen zur Nutzung aber auch zum Schutz des Wassers bzw. zum Schutz vor dem Wasser – stellt sich oftmals die Frage, wo die Herausforderungen der Zukunft liegen. Dazu wurde bereits einiges durch die europäische und nationale Wasserpolitik angestoßen und werden auch neue Gewässerschutzziele sowie Anpassungserfordernisse infolge Klimawandel mehr oder weniger diskutiert.

Dieses Interesse an der Zukunft, das Interesse Zukunft zu denken und in weiterer Folge Zukunft zu gestalten hat uns dazu bewogen, anerkannte ProfessorInnen, die sich mit Wasserthemen beschäftigen, einzuladen, ihren Blick 20 Jahre nach vorne zu richten und unter dem Titel „Wasserwirtschaft 2035“ ihre Einschätzung über die Entwicklung und den Stand der Wasserwirtschaft im Jahr 2035 für eine Publikation zur Verfügung zu stellen.

Die Beiträge im nunmehr vorliegenden Heft der ÖWAV-Schriftenreihe sollen Ihnen einen Blick auf die Zukunft der Wasserwirtschaft in Österreich über Ihre Aufgaben des Alltags hinaus bieten, Ihnen einen Abgleich mit ihren persönlichen Vorstellungen ermöglichen sowie uns zum Nachdenken und Diskutieren anregen.

Vorwort

Mein besonderer Dank gilt allen mitwirkenden „WasserprofessorInnen“, die ihr wertvolles Wissen und ihre kostbare Zeit dafür zur Verfügung gestellt haben.

Möge dieser Bericht „Wasserwirtschaft 2035“ für alle Akteurinnen und Akteure der Wasserwirtschaft eine interessante Lektüre darstellen und unter dem Motto „Zukunft denken“ einen Beitrag für ein „Zukunft gestalten“ leisten.

**ÖWAV-Präsident HR DI Johann Wiedner**

Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Abteilung 14 – Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit

8010 Graz, Wartingergasse 43

johann.wiedner@stmk.gv.at

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	1
Johann WIEDNER, Amt der Steiermärkischen Landesregierung	
<b>Fünf Wasserwünsche</b> .....	5
Markus AUFLEGER, Universität Innsbruck	
<b>Wasserwirtschaft 2035: Hydrogeologische Aspekte</b> .....	9
Steffen BIRK, Karl-Franzens-Universität Graz	
<b>Grundwasserwirtschaft in Österreich: zukünftige Herausforderungen – Visionen?</b> .....	17
Alfred Paul BLASCHKE, Technische Universität Wien	
<b>Herausforderungen an das Grundwasserressourcenmanagement</b> .....	23
Johann FANK, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH	
<b>Wasserqualität und Gesundheit: zukünftige Herausforderungen?</b> .....	35
Andreas H. FARNLEITNER, Technische Universität Wien / ICC Water & Health Regina SOMMER, Medizinische Universität Wien / ICC Water & Health	
<b>Naturräumliche Änderungen in stark vergletscherten Einzugsgebieten bis 2035: Fakten und Forschungsbedarf im Hinblick auf die Wasserwirtschaft</b> .....	47
Andrea FISCHER, Universität Innsbruck	
<b>Herausforderungen durch die Klimaänderung aus der Sicht der Ingenieurbiologie</b> .....	53
Florin FLORINETH, Universität für Bodenkultur Wien	
<b>Betrieb, Instandhaltung und Entwicklung der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastrukturnetze – Herausforderungen im 21. Jahrhundert</b> .....	65
Daniela FUCHS-HANUSCH, Technische Universität Graz	
<b>Nachhaltiger und ökologisch orientierter Wasserbau – Perspektiven bis 2035</b> .....	73
Helmut HABERSACK, Michael TRITTHART, Marcel LIEDERMANN, Christine SINDELAR & Christoph HAUER, Universität für Bodenkultur Wien	
<b>Österreichische Siedlungswasserwirtschaft 2035 – Was bleibt, was wird sich ändern?</b> .....	85
Harald KAINZ, Technische Universität Graz	
<b>Die Zukunft österreichischer Fließgewässer</b> .....	93
Stefan SCHMUTZ, Universität für Bodenkultur Wien	
<b>Herausforderungen an und Perspektiven für die österreichische Hydrologie und Wasserwirtschaft in den nächsten Dekaden</b> .....	103
Karsten SCHULZ, Universität für Bodenkultur Wien	
<b>Herausforderungen des Wasserbaus für die nächsten 20 Jahre</b> .....	111
Gerald ZENZ, Technische Universität Graz	



## Fünf Wasserwünsche

Markus AUFLEGER, Universität Innsbruck

Wenn ich fünf Wasserwünsche frei hätte, dann ...

**... würde sich die imaginäre Barriere zwischen der Wasserkraft und der Gewässerökologie in den Köpfen aller Beteiligten zugunsten eines offenen Dialogs auflösen.**

Anstelle von Vorfestlegungen, Vorurteilen und Vermutungen würden eine kritische Offenheit und eine neugierige Bereitschaft zur vorbehaltlosen Prüfung von Planungen und Projekten treten. Statt pauschaler Bewertungen („Turbine = toter Fisch!“ oder „Die Fischer sind für die Fischerei viel gefährlicher als die Wasserkraft!“) würden sich alle Beteiligten an einen Tisch setzen und ausschließlich anhand von Fakten bzw. anhand der verfügbaren Informationen ergebnisoffen diskutieren.

Die Wissenslücken (z. B. der tatsächliche Einfluss der Wasserkraft auf die Fischpopulationen) werden sich immer weiter verkleinern. Die technischen und ökologischen Konzepte werden immer besser (z. B. beim Fischschutz). Diese wissenschaftlichen Fortschritte würden – in der Wunschzukunft – von allen Beteiligten kritisch begleitet und geprüft werden.

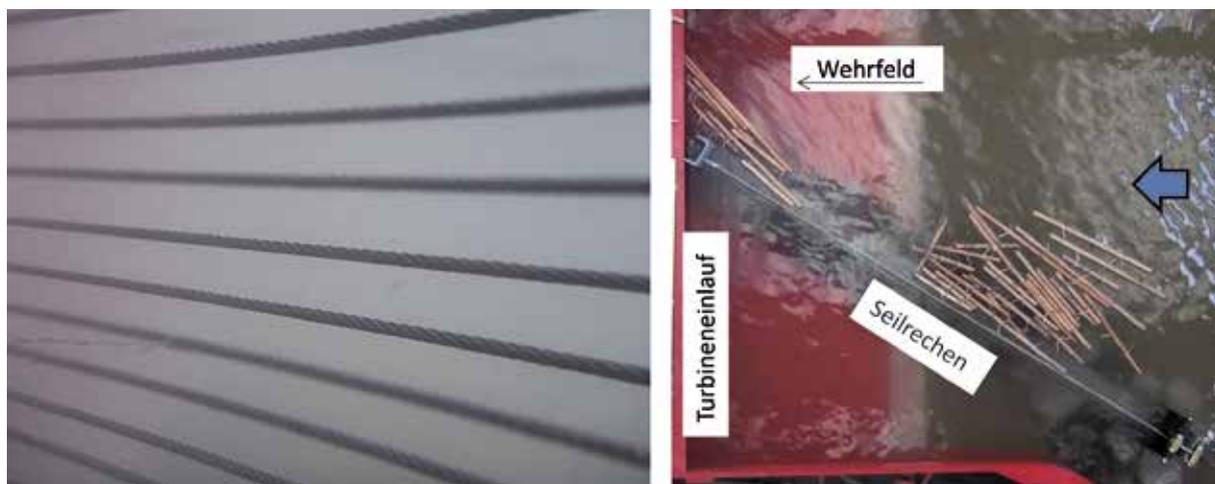
Das „Lagerdenken“ würde abgelöst werden durch eine ergebnisoffene Suche nach den besten Lösungen für wasserwirtschaftliche Projektaufgaben. „Gutmenschen“ mit langjähriger NGO-Affinität würden sich von Standardhaltungen lösen und technisch sowie ökologisch ausgewogene Projekte befürworten – trotz möglicher Wasserkraftanteile. Auf der anderen Seite würden aber auch die verbliebenen „Technokraten“ lernen, gewässerökologische Erfordernisse des modernen Flussbaus aus freien Stücken zu akzeptieren und in technische Planungen bereits von Beginn an einzuarbeiten.



**Abb. 1** Das Konzept des Fließgewässerkraftwerkes an der Salzach: Gewässerökologie, Sohlstabilisierung und Wasserkraft vereint zu einem Gesamtkonzept an einem ökologisch sensiblen Standort

**... würden österreichische Wasserkraftanlagen ein sehr hohes Maß an zukunftsweisenden Technologien und Konzepten aufzeigen und somit als „Showroom“ des österreichischen Wasserkraft-Know-hows dienen.**

Neue Fischschutzeinrichtungen, wegweisende Fischwanderanlagen, weitere Turbinenentwicklungen, innovative Anlagenkonzepte oder auch technische Konzepte zur Reduzierung von Schwall/Sunk-Auswirkungen würden gemäß diesem Wunsch in umfassender Weise österreichische Wasserkraftanlagen prägen. Den Wasserkraftbetreibern würden diese mitunter kostenintensiven Maßnahmen sowohl durch verwaltungsrechtliche Vorgaben als auch durch geeignete Fördermaßnahmen deutlich ans Herz gelegt werden. Österreich würde so seine Stellung als innovative Wasserkraftnation stärken und seinen Zugang zu den internationalen Märkten für Anlagenausrüstung und Ingenieurleistungen weiter behaupten können.



**Abb. 2** Der Seilrechen als innovatives Fischschutzsystem (links: horizontal gespannte Seile als Fischschutz; rechts: der Seilrechen in einer extremen Belastungssituation im Modellversuch)

**... würde sich Österreich mit großem Selbstbewusstsein als ein zentraler Baustein eines zukünftigen erneuerbaren Energiesystems in Mitteleuropa positionieren.**

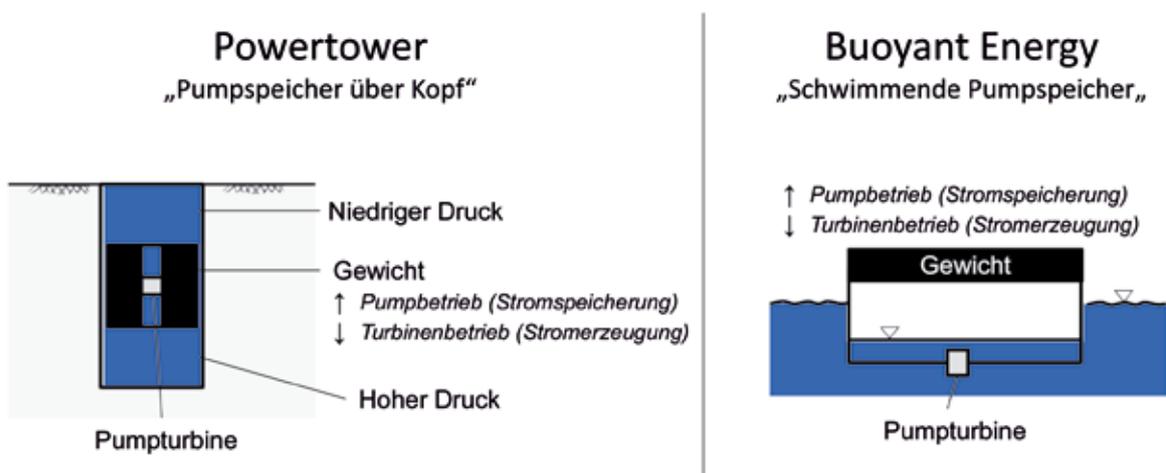
Ressourcen- und Klimaschutz sind zu vordringlichen Aufgaben unserer Generation geworden. Der Umbau des Energiesystems zugunsten erneuerbarer Energien ist zumindest in Deutschland in vollem Gange. Andere Länder schlagen den gleichen Weg ein. In der erwünschten Zukunft würde Österreich seine naturgegebenen Vorteile (Wasser und Berge) mit großer Konsequenz dafür einsetzen, die volatilen Einspeisungen aus Wind und Sonne auszugleichen. Der Blick – und auch das nach außen kommunizierte Selbstverständnis hinsichtlich der notwendigen Infrastrukturmaßnahmen – würden dann aber weit über Österreich hinausgehen. Neue wasserbauliche Projekte würden an geeigneten Standorten mit großer Rücksichtnahme auf das Umfeld umgesetzt werden. Österreich würde damit eine Rolle übernehmen, welche deutlich über die nationale Verantwortung für eine saubere Stromerzeugung hinausgeht – deutlich sichtbar für die europäischen Partner!



**Abb. 3** Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke in Österreich besitzen derzeit eine installierte Turbinenleistung von etwa 3 700 MW und verfügen über eine Speicherkapazität von bis zu 3,2 TWh (Bild: Schlegeisspeicher, Foto: Aufleger)

... würden in Österreich entwickelte topografieunabhängige Stromspeichersysteme in Ergänzung zu den österreichischen Speicher- und Pumpspeicheranlagen einen umfassenden Beitrag zur Integration von Wind und Sonne in das europäische Stromnetz direkt vor Ort leisten.

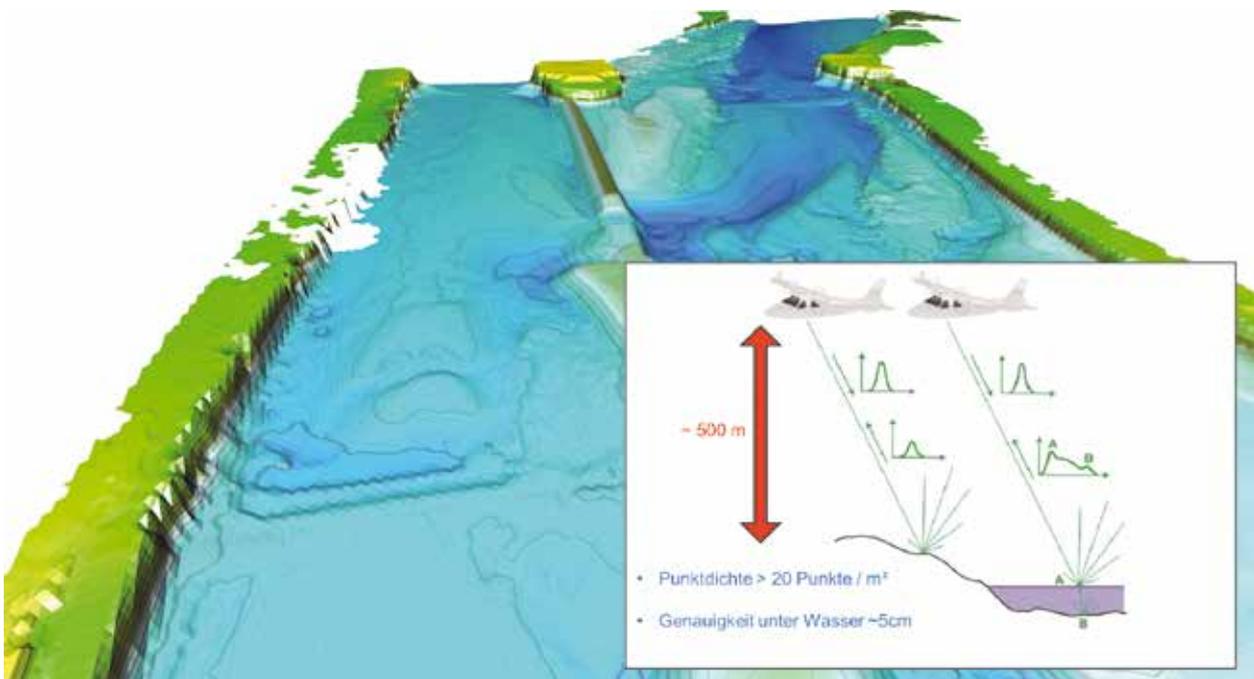
Die derzeit an der Universität Innsbruck in Entwicklung befindlichen unkonventionellen Pumpspeichersysteme „Powertower“ und „Buoyant Energy“ würden sich – nach einer entsprechenden Entwicklungsphase in Österreich – zu einer „Break Through Technology“ bei der Vor-Ort-Integration von Wind und Sonne entwickeln. Die in die Entwicklung involvierten Maschinenbauer könnten das in der Entwicklungsphase erworbene Know-how und damit verbundene Schutzrechte nutzen, um an dieser technischen Innovation auf dem internationalen Energiemarkt zu partizipieren. Die dezentralen und in hohem Maße nachhaltigen Stromspeichereinheiten könnten sich zu einem bedeutsamen Baustein des zukünftigen Stromnetzes etablieren und somit einen substantiellen Beitrag zum Klimaschutz leisten. – Wenn Wünsche erlaubt sind, dann sind es Träume auch!



**Abb. 4** Stromspeicher auf Pumpspeicherprinzip: Powertower und Buoyant Energy

... würden alle verfügbaren Gewässerdaten zentral und für alle verfügbar zusammengestellt.

Die Datenerhebung an Gewässern ist komplex, zeitaufwendig und teuer. Sie kann Auskunft geben über die Gewässerform (Profile oder gesamthafte Vermessungen), das Abflussverhalten einschließlich der Wasserspiegellagen, die morphologische Entwicklung, den Feststofftransport sowie ökologische Randbedingungen (z. B. Strukturvielfalt). Moderne Vermessungsmethoden (z. B. die luftgestützte Vermessung von Gewässern mit „grünen“ Lasersystemen) sowie die immer weiter voranschreitende Methodik der Messungen bzw. Modellierungen zum Geschiebe- und Schwebstoff führen zu einer rapide ansteigenden Datenmenge. In der erwünschten Zukunft würden all diese Daten – unabhängig von der erhebenden Institution – zentral und in offenen Datenstrukturen abgelegt werden. Hätte ich doch nur einen **sechsten** Wunsch frei – dann wäre diese Datenbank professionell verwaltet, kostenfrei und für alle zugänglich!



**Abb. 5** Luftgestützte Gewässervermessung (Grafik: Airborne Hydromapping GmbH, Innsbruck)

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Aufleger**

Universität Innsbruck

Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau

6020 Innsbruck, Technikerstraße 13a

markus.aufleger@uibk.ac.at

# Wasserwirtschaft 2035: Hydrogeologische Aspekte

Steffen BIRK, Karl-Franzens-Universität Graz

## Einleitung

Dieser Beitrag beleuchtet Herausforderungen in der Wasserwirtschaft mit Blick auf das Jahr 2035 aus der Perspektive eines Hydrogeologen. Im Vordergrund stehen daher mögliche Risiken, aber auch Chancen, im Zusammenhang mit der Nutzung von Grundwasserressourcen.

Die Trinkwasserversorgung Österreichs beruht nahezu ausschließlich auf Grund- und Quellwässern (Brandstetter et al. 2007). Die Quantität und Qualität dieser Wässer wird durch einige Faktoren beeinflusst, die in den kommenden Jahrzehnten potenziellen Veränderungen unterworfen sind: Die hydrometeorologischen Bedingungen und die Eigenschaften der Landoberfläche (Relief, Boden, Vegetation) bestimmen maßgeblich die Grundwasserneubildung, Wasserentnahmen aber auch wasserbauliche Eingriffe beeinflussen Grundwasserspeicherung und -abfluss. Die künftige Entwicklung dieser Einflussgrößen hängt teilweise stark von den lokalen Gegebenheiten ab, etwa der Bevölkerungsentwicklung oder Veränderungen in der Landnutzung. Diesen lokalen Einflüssen sind Veränderungen aufgrund des globalen Klimawandels überlagert oder gewissermaßen auch übergeordnet, da die Entwicklung der hydroklimatischen Bedingungen sich nicht nur direkt auf den Wasserkreislauf auswirkt, sondern indirekt auch über klimatisch bedingte Änderungen etwa des Wasserbedarfs oder der Landnutzung. Dieser Beitrag diskutiert daher künftige Herausforderungen in der Grundwasserwirtschaft vor allem vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels.

## Auswirkungen des Klimawandels

Die mit der Industrialisierung zunehmende anthropogene Emission von Treibhausgasen und die damit einhergehende Verstärkung des Treibhauseffekts haben zu einem globalen Anstieg der Lufttemperaturen und damit verbundenen Änderungen des Wasserkreislaufs geführt. Als unmittelbare Folge des Temperaturanstiegs nimmt die potenzielle Verdunstung zu. Inwiefern und in welcher regionalen Ausprägung sich hierdurch das Niederschlagsgeschehen verändert, ist wesentlich schwieriger einzuschätzen. Projektionen klimabedingter Änderungen des Wasserhaushalts sind daher mit hohen Unsicherheiten behaftet.

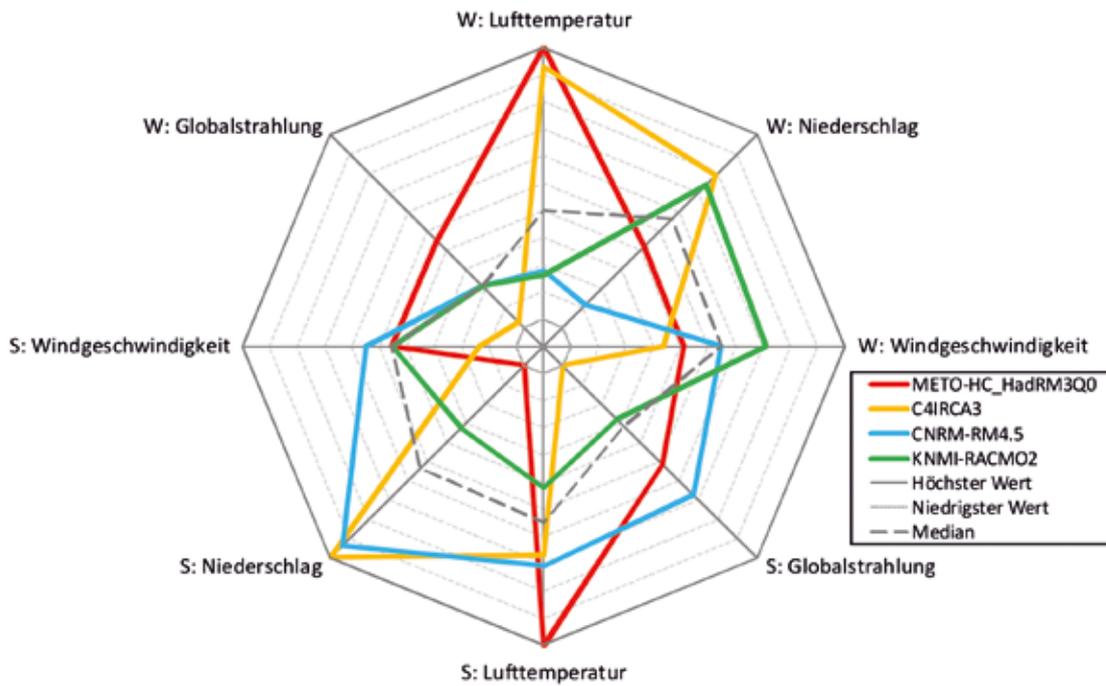
Eine umfassende Darstellung des gegenwärtigen Kenntnisstands über den Klimawandel und seine Folgen in Österreich ist durch den jüngst publizierten Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (APCC 2014) gegeben. In Bezug auf die Interpretation hydrologischer Beobachtungen erweist sich die Unterscheidung von Klimaeinflüssen und direkter anthropogener (beispielsweise wasserbaulicher) Einwirkung als schwierig. Im Süden und Osten Österreichs wurden für die letzten Jahrzehnte tendenziell abnehmende Trends der Grundwasserstände beobachtet (Blaschke et al. 2011, Schöner et al. 2011). In den kommenden Dekaden könnte ein weiterer Anstieg der Lufttemperaturen und ein möglicher Rückgang der Sommerniederschläge (Gobiet et al. 2014) verbunden mit einem potenziell erhöhten Wasserbedarf etwa für die landwirtschaftliche Bewässerung zu einem weiteren Rückgang der Grundwasserstände in diesen Regionen führen. Im Folgenden werden mögliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt beispielhaft anhand der Ergebnisse einer Studie zu Klimawandelfolgen und -anpassungen im Elektrizitäts-

sektor aufgezeigt (Projekt EL.ADAPT, Bachner et al. 2013) und dabei insbesondere auch Unsicherheiten in der künftigen Entwicklung und der Umgang mit diesen Unsicherheiten diskutiert.

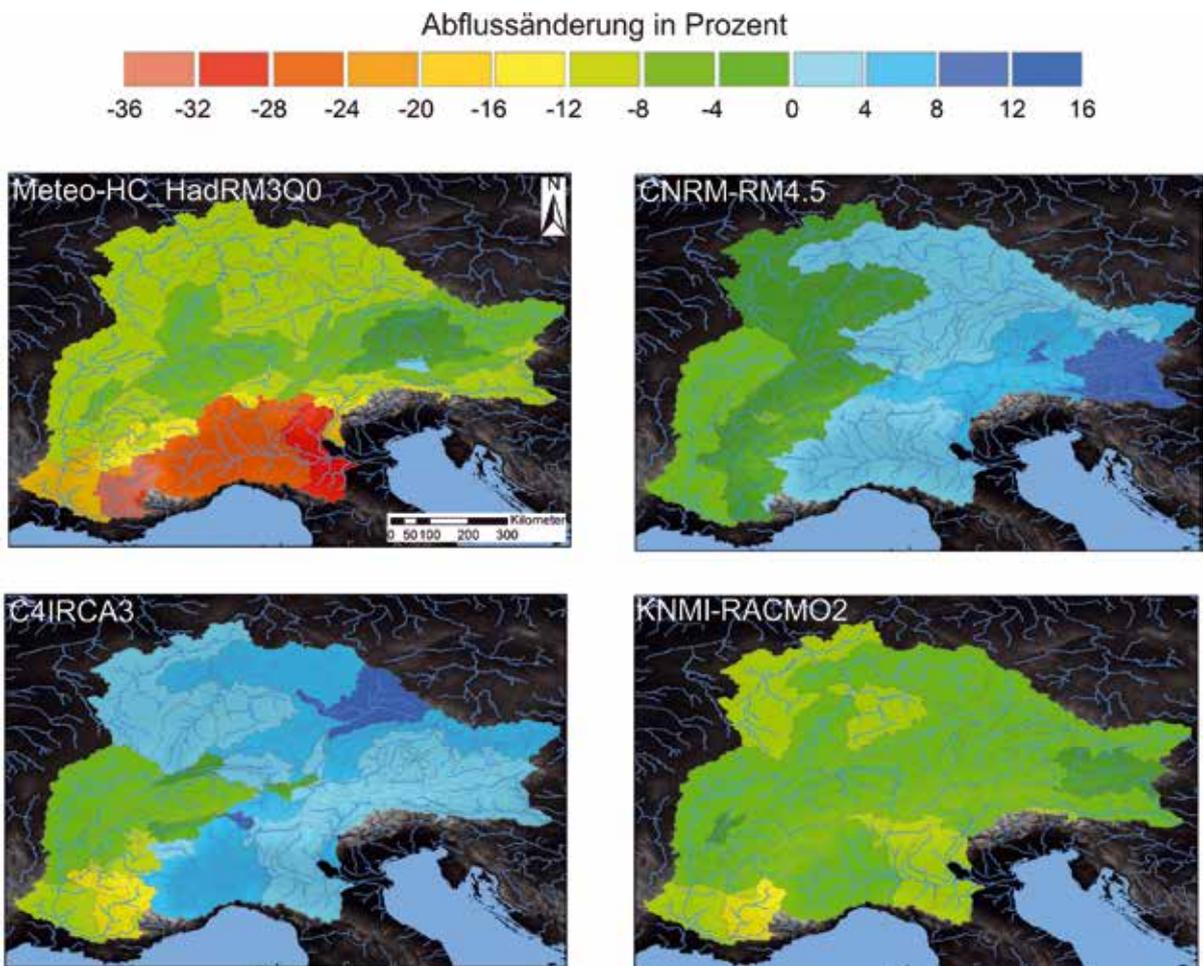
Um Klimawandeleffekte in der Elektrizitätserzeugung aus Laufwasserkraftwerken zu beurteilen, wurden in der erwähnten Studie mögliche Änderungen im Abfluss der größten Flüsse im Alpenraum mit einem konzeptionellen Niederschlags-Abfluss-Modell simuliert. Hierfür wurden von 19 regionalen Klimamodellsimulationen (Projekt ENSEMBLES, van der Linden & Mitchell 2009) vier repräsentative Klimaszenarien ausgewählt, wobei insbesondere versucht wurde, die Bandbreite möglicher negativer und positiver Auswirkungen auf den Elektrizitätssektor abzudecken. Zu diesem Zweck wurden Klimaänderungssignale für Winter und Sommer in unterschiedlichen Regionen ermittelt und in Bezug auf potenziell positive oder negative Elektrizitätswirtschaftliche Auswirkungen verglichen (Abb. 1). Bei den ausgewählten Szenarien handelt es sich um die Modellläufe KNMI-RACMO2 als moderates Szenario, C4IRCA4 als warmes und nasses Szenario, METEO-HC HadRM3Q0 als heißes und trockenes Szenario sowie CNRM-RM4.5 mit einer stärkeren Erwärmung im Sommer als im Winter. Alle Szenarien verzeichnen einen Temperaturanstieg, unterscheiden sich aber wesentlich in den übrigen Parametern.

Abb. 2 zeigt, dass die für den Zeitraum 2031 – 2050 gegenüber 1961 – 1990 prognostizierte Änderungen der Jahresabflüsse im Alpenraum sich für die vier betrachteten Klimaszenarien erheblich unterscheiden. In der Tendenz übereinstimmend wird zwar eine Abnahme des Abflusses im Südwesten des Alpenbogens erwartet. In allen anderen Teilen des Alpenraums sind die Ergebnisse aber wesentlich widersprüchlicher. Insbesondere deuten zwei Szenarien auf eine Abflusszunahme im östlichen Alpenraum hin, während die beiden anderen Szenarien dort einen Rückgang erwarten lassen. Im Rahmen des Projekts EL.ADAPT wurden aus den ermittelten Abflussänderungen in weiterer Folge Änderungen der Stromerzeugung aus Laufwasserkraft errechnet. Ähnlich der aus Abb. 2 ersichtlichen Bandbreite der möglichen Abflussänderung ergeben sich für Österreich Szenarien, die von rund 3 % Zunahme bis über 4 % Abnahme der Laufwasserkrafterzeugung reichen (Wagner et al. 2012).

Die in obigem Beispiel aufgezeigten Bandbreiten möglicher Abflussänderungen und daraus resultierender Laufwasserkrafterzeugung sind allein in den Unterschieden der ausgewählten Klimaszenarien begründet, denen jeweils dasselbe Emissionsszenario zugrunde liegt. Würden darüber hinaus auch unterschiedliche Emissionsszenarien sowie Unsicherheiten in der hydrologischen Modellierung und im Elektrizitätswirtschaftlichen Modell betrachtet, wäre die Bandbreite der möglichen Entwicklung größer. Generell ergibt sich in solchen Modellketten eine vom Emissionsszenario über die globale und regionale Klimamodellierung und nachfolgende Modellierungsschritte (hydrologisches Modell, Elektrizitätswirtschaftliches Modell etc.) bis hin zur Analyse lokaler Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen stetig zunehmende Aussageunschärfe (Wilby & Dessai 2010). Darüber hinaus sind derartige szenarienbasierte Ansätze auch deshalb nur begrenzt hilfreich, weil die Bandbreite der durch die Szenarien dargestellten möglichen Entwicklungen nicht notwendigerweise den gesamten, sondern vielmehr einen minimalen Unsicherheitsbereich repräsentiert (Stainforth et al. 2007). Im Hinblick auf wasserwirtschaftliche Entscheidungen und Planungen erscheint es deshalb sinnvoller, von der Analyse der Vulnerabilitäten wasserwirtschaftlicher Systeme auszugehen, also zu untersuchen, wie empfindlich die Systeme gegenüber Klimaänderungen sind (Brown & Wilby 2012). Im Folgenden werden ausgewählte Vulnerabilitäten in Bezug auf Grundwassermengen und Grundwassergüte angesprochen.



**Abb. 1** Bandbreite der Klimaänderungssignale (W: Winter, S: Sommer) der ausgewählten Szenarien (verändert nach Wagner et al. 2012)



**Abb. 2** Auf Basis der vier Klimaszenarien (Abb. 1) simulierte Änderung des Abflusses der größten Flüsse im Alpenraum im Zeitraum 2031 – 2050 gegenüber 1961 – 1990 (verändert nach Bachner et al. 2013)

## Vulnerabilitäten in der Grundwasserwirtschaft

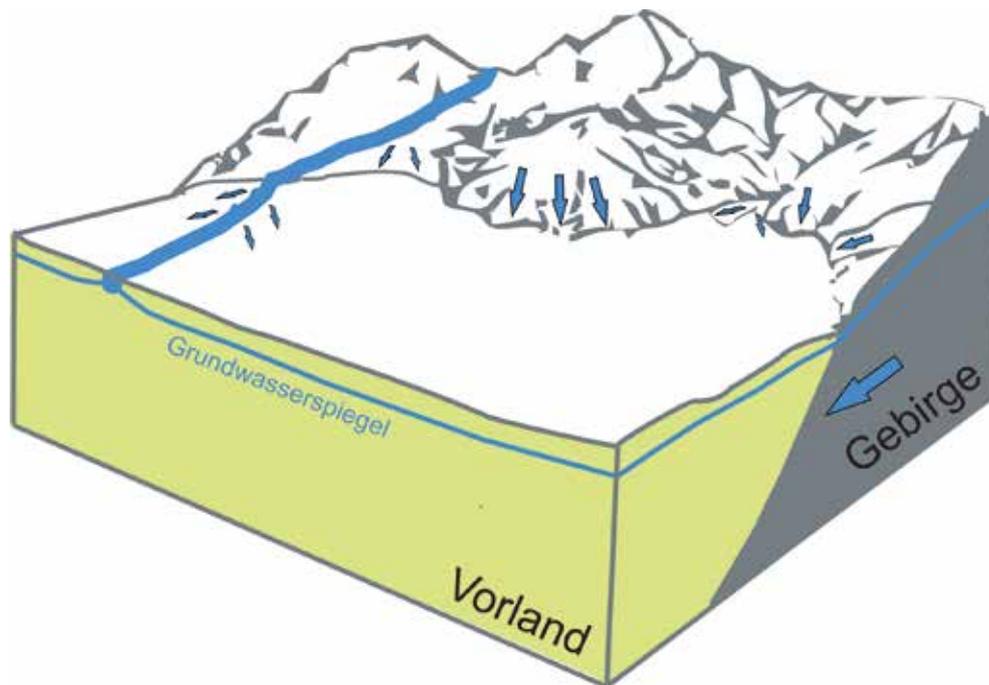
Obwohl der Niederschlag in Österreich insgesamt die potenzielle Verdunstung weit übersteigt, gibt es doch im östlichen Teil des Bundesgebiets Bereiche mit geringer oder sogar negativer klimatischer Wasserbilanz. Wie oben ausgeführt, könnten sich weiter ansteigende Temperaturen und die damit einhergehende erhöhte Verdunstung ungünstig in Bezug auf die Grundwassermengen in diesen Gebieten auswirken, insbesondere wenn zusätzlich die Niederschläge abnehmen. In diesem Fall wären nicht nur geringere Grundwasserneubildungsraten zu erwarten. Aufgrund eines dann eventuell erhöhten Wasserbedarfs, etwa für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen, könnte sich zugleich die Notwendigkeit erhöhter Wasserentnahmen ergeben. Während kurzzeitige meteorologische Dürren im Allgemeinen aufgrund der dämpfenden Wirkung des Grundwasserspeichers abgemildert werden, könnte ein erhöhter Wasserbedarf bei gleichzeitig verringertem Wasserdargebot zu einem unerwartet starken Rückgang von Grundwasserständen führen. In einer Analyse langjähriger Ganglinien aus dem süddeutschen und nordschweizerischen Raum fanden Stoll et al. (2011) in einigen der untersuchten Messstellen Hinweise auf solche Rückkopplungseffekte. Inwieweit die Grundwasserkörper und die davon abhängigen wasserwirtschaftlichen Systeme im Osten Österreichs empfindlich gegenüber derartigen Effekten sind, verdient jedenfalls weitere Untersuchung.

Im Unterschied zu den aufgezeigten Vulnerabilitäten in der Grundwassermengenwirtschaft, stellen sich in vielen Teilen Österreichs bereits heute erhebliche Herausforderungen in Bezug auf die Grundwassergüte. Insbesondere werden in einigen Grundwasserkörpern hohe Nitratkonzentrationen beobachtet, die lokal und/oder zeitweise den zulässigen Grenzwert überschreiten (siehe auch die Beiträge von Blaschke und Fank in diesem Heft). Die Nitratbelastung des Grundwassers ist überwiegend auf landwirtschaftliche Einträge zurückzuführen und daher vor allem von künftigen Entwicklungen in diesem Sektor abhängig (Art und Ausmaß der Düngung, Fruchtfolge etc.). Beobachtungen des zeitlichen Verlaufs der Nitratkonzentration an Grundwassermessstellen zeigen aber, dass das Ausmaß der Nitratbelastung auch Witterungseinflüssen unterliegt. Bezeichnend ist das Beispiel zweier Brunnen in Fluttendorf und Donnersdorf (Steiermark), deren Nitratkonzentration in den ersten Betriebsjahren unterhalb des Grenzwerts lag, diesen in den Jahren 2006 und 2007 aber vorübergehend überschritt. Als Ursache dieser Grenzwertüberschreitungen wurde eine Depotbildung in den Trockenjahren 2001 bis 2003 und nachfolgende Auswaschung in feuchteren Jahren im Zusammenhang mit Änderungen im Mischungsverhältnis verschiedener Neubildungskomponenten identifiziert (Fank 2009, Fank 2013).

Obwohl eine Zunahme von Niederschlagsextremen nicht nachgewiesen ist, deutet sich dies doch in Klimamodellen an; zudem wird mit einer zunehmenden Häufigkeit von Hitzewellen gerechnet (ACCP 2014). Eine Tendenz zu vermehrten Extremereignissen könnte sich in einer Zunahme der durch hydrologische Variabilität bedingten Schwankungen (und potenziellen Grenzwertüberschreitungen) von Nitrat und anderen Wasserinhaltsstoffen äußern. Ob und inwieweit dies tatsächlich der Fall ist, wird sicherlich in hohem Maße von den jeweiligen lokalen hydrogeologischen und hydrogeochemischen Verhältnissen bestimmt und bedarf weiterer Untersuchung. Einige in diesem Zusammenhang relevante und für weite Teile Österreichs charakteristische hydrogeologische Aspekte werden im Folgenden kurz angesprochen.

## Hydrogeologische Aspekte

Die im vorigen Abschnitt diskutierten Vulnerabilitäten betreffen im Wesentlichen die Porengrundwasserkörper in den Tal- und Beckenlagen Österreichs. Neben der direkten Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag werden diese Grundwasservorkommen in unterschiedlichem Ausmaß auch durch Zuflüsse aus dem angrenzenden Gebirge gespeist (Abb. 3). Die Zuflüsse aus dem niederschlagsreicheren Gebirgsraum erlangen tendenziell umso höhere Bedeutung, je niederschlagsärmer die betrachtete Region im Vorland ist. Insofern ist dieser Prozess potenziell besonders im niederschlagsarmen Osten Österreichs relevant und könnte dort bei abnehmenden Niederschlagsmengen noch an Bedeutung gewinnen.



**Abb. 3** Möglichkeiten der Anreicherung (blaue Pfeile) von Porengrundwässern durch Zuflüsse aus dem angrenzenden Gebirge

Die Anreicherung von Porengrundwasserleitern im Übergangsbereich vom Gebirge zum Vorland kann dabei durch unterschiedliche Mechanismen erfolgen (Wilson & Guan 2004):

- aus Oberflächengewässern (sowie dem begleitenden Grundwasserabstrom) entlang von Tälern, die vom Gebirge ins Vorland übertreten;
- durch den Oberflächen- und Zwischenabfluss an steilen Hängen entlang der Gebirgsfront;
- durch unterirdischen Zustrom entlang von Diskontinuitäten (Störungen, Klüfte, Karsthohlräume etc.);
- durch diffuse unterirdische Zutritte entlang der Gebirgsfront.

Es liegt auf der Hand, dass diese verschiedenen Anreicherungsmechanismen in unterschiedlicher Weise sowohl Menge als auch Güte des Porengrundwassers im Gebirgsvorland beeinflussen. Ein prozessbasiertes, quantitatives Verständnis der hydrogeologischen Interaktion zwischen Gebirge und Vorland erscheint daher für eine fundierte Beurteilung von Klimawandelfolgen oder direkten anthropogenen Eingriffen (wie Wasserentnahmen) im Alpenvorland

aber auch in inneralpinen Tälern und damit auch im Hinblick auf künftige Entscheidungen und Planungen in der Grundwasserwirtschaft unerlässlich. Die Identifizierung und Quantifizierung unterschiedlicher Neubildungskomponenten und Randzuflüsse ist zwar regelmäßig Gegenstand hydrogeologischer Detailstudien. Umfassendere und allgemeinere Untersuchungen im Zusammenhang mit den in diesem Beitrag angesprochenen Vulnerabilitäten in Bezug auf Grundwassermenge und -güte scheinen aber noch ausständig.

## Schlussfolgerungen

Projektionen künftiger Entwicklungen von Grundwassermenge und -güte sind mit hohen Unsicherheiten behaftet. Im Sinne wasserwirtschaftlicher Planungen erscheint es daher zweckmäßig, szenarienbasierte Ansätze durch Analysen der Empfindlichkeit der Grundwasserkörper und wasserwirtschaftlichen Systeme gegenüber potenziellen Veränderungen zu ergänzen. Solche Vulnerabilitätsanalysen könnten helfen, Strategien zu identifizieren, die sich unter einer großen Bandbreite möglicher Entwicklungen als robust erweisen. Häufig werden diese „no regret“- oder „low regret“-Maßnahmen beinhalten, die sich bereits heute und unter verschiedensten künftigen Entwicklungen als zweckmäßig darstellen (Wilby & Dessai 2010). Im Hinblick auf die Grundwassergüte sind Strategien des vorbeugenden Grundwasserschutzes hier einzuordnen, bezogen auf die oben diskutierte Nitratbelastung österreichischer Grundwasservorkommen also beispielsweise Maßnahmen zur Minimierung des Nitratreintrags. Als Beispiel für derartige Strategien im Bereich der Grundwassermengenwirtschaft sei das „Arteser Aktionsprogramm“ in der Steiermark genannt, welches darauf abzielt, durch Rückbau und Sanierung artesischer Brunnen einen Anstieg der Druckspiegel im Tiefengrundwasser zu erreichen (Ferstl 2014). Aus diesen Überlegungen wird deutlich, dass die Herausforderungen sich ändernder Klima- und Umweltbedingungen nicht nur und nicht primär als Risiken in der wasserwirtschaftlichen Planung verstanden werden sollten, sondern vielmehr auch als Chance zur Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsstrategien.

## Danksagung

Das Projekt ELADAPT wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds im Rahmen des Programms „ACRP“ gefördert.

## Zitierte Literatur

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Bachner, G., Bednar-Friedl, B., Birk, S., Feichtinger, G., Gobiet, A., Gutschi, C., Heinrich, G., Kulmer, V., Leuprecht, A., Prettenthaler, F., Rogler, N., Schinko, T., Schüppel, A., Stigler, H., Themessl, M., Töglhofer, C., Wagner, T. (2013): Impacts of Climate Change and Adaptation in the Electricity Sector – The Case of Austria in a Continental European Context (ELADAPT). Wegener Center Scientific Report 51-2013, Wegener Center Verlag, Graz.
- Blaschke, A. P., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J., Blöschl, G. (2011): Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot von Grund- und Oberflächenwasser. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 63, 31-41.
- Brandstetter, S., Eisenhut, M., Gaul, A. (2007): Wasser in Österreich – Zahlen und Fakten. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach – ÖVGW, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband – ÖWAV, Wien.

- Brown, C., Wilby, R. L. (2012): An alternate approach to assessing climate risks. *Eos*, 93, 401-402.
- Fank, A. (2013): Boden- und grundwasserhydrologische Untersuchungen zur Optimierung der künstlichen Grundwasseranreicherung Fluttendorf/Donnersdorf der Wasserversorgung Grenzland Südost. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Graz.
- Fank, J., (2009): Fluttendorf-Donnersdorf: künstliche Grundwasseranreicherung – grundwasserhydrologisches Gutachten. Unveröffentlichter Bericht, JOANNEUM RESEARCH – Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, Graz.
- Ferstl, M. (2014): Der nachhaltige Nutzen des Arteser Aktionsprogrammes am Beispiel der Marktgemeinde Grafendorf bei Hartberg. *Proc. Pangeo Austria*, Berichte des Institutes für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, 20/1: 50.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M. (2014): 21st century climate change in the European Alps – A review. *Sci. Total Environ.*, 493, 1138-1151.
- Schöner, W., Böhm, R., Haslinger, K., Blöschl, G., Kroiß, H., Merz, R., Blaschke, A. P., Viglione, A., Parajka, J., Salinas, L., Drabek, U., Laaha, G., Kreuzinger N. (2011): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft – Studie der ZAMG und der TU Wien im Auftrag von Bund und Ländern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Stainforth, D. A., Allen, M. R., Tredger, E. R., Smith, L. A. (2007): Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365, 2145-2161.
- Stoll, S., Hendricks Franssen, H. J., Barthel, R., Kinzelbach, W. (2011): What can we Learn from Long-Term Groundwater Data to Improve Climate Change Impact Studies? *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (12): 3861-3875.
- Wagner, T., Themessl, M., Schüppel, A., Gobiet, A., Stigler, H., Birk, S. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Abfluss und Wasserkrafterzeugung österreichischer Flüsse. In: Zenz, G. (Hrsg.), *Wasserbau Symposium 2012 Wasser – Energie, Global denken – lokal handeln*, Verlag der Technischen Universität Graz: 1-8.
- Wilby, R. L., Dessai, S. (2010): Robust adaptation to climate change. *Weather*, 65, 180-185.
- Wilson, J.L., Guan, H. (2004): Mountain-Block Hydrology and Mountain-Front Recharge. Groundwater Recharge in a Desert Environment: the Southwestern United States. *Water Science and Application*, 9: 113-137.
- van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter.

**Univ.-Prof. Dr. Steffen Birk**

Karl-Franzens-Universität Graz  
Institut für Erdwissenschaften, Bereich Geologie  
8010 Graz, Heinrichstraße 26  
steffen.birk@uni-graz.at



# Grundwasserwirtschaft in Österreich: zukünftige Herausforderungen – Visionen?

Alfred Paul BLASCHKE, Technische Universität Wien

## Grundwasser – eine unsichtbare wertvolle Ressource

Wenn es um das Thema Wasser geht, steht in den „wasserreichen“ Ländern Mitteleuropas immer wieder Oberflächengewässer und damit verbunden das Thema Hochwasser im Mittelpunkt. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Gefahren sichtbar sind und auch in Medien entsprechend eindrucksvoll dargestellt werden können. Ungleich schwerer ist es, auf die Bedeutung unseres Grundwassers aufmerksam zu machen, obwohl in der EU ca. 75 % und in Österreich 100 % der Bevölkerung ihr Trinkwasser (Abb. 1) aus den Grundwasservorkommen beziehen. Auch wenn jedem die Bedeutung eines einwandfreien Trinkwassers bewusst ist, bleiben Fragen, die mit der Grundwasserwirtschaft in Zusammenhang stehen, in der Bevölkerung weitgehend unbeachtet.

Grundwasser ist jedoch, als wichtiges Glied im Wasserkreislauf, nicht nur eine Trinkwasserreserve, sondern dient auch der Industrie (z. B. in der Lebensmittelerzeugung) und der Landwirtschaft (Bewässerung) als nicht ersetzbare Ressource und spielt nicht zuletzt für die Ökosystemerhaltung eine wichtige Rolle.

Obwohl nicht im Fokus der breiten Öffentlichkeit, wurde in Österreich schon zu Beginn einer geordneten Wasserwirtschaft der Bedeutung des Grundwassers und dessen Schutz hohes Augenmerk geschenkt, und zwar mit dem Wasserrechtsgesetz aus dem Jahr 1959. Ein weiterer wichtiger Schritt zum Schutz des Grundwassers ist auf europäischer Ebene mit der Verabschiedung verschiedener Regelwerke gesetzt worden (Grundwasserrichtlinie, Nitratrichtlinie, Pflanzenschutzmittelrichtlinie, Trinkwasser-Richtlinie etc.) und auch in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) entsprechende Berücksichtigung fand. Darin ist die für das Grundwasser sehr wesentliche Betrachtung von Einzugsgebieten als Gesamtheit enthalten, wodurch auch die wichtige Wechselwirkung zwischen Grund- und Oberflächengewässer festgehalten wurde.

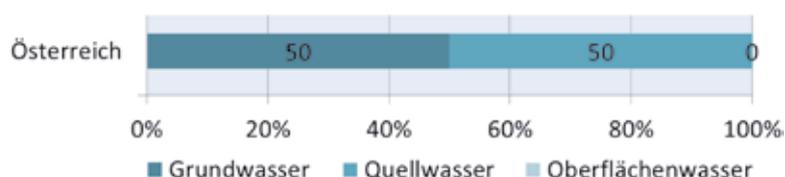


Abb.1 Herkunft des Trinkwassers in Österreich (Quelle: Umweltbundesamt)

## Grundwasser – seine Gefährdungen

Trotz des prinzipiellen Bekenntnisses zum Grundwasser- und damit auch zum Trinkwasserschutz, gefährden immer wieder Nutzungskonflikte dieses Ziel. Zudem kommt es aufgrund eines mangelnden Bewusstseins und/oder unzureichender Kenntnisse (z. B. unzureichende Messdaten) immer wieder zu Belastungen aus häuslichen, landwirtschaftlichen und industriellen Quellen. Auch hier spielt die schon erwähnte „Unsichtbarkeit“ des Grundwassers eine nicht unwesentliche Rolle. Hinzu kommt bei Belastungen noch der gravierende Umstand, dass die

Fließgeschwindigkeit im Grundwasser und die damit verbundene Möglichkeit einer raschen Verlagerung und/oder Verdünnung von Schadstoffen im Vergleich zu den Oberflächengewässern etwa 1 : 25.000 beträgt! Dem gegenüber kann sich bei manchen Verschmutzungen die häufig gute Filterwirkung im Aquifer und ein besserer Abbau durch die längeren Aufenthaltszeiten positiv auswirken.

Neben den schon länger bekannten Gefährdungen der Grundwasservorkommen, wie jene aus der Landwirtschaft (Düngung, Pflanzenschutzmittel) und der Industrie (z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe), bilden zusätzlich Problemstoffe aus Haushalten (Stichworte Mikroschadstoffe, Wasserhygiene) und Probleme, die der Klimawandel erwarten lässt, neue Risiken für den Erhalt quantitativ und qualitativ hochwertiger Grundwasservorkommen.

So wird beispielsweise im Rahmenkonzept und Strategiepapier für die Europäische Region für das 21. Jahrhundert der WHO (Gesundheit 2020) Wasser in unterschiedlichen Zusammenhängen 67-mal genannt.

Zur Frage Trinkwasser und Gesundheit siehe auch den Beitrag von Farnleitner und Sommer in diesem Heft.

## **Grundwasser – zukünftige Herausforderungen**

### **Herausforderungen für Politik und Verwaltung**

Aus grundwasserwirtschaftlicher Sicht positiv zu sehen ist das prinzipielle Bekenntnis, die Wasserversorgung in öffentlicher Hand zu behalten.

Verfolgt man jedoch die politischen Handlungen der letzten 10 – 20 Jahre aus wasserwirtschaftlicher Sicht, so kann man diese unter dem Motto „Einsparungen“ zusammenfassen. Dies betrifft sowohl die personelle Ausstattung auf Verwaltungsebene trotz zunehmend komplexerer Aufgaben, als auch die sehr schmerzlichen Rücknahmen bei der Erfassung von Messdaten. Die negativen Effekte eines damit einhergehenden Wissensverlustes, insbesondere auch das Grundwasser betreffend, können und werden sich erst bei längerfristig zu bewältigenden Problemstellungen zeigen.

Die aus den Anforderungen der neuen Regelwerke resultierende Notwendigkeit, zunehmend fachübergreifende Betrachtungen bei Fragestellungen anzuwenden, stellt die handelnden Personen in der Verwaltung vor große Herausforderungen, zumal auch die bereits angesprochene Ressourcenknappheit erschwerend hinzukommt.

Aus grundwasserwirtschaftlicher Sicht betrachtet führt die rasante Entwicklung, wie etwa bei Pflanzenschutzmitteln, bei laboranalytischen Verfahren und bei der Zunahme von neuen Problemstoffen, die eben erst durch neue Labormethoden festgestellt werden können, zu hohen Ansprüchen in allen Bereichen. Angefangen von der Forschung über die von der Politik zu entscheidenden Vorgaben bis hin zur Umsetzung durch die verschiedenen Verwaltungsebenen. Diese Entwicklung zeigt sich sehr deutlich am Beispiel der Pflanzenschutzmittel anhand einer ständig notwendigen Anpassung der Grenzwerte oder der Feststellung der Unbedenklichkeit von immer neuen Pestiziden und deren Abbauprodukten.

Wie schwierig im Bereich Grundwasser die Erreichung von gesetzten Zielen trotz besten Willens der Politik und großer Bemühungen seitens der Verwaltung ist, zeigt sich bei der Frage Düngung in der Landwirtschaft. Die *Abb. 2 und 3* zeigen die Entwicklung des Nitratgehaltes im Grundwasser von 1992/97 bis 2010/11. Trotz intensiver Bemühungen und diverser Förderprogramme in den letzten 20 – 30 Jahren kann der Erfolg nur als bescheiden bezeichnet werden. Dieses Beispiel macht auch deutlich, wie schwierig es ist, einen einmal verunreinigten Grundwasserkörper zu sanieren, und dass deshalb dem Schutz dieser Wasservorkommen ein hoher Stellenwert zukommen muss.



Abb. 2 Österreich Nitratentwicklung

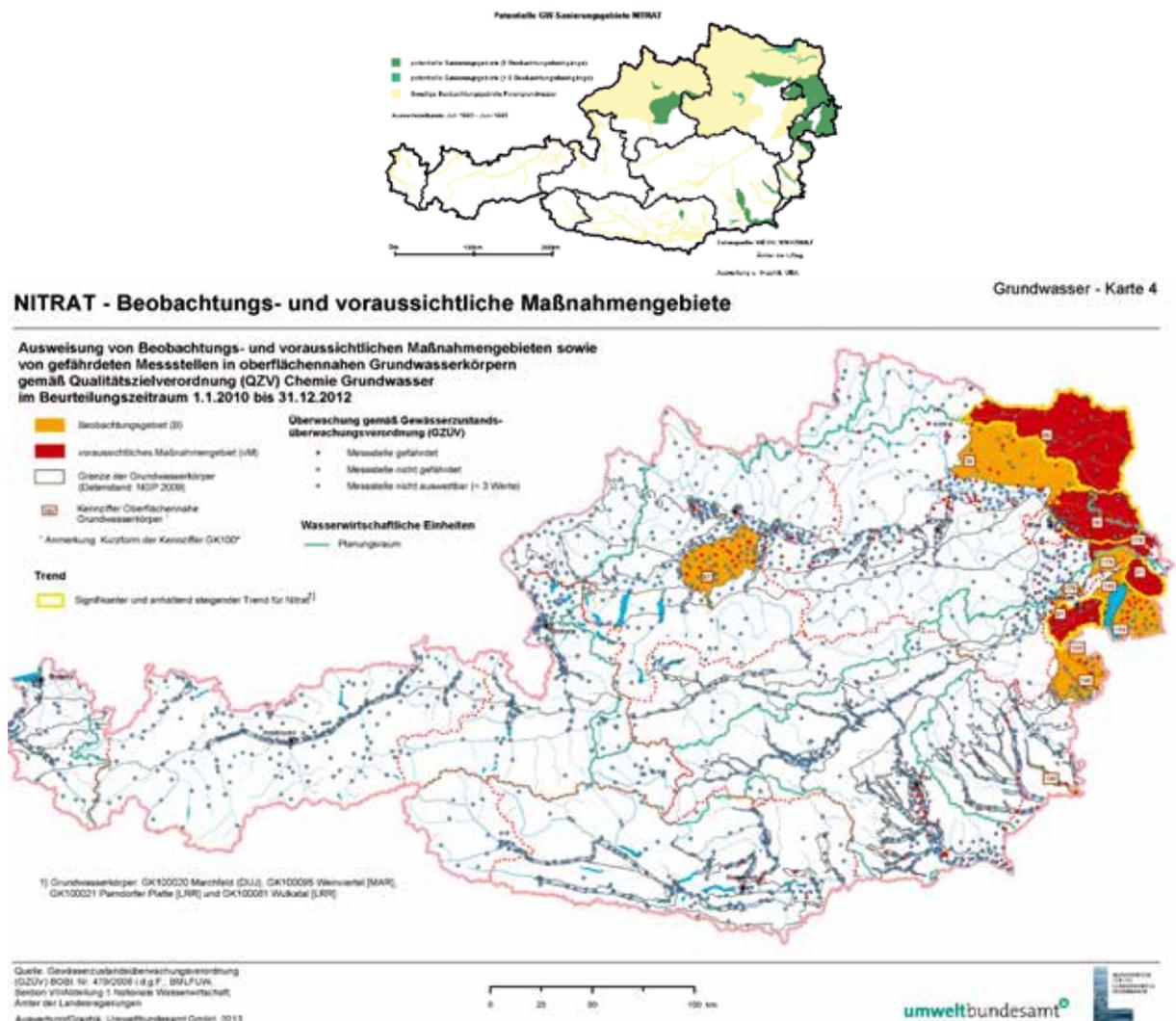


Abb. 3 Nitratentwicklung in Österreich

## **Anforderungen an die Aus- und Weiterbildung und an die Forschung**

Aufgrund der angesprochenen Frage- und Problemstellungen erscheint die Antwort zunächst einfach: vertiefende und interdisziplinäre Ausbildung an den Universitäten, Fachhochschulen und Höheren Bildenden Bundeslehranstalten.

Bei der primären Ausbildung stößt man dabei auf folgende Probleme:

- Ressourcenkürzungen (gleichbedeutend mit Kürzungen im Lehrangebot).
- Die interdisziplinäre Lehre steckt im Vergleich mit der entsprechenden Forschung noch in den Kinderschuhen.

Dies ist also eine Frage für eine Vision 2035.

Bleibt somit kurzfristig die Weiterbildung. Diese wird zwar von Organisationen wie ÖWAV und ÖVGW bereits angeboten, wobei sich abzeichnet, dass auch diese Weiterbildungsmöglichkeiten laufend weiter auszubauen bzw. an die Entwicklungen anzupassen sind.

Die in einigen Bundesländern von den Landesverwaltungen initiierten Beratungs-, Bildungs- und Weiterbildungsangebote, speziell im landwirtschaftlichen Bereich, sind im Sinne des Grundwasserschutzes sehr zu begrüßen. Allerdings gilt auch hier, dass mit entsprechend langen Zeiträumen gerechnet werden muss, bis sich Erfolge im Grundwasser einstellen.

Auch in der Forschung ist die Intensivierung einer fächerübergreifenden Zusammenarbeit immer mehr erforderlich, und wenngleich diese bereits deutlich besser als in der Lehre etabliert ist, sind hier noch Initiativen zu deren Verbesserungen notwendig (siehe als Beispiel den Beitrag von Farnleitner und Sommer in diesem Heft).

Eine Herausforderung besteht sicherlich auch darin, die Forschungsergebnisse zu transportieren und an die handelnden Personengruppen weiterzugeben.

## **Visionen 2035 – ein optimistischer Ansatz**

In diesem abschließenden Kapitel wird versucht, mithilfe von kurzgefassten – zugegebenermaßen optimistischen – Visionen Anregungen zu einer verbesserten Grundwasserwirtschaft zu geben.

- Den Gebietskörperschaften ist bei ihren Handlungen bewusst, dass Lösungen für die häufig komplexen Grundwasserprobleme nur durch eine Betrachtung des gesamten Grundwasserkörpers lösbar sind und eine Zusammenarbeit über Grenzen hinweg notwendig ist.
- Die Trinkwasserqualität 2035 ist nach wie vor ohne große Aufbereitung gegeben.
- Die Bevölkerung weiß über den „Schatz“ Grundwasser Bescheid.
- Landwirte sind sich ihrer Verantwortung bewusst und werden dafür auch geschätzt.
- Die Industrie hat den Wasserbedarf optimiert und Risikobereiche weitestgehend reduziert.

- Die Verwaltung verfügt über ausreichende Ressourcen, sich den auftretenden Fragen mit entsprechender Intensität zu widmen.
- Die Verwaltung hat ausreichende Möglichkeiten, sich fachlich weiterzubilden.
- Die Verwaltung hat ihre Beratung intensiviert und sucht gemeinsam mit den Betroffenen nach Lösungen.
- Die Fachorganisationen sind näher zusammengerückt und ergänzen sich im Bildungsangebot.
- Es gibt interdisziplinäre Forscherinnen-/Forschergruppen, auch über nationale Grenzen hinweg.
- Mittel für diese Forschergruppen sind ausreichend vorhanden.
- Lehrveranstaltungen werden fachübergreifend geführt.
- Neue Mess-, Analyse- und Rechenmethoden ermöglichen die Feststellung der Ursachen bzw. der Verursacher von Grundwasserbelastungen.

**ao. Univ.-Prof. DI Dr. Alfred Paul Blaschke**

Technische Universität Wien

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

1040 Wien, Karlsplatz 13

blaschke@tuwien.ac.at

Centre for Water Resource Systems (CWRS)

1040 Wien, Karlsplatz 13

Interuniversitäres Kooperationszentrum für Wasser und Gesundheit

[www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at)



# Herausforderungen an das Grundwasserressourcenmanagement

*Johann FANK, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH*

## 1. Einleitung

Wasser ist Lebensgrundlage, Lebensraum und Standortfaktor zugleich. Die verfügbaren Ressourcen müssen deshalb nachhaltig genutzt werden. Durch die Veränderungen des Klimas, eine global weiter wachsende Bevölkerung und den damit steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln und Energie werden sich das Wasserdargebot, der Wasserbedarf sowie die Anforderungen an Wasserinfrastrukturen in den kommenden Jahrzehnten teilweise drastisch verändern.

Eine eingeschränkte Verfügbarkeit von sauberem Wasser birgt hohe gesundheitliche Risiken und stellt ein großes Hemmnis für die sozioökonomische Entwicklung dar. Die Verunreinigungen von Gewässern mit organischen Substanzen, Nährstoffen und Schwermetallen sowie organischen Mikroschadstoffen stellen große Herausforderungen für die Wasserwirtschaft dar.

Regionale und lokale Wasserkreisläufe werden von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die, sich gegenseitig verstärkend, überwiegend negativ auf die lokal verfügbaren Wassermengen auswirken. Das starke Wachstum der Weltbevölkerung und der Weltwirtschaft äußert sich in einem stark steigenden Wasserbedarf, besonders für die Energieerzeugung und Nahrungsmittelproduktion, wodurch die Konkurrenz des Menschen mit den Ökosystemen um das Süßwasserangebot steigt (UNEP, 2012).

Die Themenfelder, mit denen sich die Wasserwirtschaft auseinandersetzt, sind vielfältig (Wassergüterwirtschaft, Schutzwasserwirtschaft, Energiewasserwirtschaft, Landschaftwasserhaushalt etc.). Im Konnex dieser Arbeit von besonderer Bedeutung ist die Grundwasserwirtschaft, die sich an der Nutzung und dem Erhalt der unterirdischen Wasservorkommen nach Menge und Güte sowie der Aufrechterhaltung ökologisch günstiger Verhältnisse orientiert. Da die Trinkwasserversorgung in Österreich zu 100 % aus dem Grundwasser erfolgt, hat die Sicherung der Wasserversorgung durch geeignetes Grundwasserressourcenmanagement eine herausragende Bedeutung. Die quantitative Verfügbarkeit und damit die Versorgungssicherheit sowie der Schutz des Grundwassers vor anthropogenen Einflüssen sowie die Reduzierung der Konkurrenz um Wasser zwischen Mensch und Natur durch eine effektivere Verwendung von Wasser sind zentrale Kernthemen der Grundwasserbewirtschaftung.

## 2. Megatrends und Treiber im 21. Jahrhundert und ihre Relevanz für die Grundwasserwirtschaft

Der Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2012) definiert die demografische Entwicklung, die Urbanisierung, die Globalisierung, die Ressourcenknappheit und den Klimawandel als Megatrends und Wachstumstreiber des 21. Jahrhunderts. Der Großteil dieser Treiber hat auch auf die zukünftige Verfügbarkeit und das Management der Grundwasserressourcen in Österreich maßgebliche Auswirkungen.

Die demografische Entwicklung, die sich in Bevölkerungswachstum, einer Änderung der Altersstruktur aufgrund von Migrationsbewegungen und in einer Steigerung der Lebenserwartung als Folge medizinischen Fortschritts manifestiert, schafft im Verein mit der Urbanisierung und Landflucht neue Rahmenbedingungen v. a. für die Siedlungswasserwirtschaft. Wasserverfügbarkeit und Wasserbedarf rücken immer weiter auseinander. Gleichzeitig führen die durch die Urbanisierung hervorgerufenen Landnutzungsänderungen zu signifikanten Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung.

Österreich ist dem Grunde nach ein wasserreiches Land. Allerdings kann aufgrund der Knappheit der Ressource Wasser der Trinkwasserbedarf in quantitativer und in qualitativer Hinsicht in Teilbereichen nicht zufriedengestellt werden. Ursache dafür sind einerseits meteorologische Ungunstlagen, aber auch die Auswirkung der Globalisierung in der Landwirtschaft, die für die Erzeugung von Produkten zu marktkonformen Preisen einen verstärkten Einsatz von Düngemitteln und von Pflanzenschutzmitteln für notwendig erachtet.

Es ist zu erwarten, dass die Herausforderungen durch die Auswirkung des Klimawandels noch verstärkt werden: Einerseits führt der Temperaturanstieg – im Verein mit der sozialen Entwicklung – zu einem erhöhten Wasserbedarf für die Erholung (z. B. Zunahme der privaten Swimmingpools), andererseits ist durch die zu erwartende Zunahme und Dauer der Dürreperioden auch mit einer Erhöhung der Anschlussdichte an die öffentliche Wasserversorgung gerade in jenen Bereichen zu rechnen, in denen aufgrund der Siedlungsstruktur die Errichtung und der Erhalt der Versorgungsinfrastruktur sehr aufwendig ist. Die Auswirkung des Klimawandels auf Landnutzungsänderungen und Änderungen in der Kulturführung mit den daraus resultierenden Effekten auf Grundwasserneubildung und auf die Schadstoffbelastung aus diffusen Eintragsquellen ist wahrscheinlich deutlich höher einzuschätzen als die direkte Auswirkung der Änderung meteorologischer Parameter auf den Wasserkreislauf. In diesem Umfeld ist auch die zu erwartende Zunahme des Wasserverbrauchs für landwirtschaftliche Bewässerung aufgrund erhöhten Wasserbedarfs der bodenständigen sowie neu eingeführten Kulturpflanzen bei gleichzeitig geringerer Wasserverfügbarkeit zu sehen. Da das Grundwasser in unseren für die Grundwasserbewirtschaftung wichtigsten Aquiferen auch zu einem erheblichen Anteil aus der Wechselwirkung mit Oberflächengewässern erneuert wird, wirken sich Klimawandeleffekte aufgrund der Veränderungen hydraulischer Parameter in den Einzugsgebieten auf die Wasserverfügbarkeit v. a. aus seicht liegenden Grundwassersystemen besonders stark aus.

In diesem Sinne identifizieren auch Cosgrove & Cosgrove (2012) in einer strukturierten Befragung von 200 ExpertInnen 10 Faktoren, die maßgeblichen Einfluss auf die Funktion des natürlichen Wasserkreislaufs haben werden: demografische Entwicklung; wirtschaftliche Umbrüche; technologischer Fortschritt; Wasserressourcen; Wasserinfrastruktur; Klimawandel; Landwirtschaft; soziale kulturelle und ethische Faktoren; Institutionen, Gesetzgebung und Regulation; Politik. Zwischen diesen Faktoren herrschen starke Wechselwirkungen, wodurch eine trennscharfe Abgrenzung voneinander nicht möglich ist (Hillenbrand et al., 2013).

### **3. Herausforderungen für die Grundwasserbewirtschaftung**

Hillenbrand et al. (2013) extrahieren aus den aktuell stattfindenden Diskussionen in Forschung und Politik in Bezug auf die Grundwasserbewirtschaftung

- Eine zunehmende Konkurrenz zwischen der menschlichen Wassernutzung und dem Wasserbedarf der Ökosysteme als Bedrohung für die Funktionsfähigkeit der Umwelt.
- Informations- und Wissensdefizite über die mit den menschlichen Aktivitäten verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt, auch im Hinblick auf den nicht mehr wegzudiskutierenden Klimawandel.
- Den Bedarf an Maßnahmen zum Erhalt und Schutz des lokal und regional verfügbaren Wasserangebots. Ausreichende und qualitativ hochwertige Wasserressourcen für Versorgungserweiterungen oder zur Erhöhung der Versorgungssicherheit zu finden, ist bereits heute in vielen Regionen problematisch. Im Wesentlichen geht es dabei um die Veränderung der Wasserqualität durch Belastungen aus der Landwirtschaft. Quantitative Nutzungskonflikte treten demgegenüber zumeist in den Hintergrund.
- Finanzielle, technologische und ökologische Herausforderungen, die aus der Problematik der bedarfsgerechten Modernisierung und Sanierung der bestehenden Wasserinfrastruktur entspringen. Diese technischen Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft wurden für Österreich für den Zeitraum bis 2021 umfassend in Neunteufel et al. (2012) behandelt.

Die Grundwasserbewirtschaftung wird an die zu erwartenden gesellschaftlichen, technologischen und wirtschaftlichen Veränderungen, die wiederum indirekt von den sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen in verschiedenen Regionen bestimmt werden, angepasst werden müssen. Hierzu ist – im Einklang mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie – eine langfristige, konzertierte und kooperative Aktion aller Akteurinnen und Akteure auf der Nachfrageseite notwendig, um das Ziel, die Wasserressourcen in quantitativer und qualitativer Hinsicht zu erhalten und mittelfristig ihren Zustand zu verbessern, erreichen zu können.

### **3.1. Grundwassermengenbewirtschaftung**

Die Herausforderungen an die Grundwassermengenbewirtschaftung in Österreich für die nächsten 20 Jahre sind eng an mehrere der oben angeführten Trends und Treiber des 21. Jahrhunderts gekoppelt:

- Aufgrund von Änderungen der Kulturführung in der Landwirtschaft und der schlechteren Verfügbarkeit von Bodenwasser – beides Effekte des Klimawandels (indirekte Landnutzungsänderungen, länger andauernde Trockenperioden) – wird sich die Nutzungskonkurrenz zwischen Trinkwasserversorgung und landwirtschaftlicher Bewässerung deutlich verstärken.
- Der Wasserbedarf für die öffentliche Trinkwasserversorgung wird ansteigen, da einerseits die Anschlussdichte zunehmen und andererseits der Wasserbedarf im urbanen und suburbanen Bereich deutlich größer werden wird. Wasserversorgungsanlagen im Nahbereich der Siedlungsräume geraten zunehmend aufgrund der qualitativen Gefährdungspotenziale aus Gewerbe und Industrie sowie durch Änderungen der Grundwasserneubildung (Verbauung, Infrastruktur etc.) unter Druck. Gleichzeitig wird die Neuerrichtung bzw. Ausweitung von Gewinnungsanlagen in den ländlichen Bereichen aufgrund der Eigentümerstruktur (Zunahme der Betriebsgrößen) und der abnehmenden Verbundenheit zwischen Wasserversorger und Wassernutzer immer schwieriger.

- Das Ausweichen von Gewinnungsstandorten in weniger intensiv genutzte Bereiche (v. a. Auegebiete) führt zu einer potenziellen Nutzungskonkurrenz zwischen Wasserentnahme und ökologischem Wasserbedarf.
- Von besonderer Bedeutung für die Verteilung des Wassers an die Bevölkerung werden in den nächsten Jahren und Jahrzehnten die Reinvestitionskosten für die Wasserversorgungsnetze sein. Neunteufel et al. (2012) ermitteln bereits für die Zeit bis 2021 für Österreich einen Neuinvestitionsbedarf von € 1,2 Mrd. sowie einen Reinvestitionsbedarf von € 4,2 Mrd. Gemeinsam mit den dazugehörigen Hausanschluss- und Hydranten-Erneuerungen beträgt der Anteil der Rohrnetzrehabilitation ca. 86 % der gesamten Rehabilitationskosten. Auf Umfragen basierende geplante Reinvestitionen im Bereich der Wasserversorgung von rund 1 % pro Jahr sind jedenfalls zu gering, weil nicht erwartet werden kann, dass alle Anlagen im Durchschnitt 100 Jahre betrieben werden können (Neunteufel et al., 2012).

### 3.2. Grundwasserqualität

Bereits die Auswertungen zum Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 zeigten, dass flächige Belastungen des Grundwassers vor allem auf diffuse Schadstoffquellen zurückzuführen sind (BMLFUW, 2010). Bei den diffusen stofflichen Belastungen stehen Nährstoff- und Pestizideinträge in der Landwirtschaft im Vordergrund. Die Abschätzung beruht hauptsächlich auf der Berechnung der Stickstoffbilanz je Grundwasserkörper anhand von INVEKOS-Daten, EMEP (2009) und Auswertungen der Statistik Austria sowie der Evaluierung von Pflanzenschutzmitteln im Hinblick auf deren Grundwasser-Gefährdungspotenzial („GeoPEARL Austria“) (Fenz, 2014). Die Ursachen für die diffusen Belastungen liegen überwiegend in der landwirtschaftlichen Bodennutzung.

Überwiegende Ursache für erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind Stickstoffüberschüsse aus der landwirtschaftlichen Düngung. Die Ergebnisse der Stickstoffbilanz zeigen grundsätzlich die höchsten Überschüsse in Regionen mit hohem Viehbesatz in der Steiermark (Leibnitzer Feld, Unteres Murtal), im oberösterreichischen Zentralraum und in einzelnen Tälern in Tirol und Salzburg. Für die tatsächliche Belastung des Grundwassers gibt ein hoher Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche (vor allem Ackerflächen) im Grundwasserkörper gepaart mit geringen Niederschlagsmengen den größten Ausschlag (Loishandl-Weisz et al., 2013).

Als Beispiel für die Problematik der Stickstoffdüngerüberschüsse und der daraus resultierenden Grundwasserbelastung wird in der Folge etwas detaillierter auf den Grundwasserkörper Leibnitzer Feld eingegangen. Das Umweltbundesamt ermittelt für das Leibnitzer Feld als Durchschnitt für die Jahre 2009 bis 2012 in seiner Bilanzierung nach der Bruttomethode der OECD (OECD, 2007) einen Stickstoffüberschuss von 101,4 kg N/ha/a (Loishandl-Weisz et al., 2013), wobei der Berechnung eine Düngerbemessung nach Ertragslage „hoch“ nach den Richtlinien für Sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006), ein Wirtschaftsdüngeranfall von 90,4 kg N/GVE/a (generell für ganz Österreich gleich angenommen), eine fixe Hintergrundbelastung aus der N-Deposition sowie eine vollständige Rückführung der Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste angesetzt wurde.

Für das Jahr 2010 wurde diese Bilanz für den Grundwasserkörper „Leibnitzer Feld“ nachgerechnet und der Bruttobilanzüberschuss von 113 kg N/ha auf Basis eigener Datenerhebungen auf

einen Nettobilanzüberschuss von 63 kg N/ha rückgerechnet. Eine Korrektur dieser Berechnungen durch die Einbeziehung von Messdaten über den Stickstoffgehalt im Erntegut sowie im Wirtschaftsdüngeranfall führt bei Annahme der Düngung nach Ertragslage „hoch“ nach den Richtlinien für Sachgerechte Düngung zu einem Bruttobilanzüberschuss von 84 kg N/ha und zu einem Stickstoff-Nettobilanzüberschuss von 51 kg N/ha. Nach der Formel

$$C \text{ NO}_3 \text{ [mg/l]} = \text{N-Bilanzüberschuss [kg/ha]} / \text{Grundwasserneubildung [mm]} * 443$$

errechnet sich unter Einsetzen einer gut abgesicherten Grundwasserneubildungsrate von 300 mm für das Jahr 2010 eine Nitrataustragskonzentration des Neubildungswassers aus infiltrierenden Niederschlägen von 124 mg/l für den Bruttobilanzüberschuss. Vernachlässigt man die Rückführung der Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste, so errechnet sich eine Nitratkonzentration im Sickerwasser von 75 mg/l. Gemessene niedrigere Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind auf Verdünnungseffekte aus der Neubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Flächen sowie auf die Wechselwirkung des Grundwasser mit Oberflächenwasser zurückzuführen. Eine Reduktion der Düngemengen auf Ertragslage „mittel“ nach den Richtlinien für Sachgerechte Düngung, wie sie auch nach den Bodenverhältnissen für überwiegende Teile angebracht wäre – und für die Ertragssituation keine bis kaum merkbare Einbußen bringt – würde zu einer Abminderung der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf 82 mg/l nach der Brutto-Bilanzierung und auf 34 mg/l auf Basis des Netto-Bilanzüberschusses führen. Letztere Berechnungsergebnisse stehen auch in einem sehr guten Einklang mit den Messungen am Versuchsfeld in Wagna (Klammler & Fank, 2014).

Das Nitratproblem im Grundwasser – v. a. in Ackerbaugebieten Ostösterreichs – wird auch in den nächsten Jahrzehnten ein zentrales Problem der Grundwasserbewirtschaftung darstellen. Eine Bewertung der Auswirkung landwirtschaftlicher Düngung – der wesentlichste Einflussfaktor – auf die Grundwasserqualität hat jedenfalls unter Berücksichtigung der lokalen bis regionalen Kenngrößen (meteorologische Parameter, Ernteerträge, standortangepasste Düngenniveaus, Stickstoffgehalte in Düngemitteln [v. a. Wirtschaftsdünger] und Ernteentzügen etc.) zu erfolgen. Für die Bewertung der Auswirkung auf das Grundwasser, das die unterschiedlichen Ertrags- und Verdünnungsfaktoren subsumiert, sind Messungen alleine keinesfalls zielführend, sondern müssen durch gekoppelte numerische Modellierungen auf der Aquiferskala ergänzt werden, die die Auswirkung unterschiedlicher Landnutzungssysteme, die Variabilität der Wasserhaushaltsgrößen und die Wechselwirkung des Grundwassers mit den Oberflächengewässern berücksichtigen. Dabei spielen instationäre Prozesse immer eine entscheidende Rolle. Ein derartiges Modell wurde für das hydraulisch begrenzte Gebiet des westlichen Leibnitzer Feldes in Klammler et al. (2013) vorgestellt.

Aufgrund der schon lange andauernden Forschungsarbeiten zur Nitratproblematik liegen heute umfassende fachliche Erkenntnisse vor, die bei ihrer Umsetzung zu einer Lösung des Nitratproblems führen könnten. Allerdings ist aus meiner Sicht auch auf der Zeitskala bis 2035 davon auszugehen, dass notwendige Maßnahmen mit unterschiedlichster Argumentation verzögert oder umgangen werden. Der Versuch, das Nitratproblem im Grundwasser „politisch“ zu lösen (z. B. Verlegung von Versorgungseinrichtungen) kann zwar kurzfristig positiv für die Wasserversorgung gesehen werden, löst aber nicht die damit verbundenen ökologischen Fragen.

Regional bzw. lokal beschränkt kommt es auch zu Grundwasserbelastungen durch Pflanzenschutzmittel (z. B. Atrazin, Bentazon), insbesondere aber durch deren Abbauprodukte (Metaboliten), welche in der Regel deutlich häufiger gefunden werden als die entsprechenden Wirkstoffe selbst (Fenz et al., 2014). In der von Loishandl-Weisz et al. (2010) durchgeführten Studie wurden bei 92 österreichischen Messstellen (ca. 46 %) von 201 untersuchten Messstellen zumindest für einen der 121 gemessenen Parameter eine Überschreitung des Schwellenwerts bzw. des Aktionswerts nachgewiesen. An 33 Messstellen wurden Mehrfachüberschreitungen gemessen. Die Grundwasserbelastungen in den Bundesländern sind teilweise sehr unterschiedlich und korrelieren mit der landwirtschaftlichen Nutzung.

Die Diskussion über den Umgang mit dem Problemfeld „Metaboliten“ ist in der Wasserwirtschaft / Trinkwasserwirtschaft nach wie vor im Gang. Insbesondere die klare und verständliche Kommunikation mit TrinkwasserkonsumentInnen über den grundsätzlichen analytischen Nachweis, die Gesundheitsrelevanz spezifischer Stoffe und das daraus folgende Restrisiko wird dabei immer schwieriger.

Die Frage der Pestizidbelastung des Grundwassers wird zukünftig zunehmend an Bedeutung gewinnen – getrieben von den Erfordernissen der Trinkwasserversorger und in Konflikt mit einer immer stärker industriell orientierten Landwirtschaft und der chemischen Industrie. Besondere Bedeutung wird dabei die Trennung zwischen der Aufbringung der Mittel und der daraus resultierenden Belastungssituation im Grundwasser gewinnen. Ähnlich wie bei der Nitratbelastung werden auch in der Frage der Pestizidbelastung Lösungsansätze nur dann entwickelt werden können, wenn das Gesamtsystem landwirtschaftliche Nutzung – Pflanze – Boden – ungesättigte Zone – Grundwasser Berücksichtigung findet. Auch wird verstärkt das Werkzeug der numerischen Modellierung eingesetzt werden müssen. Besondere Bedeutung wird auf eine stärkere Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten von Klima, Wetter, Pflanze und Boden im Zulassungsverfahren zu legen sein, um zukünftig auch rechtlich klar im Sinne der Verursacherverantwortung auf aufgetretene Schadensfälle im Wasserversorgungsbereich reagieren zu können.

Erst in der jüngeren Vergangenheit wurde durch Fortschritte in der Wasseranalytik eine Bestimmung der Belastung von Gewässern durch anthropogene Spurenstoffe und Mikroschadstoffe ermöglicht. Erst seit etwa 10 Jahren ist es möglich, Konzentrationen von wenigen Nanogramm, also wenigen Milliardstel Gramm, nachzuweisen. Durch diesen technischen Fortschritt wird die Wasserqualität zunehmend anhand neuer Schadstoffe bewertet, deren Existenz im Wasserkreislauf bereits seit Längerem vermutet wurde, die jedoch bislang nicht bzw. nur unzureichend gemessen werden konnten.

Die Eintragsquellen für diese Stoffe in das Grundwasser sind einerseits punktuell bis linear entlang von Oberflächengewässern in Wechselwirkung mit dem Grundwasser nach Kläranlagen mit unzureichender Reinigungsleistung (für diese kritischen Stoffe) und andererseits diffus über den Austrag der Stoffe mit dem Wirtschaftsdünger. Die Herkunft der Stoffe resultiert aus deren Anwendung im Humanbereich (Humanmedikamente, Kosmetika, Reinigungsmittel etc.) sowie im veterinärmedizinischen Bereich.

Bei der Bewertung der Wasserqualität im Bereich der Mikroschadstoffe sind jedoch drei grundlegend einschränkende Rahmenbedingungen zu beachten:

- Einige Mikroschadstoffe zerfallen oder reagieren im natürlichen Wasserkreislauf oder in der Kläranlage und bilden sogenannte Metabolite, die teilweise sogar persistenter als die Ausgangsstoffe sein können.
- Durch neue Analysemethoden ist feststellbar, dass Stoffe – Ausgangsstoffe und ihre Metabolite – in geringen Konzentrationen vorliegen, jedoch ist teilweise nicht feststellbar, um welche Stoffe es sich handelt.
- Für eine Vielzahl von Stoffen, die in geringen Konzentrationen im Wasserkreislauf nachgewiesen werden konnten, sind keine ausreichenden Informationen über ihre (langfristigen) Auswirkungen im menschlichen Körper, der aquatischen Umwelt oder in anderen Lebewesen in diesen Konzentrationsbereichen verfügbar (Schäfer et al., 2011).

In einer Übersicht über mögliche neue Umweltproblemstoffe im Wasserbereich differenzierte die OECD (2012) in der Gruppe der Mikroschadstoffe nach Rückständen von Arzneimitteln, Kosmetikprodukten, Reinigungsmitteln und Bioziden, die in der Regel persistent sind und sich durch die regulären Aufbereitungsmechanismen nicht hinreichend beseitigen lassen. Der Umweltwirtschaftsbericht des BMU/UBA (2011) ergänzte die Liste um Hormone, Körperpflegemittel und Nanomaterialien.

Für die Grundwasserbewirtschaftung stehen hier drei wesentliche Ansatzpunkte im Vordergrund:

- Identifikation, Monitoring, Modellierung und Bewertung der Auswirkung anthropogener Spurenstoffe und von Mikroschadstoffen auf das Grundwasser und aquatische Ökosysteme. Ein wesentlicher Ansatzpunkt muss dabei die Entwicklung von Konzepten zur Bewertung der Risiken sein.
- Untersuchung des Abbauverhaltens von Spurenstoffen im Boden, im Grundwasser und in der Interaktion Grundwasser – Oberflächenwasser unter Berücksichtigung regionaler Spezifika.
- Entwicklung von Strategien und Technologien zur Entfernung von anthropogenen Spurenstoffen und Mikroschadstoffen durch deren Vermeidung, bei der Abwasserreinigung und ihrer Entfernung im Bereich der Trinkwasserversorgung.

#### **4. Nutzungsoptionen für das Grundwasser**

Auf Basis der bisher diskutierten Herausforderungen für die Grundwasserwirtschaft und der Bedeutung des Wassers als wichtigstes Lebensmittel für den Menschen wird es notwendig sein, die Nutzungsoptionen für das Grundwasser zu definieren und entsprechend zu gewichten:

- Konsequente Sicherung der lokalen und regionalen Grundwasserressourcen für die Trinkwassergewinnung sowohl für die Einzelwasserversorgung als auch für die kommunale, regionale und überregionale Wasserversorgung.
- Ausbau der überregionalen Netzwerke zur Sicherung der Wasserversorgung zu Zeiten hydrologischer Extreme bzw. im Falle von qualitativen Beeinträchtigungen.
- Die landwirtschaftliche Bewässerung wird zunehmend von steigender Bedeutung für die Nutzung des Grundwassers sein. Hier ist in klaren Regulativen der Trinkwasserversorgung der Vorzug zu geben, bzw. sind Managementsysteme zu entwickeln, die die Nutzung des Wassers für beide Verwendungszwecke ermöglichen.

- Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten von Tunnelwässern für unterschiedliche Zwecke (Trinkwasser, Brauchwasser, Bewässerung, Energiegewinnung etc.). Dabei ist schon bei der Errichtung der Tunnel und der begleitenden Infrastruktur auf künftige Nutzungsmöglichkeiten Rücksicht zu nehmen
- Untersuchung der optimierten Nutzung des Energiegehaltes des Grundwassers zum Heizen und Kühlen. Eventuell können dabei auch Synergien genutzt werden, die zum einen der Wasserversorgung und zum anderen der Energiegewinnung dienen können.

## **5. Tools zum Grundwasserressourcenmanagement und zur Entscheidungsfindung**

Das Management der Grundwasserressourcen basiert heute in Österreich in erster Linie auf Basis eines gut ausgebauten Monitoringnetzwerkes, in dem die räumliche Variabilität und die zeitliche Entwicklung der Grundwassermenge und der Grundwasserqualität umfassend erfasst wird. Die Entscheidungsfindung basiert auf der Auswertung der Monitoringdaten, der Anwendung von darauf aufbauenden statistischen Modellen und der räumlichen Regionalisierung. Durch die Weiterentwicklung von Online-Sensoren werden sich in den nächsten Jahren entscheidende Schritte zur Verbesserung der daraus zu gewinnenden Datensätze ergeben.

Während dieses Monitoring für quantitative Daten ein sehr gutes Abbild der Variabilität von Quellabflüssen und der regionalen raum-zeitlichen Entwicklung der Spiegellagen ergibt, sind im Qualitätsbereich – v. a. im Porengrundwasser – doch sehr enge Grenzen gesetzt. Hier ist die Möglichkeit der Bewertung der raum-zeitlichen Entwicklung von Qualitätsparametern in Abhängigkeit von Eintragsquellen und Konzentrationen im Grundwasser nur sehr eingeschränkt möglich.

Der verstärkte Einsatz der numerischen Modellierung auf der Aquiferskala bietet hier einen intensiver zu nutzenden Ansatz. Ein numerisches Modell, das die Prozesse von der Atmosphäre über die Pflanze, den Boden und im Grundwasser ebenso berücksichtigt wie die Wechselwirkung des Grundwassersystems mit den Oberflächengewässersystemen, inkludiert die systemischen Wechselwirkungen und die Instationarität der dominanten Parameter. Derartige Modelle können aber nur so gut sein, wie die Monitoringdaten, die der Kalibration zugrunde liegen. Liegt ein gut kalibriertes Modell vor, kann dieses in einem iterativen Prozess für die Optimierung der Monitoringnetze hinsichtlich ihrer regionalen Verteilung sowie der erforderlichen Häufigkeit der Messungen genutzt werden. Durch die Anwendung der numerischen Modelle können Fragen menschlicher Eingriffe in das Grundwassersystem oder in das Wassergewinnungssystem ebenso wie Fragen der Auswirkung von zu erwartenden natürlichen Veränderungen (z. B. Klimawandel) vor deren Realisierung bzw. vor deren Eintreten untersucht und hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet werden.

Die Entwicklungsthemen im Bereich der instationären numerischen Simulation auf der Aquiferskala liegen in den folgenden Schwerpunkten:

- Weiterentwicklung der numerischen Modellierung des Wasser- und Stofftransportes (Direktkopplung der Modellierung von Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten und in der gesättigten Zone; 3D-Modellierung von Grundwasserströmung und Stoff-

transport; numerische Modellierung von Wasserhaushalt und Wasserqualität auf Einzugsgebietsebene).

- Numerische Modellierung des Wärmetransportes im Grundwasser und in seichtliegenden geothermischen Systemen.
- Kopplung der Grundwassermodellierung mit der hydrogeochemischen Modellierung.
- Modellierung unterschiedlicher Stoffkreisläufe (Kohlenstoff und davon abhängige Nährstoffkreisläufe) im Boden und in der ungesättigten Zone.
- Reaktiver Stofftransport (Pestizide, organische Spurenstoffe etc.) in Boden und ungesättigter Zone und Kopplung mit den Transportprozessen im Grundwasser.

Derartige Modelle können die Basis für die Lösung von Nutzungskonflikten in der Grundwasserbewirtschaftung darstellen (z. B. Landwirtschaft – Wassergewinnung oder Energiegewinnung – Wassergewinnung). Für den Bereich der Wasserversorgung können derartige numerische Grundwasserströmungs- und –transportmodelle – gegebenenfalls in Kopplung mit hydraulischen und/oder ökonomischen Modellen – zu Steuerungs- und Optimierungssystemen für die Trinkwassergewinnung und -verteilung werden.

In weiterer Folge können derartige numerische Modelle über die Möglichkeit der Szenariosimulation auch die Basis für die Entscheidungsfindung sein. Dazu sind aber jedenfalls die komplexen Zusammenhänge in den Modellen durch entsprechende Visualisierungstechniken und durch vereinfachende Zusammenfassung der Ergebnisse für den Entscheidungsträger aufzubereiten und schlussendlich zu „Decision Support Tools“ zusammenzuführen.

## 6. Zusammenfassung

Durch die Wirkung der Megatrends und Treiber des 21. Jahrhunderts, eine global weiter wachsende Bevölkerung und den damit steigenden Bedarf an Nahrungsmitteln und Energie, werden sich das Wasserdargebot, der Wasserbedarf, die Wasserqualität sowie die Anforderungen an Wasserinfrastrukturen in den kommenden Jahrzehnten teilweise drastisch verändern. Die quantitative Verfügbarkeit und damit die Versorgungssicherheit sowie der Schutz des Grundwassers vor anthropogenen Einflüssen sowie die Reduzierung der Konkurrenz um Wasser zwischen Mensch und Natur durch eine effektivere Verwendung von Wasser sind zentrale Kernthemen der Grundwasserbewirtschaftung.

Die wesentlichen Herausforderungen für die Grundwasserbewirtschaftung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine zunehmende Konkurrenz zwischen der menschlichen Wassernutzung und dem Wasserbedarf der Ökosysteme als Bedrohung für die Funktionsfähigkeit der Umwelt.
- Informations- und Wissensdefizite über die mit menschlichen Aktivitäten verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt, auch im Hinblick auf den nicht mehr wegzudiskutierenden Klimawandel.
- Bedarf an Maßnahmen zum Erhalt und Schutz des lokal und regional verfügbaren Wasserangebots.
- Finanzielle, technologische und ökologische Herausforderungen, die aus der Problematik der bedarfsgerechten Modernisierung und Sanierung der bestehenden Wasserinfrastruktur entspringen.

Hinsichtlich der Grundwassermengenbewirtschaftung zeigen sich folgende relevante Herausforderungen:

- Verstärkung der Nutzungskonkurrenz zwischen Trinkwasserversorgung und landwirtschaftlicher Bewässerung.
- Anstieg des Wasserbedarfs für die öffentliche Trinkwasserversorgung, durch Zunahme der Anschlussdichte und des Wasserbedarfs im urbanen und suburbanen Raum.
- Entwicklung einer potenziellen Nutzungskonkurrenz zwischen Wasserentnahme und ökologischem Wasserbedarf.
- Reinvestitionskosten für die Wasserversorgungsnetze.

Hinsichtlich der Grundwasserqualität zeigen sich vier große Problemfelder:

- Nitratkonzentration im Grundwasser als Folge der Stickstoffbilanzüberschüsse aus der Landwirtschaft.
- Belastung des Grundwassers durch Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten als Folge der Intensivierung der Landwirtschaft.
- Anthropogene Spurenstoffe und Mikroschadstoffe im Grund- und Trinkwasser.
- Wärmebelastung des Grundwassers durch den Klimawandel und die verstärkte Nutzung zur Energiegewinnung (Heiz- und v. a. Kühlzwecke).

Aufgrund der Bedeutung des Grundwassers für die Trinkwasserversorgung als Lebensnotwendigkeit werden Nutzungsoptionen für das Grundwasser zu definieren sein, die eine konsequente Sicherung der lokalen und regionalen Grundwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung in den Vordergrund rücken.

Zum Management der Grundwasserressourcen sind neue Entwicklungen im Bereich des Monitorings und des Auf- bzw. Umbaus der Monitoringnetzwerke zu initiieren. Die Nutzung der Ergebnisse des Monitorings für die Entwicklung von Grundwasserströmungs- und Stoff- und Wärmetransportmodellen kann neue Tools zur Lösung von Nutzungskonflikten, zur Optimierung und Steuerung der Wasserversorgung und schlussendlich zur Entscheidungsfindung generieren.

## 7. Referenzen

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2012): GreenTech made in Germany 3.0 – Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland.

BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft.– 6. Aufl., Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

BMLFUW (2010): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

BMU/UBA (Hg.) (2011): Umweltwirtschaftsbericht 2011. Daten und Fakten für Deutschland. Berlin/Desau-Roßlau

Cosgrove C.E & W. J. Cosgrove (2012): The Dynamics of Global Water Futures. Driving Forces 2011-2050. Report on the finding of Phase one of the UNESCO-WWAP Water Scenarios Project to 2050. <http://>

[www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/The%20Dynamics%20of%20Global%20Water%20Futures.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/The%20Dynamics%20of%20Global%20Water%20Futures.pdf) (31.01.2015)

- EMEG (2009): European Monitoring and Evaluation Programme (2009): Status Report 1/09. Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2007. Joint MSC-W & CCC & CEIP Report
- Fenz, R. [Gesamtkoordination] (2014): EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG – Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Fenz, R., V. Koller-Kreiml, H. Mühlmann, G. Ofenböck & P. Schenker (2014): Die Zukunft unserer Gewässer – Wichtige Wasserbewirtschaftungsfragen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Hillenbrand, T., H. Hiessl, S. Klug, B. von Lüninck, J. Niederste-Hillenber, C. Sartorius & R. Walz (2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Büro für Technologiefolgen Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht Nr. 158.
- INVEKOS DATEN – Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem: Daten 2009–2012. Bundesanstalt für Agrarwirtschaft. Wien
- Klammler G., H. Kupfersberger, G. Rock & J. Fank (2013): Modeling coupled unsaturated and saturated nitrate distribution of the aquifer Westliches Leibnitzer Feld, Austria. – Environ. Earth Sci.; doi: 10.1007/s12665-013-2302-6
- Klammler G. & J. Fank (2014): Determining water and nitrogen balances for beneficial management practices using lysimeters at Wagna test site (Austria). Science of the Total Environment 499 (2014) 448–462.
- Loishandl-Weisz, H., M. Uhl, S. Weiß, I. Offenthaler, G. Hochedlinger, I. Zieritz, I. Gattringer, C. Schartner, O. Gans, H. Lindinger, E. Fassold, & M. Haider (2010): GZÜV-Sondermessprogramm Pestizide und Metaboliten - Endbericht. Wien: BMLFUW, Umweltbundesamt. <http://www.lebensministerium.at/wasser/wasserqualitaet/SMP2010Pestizide.html> (01.02.2015).
- Loishandl-Weisz, H., G. Zethner, U. Wemhöner, I. Zieritz & J. Grath (2013): Stickstoffbilanzen – Berechnung auf GWK-Ebene. Umweltbundesamt, Wien.
- Neunteufel, R., T. Ertl, A. Spindler, A. Lukas, R. Perfler, D. Schwarz, M. Zessner & R. Haberl (2012): Technische Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII Wasser, Wien.
- OECD (2007): OECD and EUROSTAT Gross Nitrogen Balance Handbook [online]. Paris: Organization for economic Co-operation and Development, 2007. [www.oecd.org/tad/env/indicators](http://www.oecd.org/tad/env/indicators) (12.11.2013)
- OECD (2012): OECD Umweltausblick bis 2050. Die Konsequenzen des Nichthandelns. Berlin.
- Schäfer, R.B., P. C. Ohe, R. von der Kühne, G. Schürmann, M. Liess (2011): Occurrence and Toxicity of 331 Organic Pollutants in Large Rivers of North Germany over a Decade (1994 to 2004). In: *Environmental Science and Technology* 45(14), S.6167–6174
- UNEP (2012): GEO 5. Global Environmental Outlook. Environment for the future we want. [www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5\\_report\\_full\\_en.pdf](http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_report_full_en.pdf) (31.01.2015)

**Dir. Univ.-Doz. Dr. Johann Fank**

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH  
Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit  
8010 Graz, Elisabethstraße 18/II  
johann.fank@joanneum.at



# Wasserqualität und Gesundheit: zukünftige Herausforderungen?

*Andreas H. FARNLEITNER, Technische Universität Wien / ICC Water & Health*

*Regina SOMMER, Medizinische Universität Wien / ICC Water & Health*

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst die Bedeutung der Wasserqualität für die menschliche Gesundheit umrissen und daran anschließend werden treibende Faktoren möglicher zukünftiger Veränderungen im Bereich Wasser und Gesundheit diskutiert. Eine umfassende Betrachtung möglicher Veränderungen hat die neuen analytischen Möglichkeiten der chemischen und mikrobiologischen Analytik, deren Bewertung, der Weiterentwicklung der Definition von Qualitätszielen sowie die neuen technischen Möglichkeiten des zukünftigen Managements der Wasserqualität („Smart Technologies“) zu beinhalten. Darüber hinaus sind mögliche Veränderungen aufgrund des globalen Wandels zu berücksichtigen. Das Konzept der Weltgesundheitsbehörde (WHO) zur Gewährleistung der Sicherheit der Wasserqualität im 21. Jahrhundert wird vorgestellt und deren mögliche zukünftige Relevanz im nationalen Kontext diskutiert. Besondere Herausforderungen lassen sich dabei einerseits bei der Definition von Qualitätszielen (Risikominimierung, Risikoabschätzung und Synthese) sowie andererseits beim Management der Wasserqualität identifizieren. Diese werden anhand der mikrobiologischen Qualität von Trinkwasser exemplarisch erläutert. Neben den technisch-wissenschaftlichen Problemstellungen im Bereich Wasserqualität und Gesundheit müssen sich die wissenschaftlichen Institutionen wie auch die relevanten wasserwirtschaftlichen Vereinigungen im Hinblick auf ihre Zusammenarbeit den neuen Herausforderungen stellen. Das neu gegründete Interuniversitäre Kooperationszentrum für Wasser und Gesundheit (ICC Water & Health) wird als Beispiel der Intensivierung interdisziplinärer Zusammenarbeit im Bereich Wasserqualität und Gesundheit kurz vorgestellt.

## 1. Bedeutung der Wasserqualität für die menschliche Gesundheit

Verfügbarkeit von Wasser ist eine der grundlegendsten Voraussetzungen für die Existenz von Mensch und Natur. Anspruch auf Wasser in ausreichender Quantität und Qualität wurde im Rahmen der Millennium Development Goals als ein Grundrecht des Menschen verankert. Dem Schutz von Wasserressourcen und aquatischen Lebensräumen wird daher große Bedeutung beigemessen (EUROPÄISCHE WASSERRAHMENRICHTLINIE 2000/60/EG). Darüber hinaus werden Landschaftsregionen mit Wasser- und Gewässervorkommen hoher Qualität intensiv beworben und als Inbegriff guter Lebensqualität verstanden.

Aus nutzungsrelevanter Sicht können verschiedene Verwendungsformen von Wasser und Gewässern unterschieden werden (Wasser für den menschlichen Gebrauch, zur Bewässerung, zur technischen Beschneidung, für Freizeit und Baden etc.). Der jeweilige Qualitätsanspruch steht dabei im Zusammenhang mit Art und Ausmaß der zu erwartenden Exposition (Stalder et al. 2011). Für Trinkwasser gelten naturgegebenmaßen die höchsten Qualitätsansprüche (ÖSTERREICHISCHES LEBENSMITTELBUCH, [www.lebensmittelbuch.at](http://www.lebensmittelbuch.at)). Die Mindestanforderungen sind in gesetzlichen Vorgaben und Normen geregelt. Qualitätsdefizite sind durch Managementmaßnahmen (z. B. Schutzmaßnahmen im Einzugsgebiet einer Trinkwasserressource oder eines Badegewässers) und/oder durch Aufbereitungsmaßnahmen (z. B. Aufbereitung/Desin-

fektion von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung) auszugleichen (Stalder et al. 2011). Bei der nutzungsbezogenen Bewertung von Wasser kommt – neben toxikologischen, technischen und ästhetischen Gesichtspunkten – der mikrobiologischen Qualitätskomponente eine wesentliche Bedeutung zu. Die große Bedeutung der mikrobiologischen Wasserqualität liegt vor allem darin begründet, dass Wasser als hervorragendes Übertragungsmedium für fäkal-oral-assoziierte Krankheitserreger dienen kann. Historische wie auch rezente wasserbedingte Explosivepidemien belegen eindrucksvoll die hohe Bedeutung dieses speziellen Übertragungsmodus (Hrudey and Hrudey 2004).

## 2. Treibende Faktoren zukünftiger Veränderungen?

Eine Übersicht über die Vielzahl der möglichen Einflussfaktoren auf die Veränderung im Bereich Wasser und Gesundheit wird in Abb. 1 gegeben. Der Schwerpunkt liegt bei der qualitativen Darstellung; eine Bewertung der Relevanz der einzelnen Faktoren und Themenbereiche wird nicht vorgenommen.



**Abb. 1** Treibende Faktoren und Themenbereiche zukünftiger Veränderungen im Bereich Wasser und Gesundheit (nähere Beschreibung dazu siehe Text) (© A. Farnleitner)

Zukünftige Veränderungen der Qualität von Wasserressourcen können durch Prozesse des globalen Wandels verursacht werden. Dabei ist nicht nur an mögliche Qualitätsänderungen durch den vielzitierten Klimawandel zu denken, sondern es sind auch mögliche Veränderungen aufgrund der voranschreitenden Urbanisierung, des Bevölkerungswachstums und des Ressourcenstresses in die Betrachtung mit einzubeziehen. Veränderungen durch diese Faktoren sind vor allem im globalen Kontext zu sehen. Es sollte angemerkt werden, dass, je nach betrachteter Situation, die angenommene Zunahme der Wassertemperatur positive wie auch negative Auswirkungen auf die Qualität der Wasserressource besitzen kann. So ist beispielsweise bei Zunahme der Wassertemperatur damit zu rechnen, dass gesundheitsrelevante Mikroorganismen und Krankheitserreger, die aus fäkalen Kontaminationsquellen stammen, in Wasserressourcen rascher absterben werden. Andererseits kann die Zunahme der Wassertemperatur die Vermehrung der wassereigenen Mikroflora fördern und somit die Biostabilität von Wasser bei

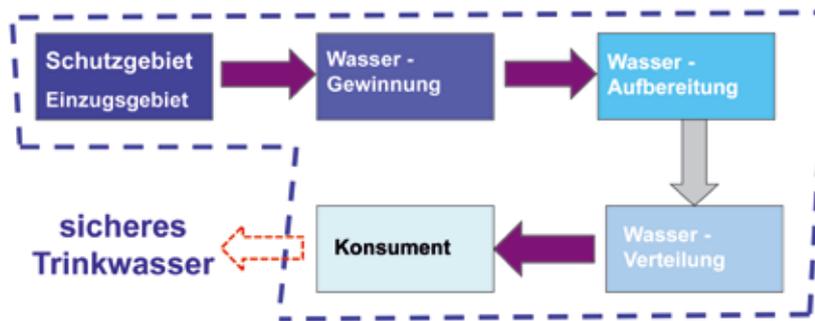
Verteilungsvorgängen, wie etwa bei der Wasserversorgung, reduzieren. Gemäß einer kürzlich durchgeführten Klimastudie zur österreichischen Wasserwirtschaft ergab die Trendanalyse für österreichische Flüsse für den Zeitraum 1976 – 2007 im Vergleich mit dem Zeitraum 2021 – 2050 eine erwartete Zunahme von lediglich 1 °C (Schöner et al. 2011).

Zukünftige Veränderungen sind auch im Bereich der Analyse und der Bewertung der Wasserqualität zu diskutieren (Abb. 1). Die technischen Möglichkeiten der chemischen Analytik als auch der mikrobiologischen Diagnostik sind während der letzten Jahrzehnte enorm gestiegen (Fent 2003). Ein Ende dieser Entwicklungen ist derzeit nicht in Sicht. Heutzutage ist es möglich, eine Vielzahl an chemischen Substanzen schnell und einfach im Spurenbereich in einer Wasserprobe nachzuweisen. Neue Nachweismethoden erlauben darüber hinaus eine zunehmend differenziertere Analyse von mikrobiologischen Qualitätsindikatoren und gesundheitsrelevanten Mikroorganismen (z. B. Direktnachweis von Krankheitserregern oder genetischen Fäkalmarkern). Diese Entwicklungen stellen eine zusätzliche Anforderung an die Bewertung der Wasserqualität und deren zukünftigen Weiterentwicklung von Qualitätsrichtlinien und gesetzlichen Vorgaben dar. Als aktuelles Beispiel sei die derzeitige Diskussion um die Problematik von Spurenstoffen und nicht geregelten Fremdstoffen in Wasserressourcen genannt (Bundesministerium 2014). Auch die Definition von Qualitätszielen selbst, wie etwa für Trinkwasser, Badewasser oder Bewässerungswasser, ist einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen (siehe auch Risikoabschätzung vs. Risikominimierung, weiter unten im Text).

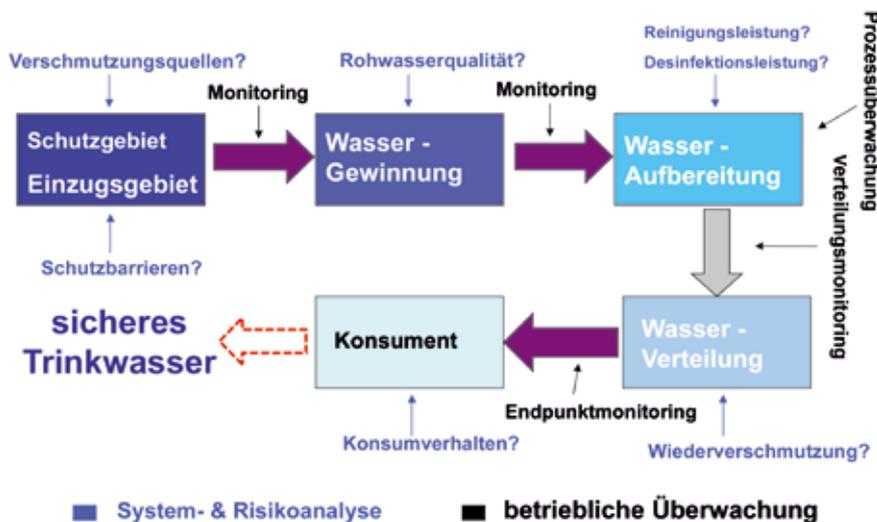
Darüber hinaus sind zukünftige Veränderungen im Bereich des Managements der Wasserqualität sehr wahrscheinlich. Diese beinhalten das weite Feld des Ressourcenschutzes, der Qualitätsüberwachung, der optimierten Wassergewinnung sowie der Weiterentwicklungen bei Wasseraufbereitung und Desinfektion (Abb. 1).

### **3. Sicheres Wasser im 21. Jahrhundert?**

Um den Qualitätsanforderungen von Wasser im Zuge des globalen Wandels und der sich verändernden Rahmenbedingungen auch im 21. Jahrhundert gerecht zu werden, hat die Weltgesundheitsbehörde (WHO) in ihren facheinschlägigen Richtlinien für Trinkwasser, Badewasser sowie die Wasserwiederverwendung von Gebrauchtwasser und Abwasser (Schlagwort „Reuse“) um die Jahrtausendwende einen Paradigmenwechsel vollzogen (WHO 2004, 2006, 2003). Zwei charakteristische Merkmale sind bei dieser Strategie zu nennen und werden, wie folgt, exemplarisch für die Wasserversorgung und die mikrobiologische Qualitätskomponente umrissen. Einerseits wird das Qualitätsmanagement entlang der gesamten „Produktionskette Trinkwasser“ konzipiert und umgesetzt („From the Catchment to the Tap“). Dabei sind die Komponenten Schutz des Einzugsgebietes, Wassergewinnung, Wasseraufbereitung, Wasserverteilung sowie der Konsument selbst in das Qualitätsmanagement einzubeziehen (Abb. 2a). Dem Schutz der Ressource ist oberste Priorität zu schenken. Andererseits werden in der WHO-Richtlinie erstmals gesundheitsbezogene Kriterien im Hinblick auf die mikrobiologische Wasserqualität definiert, die eine Quantifizierung der Sicherheit des Trinkwassers mithilfe der quantitativen mikrobiologischen Risikoabschätzung (QMRA) ermöglichen sollen.



**Abb. 2a** Beispiel sicheres Trinkwasser im 21. Jahrhundert: Management entlang der gesamten „Produktionskette“ sowie unmittelbar gesundheitsbezogene Qualitätsziele (maximal tolerierbare Gesundheitsrisiken) zeichnen das WHO-Konzept aus (© A. Farnleitner)



**Abb. 2b** Beispiel sicheres Trinkwasser im 21. Jahrhundert: notwendige Informationen zur Umsetzung des WHO-Konzeptes, exemplarisch anhand des Managements der mikrobiologischen Wasserqualität dargestellt (© A. Farnleitner)

Dieses von der WHO vorgeschlagene Konzept bietet auf globaler Ebene übergeordnete Rahmenbedingungen für ein nachhaltiges und umfassendes Management der Sicherheit der Wasserqualität in der Zukunft. Die Realisierung auf regionalem Maßstab stellt jedoch eine große Herausforderung an die Wissenschaft und auch Praxis dar. Dem Schutz der Wasservorkommen wird in Österreich traditionell und in rechtlicher Hinsicht große Bedeutung zugemessen. Ein Ressourcenschutz auf der alleinigen Basis des QMRA-Prinzips ist für die nationale Situation kritisch zu hinterfragen (Diskussion siehe weiter unten).

## 4. Zukünftige Herausforderungen an die Definition der Qualitätsziele

### 4.1. Das bewährte Konzept der mikrobiologischen Qualitätsbewertung auf Basis der Risikominimierung

Die traditionelle mikrobiologisch-hygienische Trinkwasseruntersuchung in Österreich basiert auf der Verwendung von sensitiven mikrobiologischen Verschmutzungsindikatoren. Prominente Vertreter stellen bekanntlich die mikrobiologischen Fäkalindikatoren *Escherichia coli*, intestinale Enterokokken und *Clostridium perfringens* dar. Diese Indikatoren dürfen in einem Untersuchungsvolumen von 100 ml (in nativem, nicht desinfiziertem Wasser) bzw. von 250 ml (nach

einer Desinfektion) nicht nachweisbar sein. Das zugrundeliegende Prinzip dieser Anwendung ist das der Risikominimierung. Das bewährte Konzept beruht einerseits auf dem optimalen Schutz des Einzugsgebietes, der adäquaten Wassergewinnung, Aufbereitung und Verteilung sowie andererseits auf dessen Verifizierung durch die Abwesenheit fäkaler Verschmutzungsindikatoren in den genannten Probenvolumina. Bei ordnungsgemäßer Umsetzung dieses Prinzips wird eine optimale Wasserqualität auf Grundlage des Vorsorgeprinzips gewährleistet. Die Ermittlung des „Restrisikos“ (das Risiko kann nicht Null werden!) steht dabei nicht im Zentrum des Verfahrens und es wird davon ausgegangen, dass es vernachlässigbar klein ist (Stalder et al. 2011). Die Stärke des Konzeptes ist die hohe Sensitivität gegenüber der Erkennung von fäkalen Verunreinigungen gekoppelt mit einer Strategie zum nachhaltigen Ressourcenschutz.

#### **4.2. Das neue System der quantitativen mikrobiologischen Risikoabschätzung gemäß WHO**

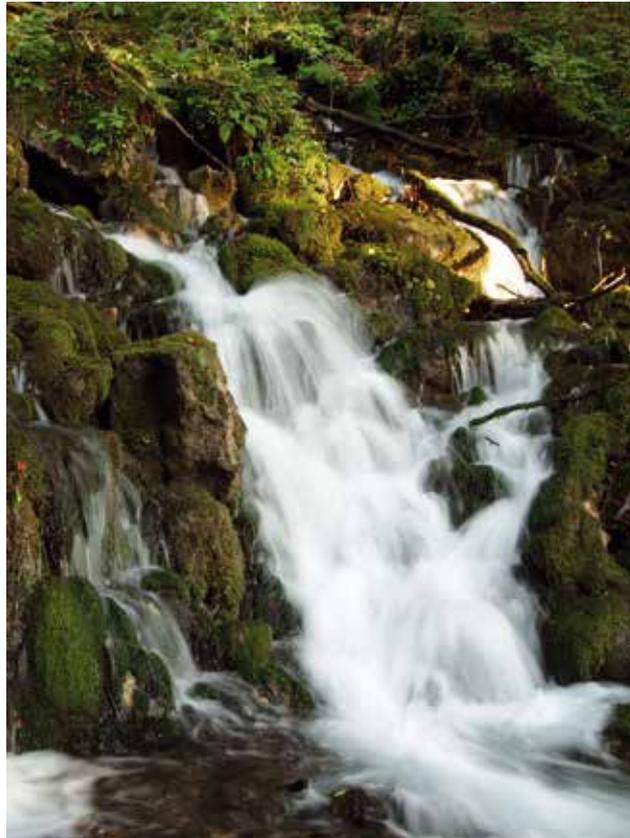
Dem Konzept der quantitativen mikrobiologischen Risikoabschätzung (QMRA) liegt der Wunsch zugrunde, die gesundheitlichen Auswirkungen der mikrobiologischen Wasserqualität „quantifizierbar“ zu machen (Haas et al. 1999). Dieser Vision folgend haben beispielsweise die Niederlande bereits 2001 die QMRA und entsprechende QMRA-basierte Qualitätsziele bei der Trinkwasserversorgung gesetzlich verankert. Ziel ist es, eine mikrobiologische Trinkwasserqualität zu gewährleisten, bei dem eine maximal tolerierbare Infektionsrate von 1 Person pro 10.000 Personen durch den Trinkwasserkonsum über eine Jahresperiode hindurch gegeben ist ( $\leq 10^{-4}$  Infektionen pro Jahr und Person). Die Ermittlung QMRA-basierter Wasserqualitäten ist komplex und ist der unmittelbaren „Messung“ nicht zugänglich. Meist müssen für die Ermittlung zahlreiche Annahmen getroffen werden (die auch meist nicht direkt evaluiert werden können). Die grundlegenden Werkzeuge stellen die mathematische Expositions- sowie Dosis-Wirkungsmodellierung auf Basis von Konzentrationsabschätzungen ausgewählter intestinaler Krankheitserreger, sogenannter Referenzpathogene, dar (Farnleitner et al. 2007, Stalder et al. 2011). Die Stärke des Konzeptes ist die Quantifizierung unmittelbar gesundheitsrelevanter Qualitätsziele, obgleich viele Modellannahmen und Vereinfachungen bestehen.

In Österreich wurde das Prinzip der QMRA erstmals vor rund 10 Jahren zur Festlegung notwendiger „Schutzzone“ etabliert, die bei einer – nur in Ausnahmefällen zugelassenen – Versickerung von gereinigtem Abwasser in das Grundwasser einzuhalten sind (Farnleitner et al. 2004, Farnleitner 2006, Blaschke and Kirnbauer 2007). Eine rigorose Umsetzung dieses Prinzips auf nationaler Ebene wäre derzeit jedoch nicht möglich. Dazu müssten zunächst ausreichend Daten zur Prävalenz und Abundanz von geeigneten Referenzpathogenen in potenziellen fäkalen Verschmutzungsquellen erhoben, geeignete mathematische Modellierungswerkzeuge für die nationale Landschaft entwickelt sowie entsprechende mikrobiologische Messverfahren (inklusive der Anreicherungstechniken) für die ausgewählten Referenzpathogenen etabliert werden. Derzeit sind jedoch bereits Bemühungen im Gange, eine methodisch-wissenschaftliche Basis zur Anwendung dieses Prinzips für einzelne ausgewählte Habitate zu etablieren (Schiejven et al. 2015).

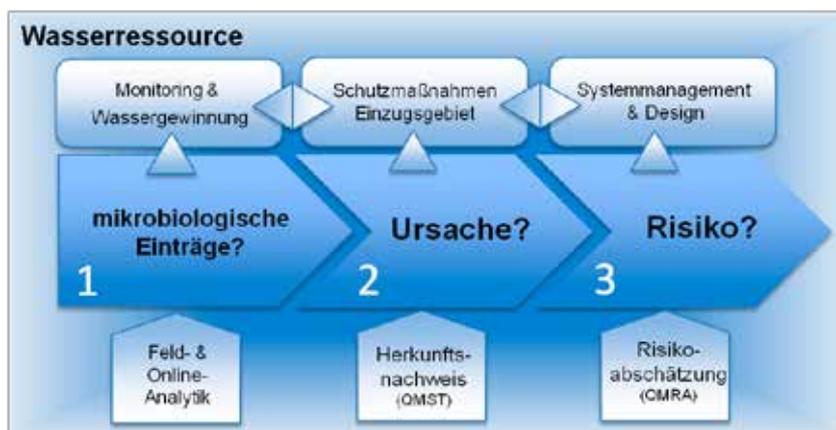
#### **4.3. Ist eine Synthese beider Konzepte möglich?**

Die vorgestellten Konzepte der Risikominimierung und der Risikoabschätzung stellen prinzipiell keinen Widerspruch zueinander dar, sondern es erscheint realistisch, beide Systeme zu

kombinieren. Beispielsweise wurde kürzlich für alpine Karstwasserressourcen der nördlichen Kalkalpen (Abb. 3) das sogenannte 3-Schritt-Verfahren entwickelt (Farnleitner et al. 2014). Diese Methodik verknüpft die Elemente der traditionellen Bestimmung von Fäkalindikatoren (Schritt 1), die Bestimmung der Herkunft fäkaler Einträge Herkunftsbestimmung im Falle einer Kontamination (Schritt 2) sowie darauf aufbauend die mikrobiologische Risikoabschätzung (QMRA) zur Evaluierung und Festlegung allfällig notwendiger Maßnahmen (Schritt 3), wie etwa weitergehende Schutzmaßnahmen und/oder Aufbereitung/Desinfektion (siehe Abb. 4).



**Abb. 3** Qualitätsmanagement alpiner Karstquellwässer: Pro-aktive Analyse- und Monitoringstrategien wurden für diese wichtige Trinkwasserressource Österreichs während der letzten Jahre zukunftsweisend entwickelt (© H. Stadler)



**Abb. 4** 3-Schritt-Verfahren zur Analyse und Management der mikrobiologischen Wasserqualität alpiner Karstquellwässer: Synthese der Prinzipien der Risikominimierung und Risikoabschätzung (Erklärung im Text) (© A. Farnleitner & R. Mach)

Die komplementäre Verbindung beider Systeme und die Nutzung ihrer jeweiligen Stärken stellt für die österreichische Situation eine große Herausforderung an die Zukunft dar. Dabei gilt es nicht nur die oben dargestellten mikrobiologischen Qualitätsziele zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus eine Abstimmung mit den chemischen Qualitätszielen aus toxikologischer Sicht herzustellen.

## **5. Zukünftige Herausforderungen an das Management der Wasserqualität?**

Neben einer zeitgemäßen Definition der chemischen/mikrobiologischen Qualitätsziele von Wasser (siehe Punkt 3.), sind zu deren Erreichung und Umsetzung entsprechende Werkzeuge des Qualitätsmanagements notwendig. Im Folgenden wird das Beispiel der Wasserversorgung und der mikrobiologischen Qualitätskomponente erneut aufgegriffen und die Herausforderungen anhand dieses Beispiels dargestellt. Abb. 2b zeigt eine Übersicht jener Informationen, die zur Realisierung des besprochenen WHO-Konzepts benötigt werden (Abb. 2a). Prinzipiell wird dabei zwischen Informationen zur System- und Risikoanalyse und Informationen zur betrieblichen Überwachung (Monitoring) unterschieden. Im Zuge der Systemanalyse werden die wissenschaftlich-technischen Grundlagen für das Verständnis, das Management und die Überwachung der Versorgung entlang der gesamten Produktionskette Trinkwasser geschaffen. Im Fall der mikrobiologischen Wasserqualität sind das etwa Fragen zu den möglichen fäkalen Verschmutzungsquellen im Einzugsgebiet, zur hydrogeologischen Situation und den Transfermöglichkeiten fäkalassoziierter Mikroorganismen. Weitere Kriterien sind die Qualität und das Management der Rohwassergewinnung sowie die Effizienz von Reduktions- und Desinfektionsstufen bei der Wasseraufbereitung und das Vorhandensein allfälliger weiterer Schutzbarrieren. Die Ermittlung des notwendigen Ausmaßes von Reduktions- und Desinfektionsprozessen kann dabei mithilfe der QMRA unterstützend durchgeführt werden (Stalder et al. 2011, Haas et al. 1999).

Im Zuge der betrieblichen Überwachung sind kritische Kontrollpunkte festzulegen, die eine Überwachung des Produktionsverlaufes ermöglichen (Wassersicherheitsplan). Die Überwachung basiert auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Prozessebenen. Beispielsweise kann das Ziel etwa die direkte Überwachung der Rohwasserqualität sein (z. B. das Ausmaß der fäkalen Belastung (Stadler et al. 2010)) oder aber auch die Überwachung eines Desinfektionsprozesses mithilfe von Betriebsparametern (z. B. die Bestrahlungsstärke und der Wasserdurchfluss bei der UV-Desinfektion (ÖNORM 2001)).

### **5.1. Zukünftige Herausforderungen bei der mikrobiologischen System- und Risikoanalyse.**

Die Bereitstellung der notwendigen Informationen zur Durchführung einer mikrobiologischen System- und Risikoanalyse benötigt den zunehmenden Einsatz komplexer Analysetechniken im Labor. Neben der mikrobiologischen Untersuchung auf Basis der Kultivierung werden zunehmend auch molekularbiologische Analyseverfahren auf Basis der DNA-Analytik benötigt (Abb. 5). So ist die Verwendung von wirtsassozierten genetischen Fäkalmarkern als Ergänzung zu den standardisierten Fäkalindikatoren stark im Zunehmen begriffen, um die Herkunft fäkalen Belastungen („Microbial Source Tracking“) bestimmen zu können (Reischer et al. 2013). Darüber hinaus ist der Nachweis und die Quantifizierung von ausgesuchten Referenzpathogenen zur Unterstützung der QMRA eine grundlegende Voraussetzung (Farnleitner et al. 2014). Der

Nachweis von Krankheitserregern in Wasser ist äußerst komplex und mit vielen Schwierigkeiten behaftet. Sie können im Wasser in sehr geringen aber relevanten Konzentrationen vorhanden sein und müssen daher mithilfe von Methoden der Aufkonzentrierung vorbehandelt werden. Routineverfahren sind zurzeit für diese Herausforderungen zumeist noch nicht vorhanden und ein diesbezüglicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist verstärkt gegeben (Farnleitner et al. 2014).



**Abb. 5** Molekularbiologische Methoden als integraler Bestandteil „intelligenter“ Wasseranalytik der Zukunft (© K. Brunner)

## 5.2. Zukünftige Herausforderungen bei der Automatisierung

Im Zuge der mikrobiologischen Überwachung und Steuerung des Managements entlang des Produktionsprozesses von Trinkwasser werden verstärkt automatisierte Methoden und Online-Analysensysteme Anwendung finden, wie sie bereits in anderen technischen Bereichen vorhanden sind (z. B. chemische Online-Analytik). Die zunehmende Notwendigkeit von Online-Systemen kann einerseits durch den Bedarf einer kontinuierlichen Qualitätsüberwachung und daraus abgeleitet deren Steuerung und andererseits durch die geringeren Kosten (im Vergleich zu manuell durchgeführten Analysen/Steuerungen) argumentiert werden. Automatisierte Systeme können etwa bei der Probenentnahme Verwendung finden, um „eventbasierte Ereignisse“, wie z. B. die Verschlechterung der mikrobiologischen Wasserqualität bei Starkregenereignissen, zu erfassen.

Automatisierte Analysensysteme können auch online-taugliche Parameter mit Relevanz für die mikrobiologische Qualität und deren Management erfassen. Dabei werden einerseits chemophysikalische Surrogate online gemessen oder aber auch biochemisch-mikrobiologische Parameter direkt bestimmt. Zwei bereits erfolgreiche Beispiele von chemo-physikalischen Parametern wären die Trübung und der spektrale Absorptionskoeffizient bei 254 nm (Stadler et al. 2010). Als „Hoffnungsträger“ zur Online-Methodik der direkten Bestimmung mikrobiologischer Parameter sind die automatisierte Durchflusszytometrie (Hammes and Egli 2010) und die automatisierte Bestimmung enzymatischer Aktivitäten (Ryzinska-Paier et al. 2014) zu nennen. Die Automatisierung im Bereich der mikrobiologischen Diagnostik ist eine sehr junge Disziplin und steht erst am Beginn der Praxisanwendung.

## 6. Zukünftige Herausforderungen an die fachliche Zusammenarbeit

Wissenschaftliche Institutionen wie auch wasserwirtschaftliche Vereinigungen werden sich zukünftig verstärkt der Herausforderung an die Zusammenarbeit stellen müssen. Wie bereits wei-

ter oben dargestellt, stellen viele technisch-wissenschaftliche Aufgabenstellungen im Bereich Wasserqualität und Gesundheit interdisziplinäre Aufgabenstellungen dar. Diese Arbeiten erfordern eine enge Zusammenarbeit von MikrobiologInnen, BiotechnologInnen, ChemikerInnen, HygienikerInnen, HydrologInnen, MathematikerInnen und InformatikerInnen sowie je nach Fragestellung weiterer ExpertInnen, um die die vielfältigen Problemstellungen der Zukunft angemessen bearbeiten zu können.

Zwei rezente Beispiele zur verstärkten interdisziplinären wissenschaftlichen Zusammenarbeit sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden: Vor kurzem wurde das Interuniversitäre Kooperationszentrum für Wasser und Gesundheit (ICC Water & Health, [www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at)) zwischen der Technischen Universität Wien und der Medizinischen Universität Wien gegründet und mit Mitteln des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft im Zuge der Hochschulraum-Strukturmittel-Finanzierung zur nachhaltigen Etablierung gefördert. Die Schwerpunkte dieses Zentrums sind einerseits, Forschung und Lehre auf internationalem Niveau durchzuführen, sowie andererseits eine führende wissenschaftliche Expertise im Bereich Wasserqualität und Gesundheit zu bieten und als kompetenter Partner für die öffentliche Hand und die Wirtschaft zu agieren. Im Fokus der Tätigkeiten steht die interdisziplinäre Entwicklung innovativer Konzepte, neue mikrobiologische, molekularbiologische und physikalisch-chemische Methoden sowie numerische Modelle zur Bewertung der Wasserqualität in hygienischer Hinsicht umzusetzen. Das ICC Water & Health unterstützt mit seiner Arbeit dabei auch das Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems ([www.waterresources.at](http://www.waterresources.at), Leitung Prof. Günter Blöschl). Dieses vom FWF finanzierte Exzellenzprogramm bildet DoktorandInnen im weiten Bereich der wasserwirtschaftlichen Forschung aus und trägt somit zur nachhaltigen Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit bei. Das Programm ist bereits weit über die österreichischen Grenzen hinweg bekannt.

Neben der verstärkten Zusammenarbeit wissenschaftlicher Institutionen ist auch die verstärkte Kooperation zwischen den wasserwirtschaftlichen Vereinigungen notwendig. Diesbezüglich wäre eine engere Zusammenarbeit von ÖWAV und ÖVGW im Bereich Wasser und Gesundheit, im Sinne der weiter oben dargelegten wasserwirtschaftlichen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte, sehr wünschenswert.

## **Danksagung**

Diese Arbeit wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) im Zuge der Projekte P22309, P23900 und W1219 (Doktoratsprogramm DKplus „Wasserwirtschaftliche Systeme“) sowie dem Projekt GWRS Vienna (MA 31) unterstützt. Darüber hinaus wird das ICC Water & Health mit Mitteln der HRSM-Förderung durch das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft gefördert.

## **Ausgewählte Literatur**

Blaschke, A.P. & R. Kirnbauer (2007): Grundwassertransportmodellierung als Instrument zur Quantifizierung der Grundwasserbelastung aus Einträgen aus der Abwasserbelastung. in: der kombinierte Ansatz, das Wechselspiel zwischen Emission und Immission, Band 201, Editor M. Zessener, Seiten 269-290; Wien.

Bundesministerium für Gesundheit (2014): Leitlinie - Umgang mit nicht geregelten Fremstoffe, BMG-75210/0023-II/B/13/2014.

## Wasserqualität und Gesundheit: zukünftige Herausforderungen?

- Farnleitner, A.H., G.H. Reischer, D.F. Savio, C. Frick, N. Schuster, K. Schilling, R.L. Mach, J. Derx, A.K.T. Kirschne, A.P. Blaschke & R. Sommer (2014): Diagnostik mikrobiologischer Fäkalkontaminationen in Wasser und Gewässern: Status Quo und gegenwärtige Entwicklungen. in: Abwasserreinigung: Werte erhalten, Effizienz steigern, und Ressourcen schonen; Band 230, Seiten 157-184; Wien.
- Farnleitner, A.H., R. Mach, G.H. Reischer & G. Kavka (2007): Mikrobiologisch-hygienische Risiken trotz Abwasserreinigung nach dem Stand der Technik? in: der kombinierte Ansatz, Editor M. Zessner, Band 201, Seiten 209-242; Wien.
- Farnleitner, A.H., R.L. Mach & G.G. Kavka (2004): Hygienische Aspekte der Abwasserversickerung. in: Auswirkung von Versickerung und Verrieselung von durch Kleinkläranlagen mechanisch biologisch gereinigtem Abwasser in dezentralen Lagen, Endbericht, Phase I, Editor H. Kroiß & M. Zessner Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Wien.
- Farnleitner, A.H., Strelic, H., Mach, R., Kavka, G.G (2006): Hygienisch mikrobiologische Aspekte bei der Versickerung von mechanisch - biologisch gereinigtem Abwasser in dezentralen Lagen. in: Auswirkung von Versickerung und Verrieselung von durch Kleinkläranlagen mechanisch biologisch gereinigtem Abwasser in dezentralen Lagen; Phase 2; Editoren H. Kroiß & M Zessner. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Kommunalkredit Austria AG.
- Fent, K. (2003): Ökotoxikologie – Umweltchemie – Toxikologie – Ökologie. Zweite Ausgaben, Thieme Verlag; Stuttgart.
- Haas, C.N., J. Rose, and C.P. Gerba (1999): Quantitative microbial risk assessment. John Wiley & Sons; New York.
- Hammes, F., and T. Egli (2010) Cytometric methods for measuring bacteria in water: advantages, pitfalls and applications. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 3: 1083-1095.
- Hrudey, S.E. & E.J. Hrudey (2004): Safe drinking water: lessons from recent outbreaks in affluent nations. IWA; Cornwall.
- ÖNORM M 5873-1:2001 (2001): Anlagen zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolett-Strahlen: Anforderungen und Prüfung; Anlagen mit Quecksilberniederdruckstrahlern; Wien.
- Reischer, G.H., J.E. Ebdon, J.M. Bauer, N. Schuster, W. Ahmed, J. Åström, A.R. Blanch, G. Blöschl, D. Byamukama, T. Coakley, C. Ferguson, G. Goshu, G. Ko, A.M. de Roda Husman, D. Mushi, R. Poma, B. Pradhan, V. Rajal, M.A. Schade, R. Sommer, H. Taylor, E.M. Toth, V. Vrajmasu, S. Wuertz, R.L. Mach & A.H. Farnleitner (2013): Performance Characteristics of qPCR Assays Targeting Human- and Ruminant-Associated Bacteroidetes for Microbial Source Tracking across Sixteen Countries on Six Continents. *Environmental Science & Technology* 15: 8548-8556.
- Ryzinska-Paier, G., T. Lendenfeld, C. Correa, P. Stadler, A.P. Blaschke, R.L. Mach, H. Stadler, A.K.T. Kirschner & A.H. Farnleitner (2014): A sensitive and robust method for automated on-line monitoring of enzymatic activities in water and water resources. *Water Science & Technology* 69:1349-1358.
- Schiejven, J., J. Derx, A.M. DeRoda Husman, A.P. Blaschke & A.H. Farnleitner (2015): QMRACatch - Microbial quality simulation of water resources including infection risk assessment. *Journal of Environmental Quality*; in press.
- Schöner, W., R. Böhm, K. Haslinger, G. Blöschl, H. Kroiß, A. Merz, A.P. Blaschke, A. Viglione, J. Parajka, J.L. Salinas, U. Drabek, G. Laaha & N. Kreuzinger (2011): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft; Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Stadler, H., Klock, E., Skritek, P., Mach, R.L., Zerobin, W. & Farnleitner, A.H. (2010): The spectral absorbance coefficient at 254nm as a near real time early warning proxy for detecting faecal pollution events at alpine karst water resources. *Water Science and Technology* 62(8):1898-1906.
- Stalder, G., R. Sommer, C. Walzer, R.L. Mach, C. Beiglböck, A.P. Blaschke, and A.H. Farnleitner (2011): Gefährdungs- und risikobasierende Konzepte zur Bewertung der mikrobiologischen Wasserqualität - Teil 1. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 98: 9-24.
- WHO (2004) Guidelines for drinking-water quality; Geneva.

WHO (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater; Geneva.

WHO (2003) Guidelines for safe recreational water environments; Geneva Legende

**PD Mag. Dr. Andreas H. Farnleitner, MSc Tox**

Technische Universität Wien

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und

Technische Biowissenschaften,

Arbeitsgruppe Mikrobiologie und Molekulare Ökologie

1060 Wien, Gumpendorferstraße 1a

[andreas.farnleitner@tuwien.ac.at](mailto:andreas.farnleitner@tuwien.ac.at)

**ao. Univ.-Prof. DI Dr. Regina Sommer**

Medizinische Universität Wien

Institut für Hygiene und Angewandte Immunologie,

Abteilung Wasserhygiene

1090 Wien, Kinderspitalgasse 15

[regina.sommer@meduniwien.ac.at](mailto:regina.sommer@meduniwien.ac.at)

Interuniversitäres Kooperationszentrum für Wasser  
und Gesundheit (ICC Water & Health)

[www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at)

Interuniversitäres Kooperationszentrum für Wasser  
und Gesundheit (ICC Water & Health)

[www.waterandhealth.at](http://www.waterandhealth.at)



# Naturräumliche Änderungen in stark vergletscherten Einzugsgebieten bis 2035: Fakten und Forschungsbedarf im Hinblick auf die Wasserwirtschaft

Andrea FISCHER, Universität Innsbruck

Derzeit bedecken die österreichischen Gletscher nur mehr 44 % ihrer Fläche zum Maximalstand der Kleinen Eiszeit um 1850 (Fischer et al., 2014), 1969 waren noch es noch 60 % der Kleineiszeitlichen Fläche. Bis 2035 ist ein weiterer Rückgang der Gletscher wahrscheinlich. Durch die Änderungen der Gletscher verändert sich auch deren Abflussverhalten. Die bisher durch die hohen Schmelzraten ansteigenden Gesamtabflüsse werden bei weiterer Verkleinerung der Gletscherfläche wieder sinken. Das Retentionsvermögen wird durch weitere Reduktion der Firnkörper voraussichtlich abnehmen, und durch den Verlust der tief gelegenen Gletscherflächen ändert sich auch die Saisonalität des Abflusses aus Gletscherspende. Die Prägung des hydrologischen Regimes eines Einzugsgebietes durch den Gletscherabfluss ist umso stärker, je höher der Vergletscherungsanteil des Einzugsgebietes und daher auch der Abstand zum Dauersiedlungsraum ist (Kaser et al., 2010). Durch energiewirtschaftliche Nutzung und Naturgefahrenaspekte können Änderungen des hydrologischen Regimes im Ödland aber durchaus sozioökonomische Auswirkungen haben.

Für die Wasserwirtschaft im Jahr 2035 werden neben naturräumlichen Veränderungen auch andere makroskopische Treiber eine wesentliche Rolle spielen, wie etwa rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Energiebedarf, demografische Änderungen, Änderungen des Wasserverbrauches oder anthropogene Änderungen der Gerinne (Reynard et al., 2014).

Im Folgenden werden aber nur die bis 2035 relevanten naturräumlichen Veränderungen in vergletscherten Einzugsgebieten dargestellt. Für Gletscher kann man bis 2035 bei Andauer der derzeit stark negativen Massenbilanzen folgende Änderungen erwarten:

- Änderung der Gletscherfläche und damit des Vergletscherungsgrades (zwischen –60 und –100 % bis 2100 nach Huss et al., 2013).
- Änderung der Firnbedeckung, der Andauer und der Mächtigkeit der saisonalen Schneedecke.
- Vermehrte Schuttbedeckung der Gletscheroberfläche.
- Daraus resultierend die Änderung der Albedo, der Sensitivität gegenüber Klimaänderungen sowie des Retentionsvermögens der Gletscher.

Der Rückgang der Gletscher und des Permafrostes führt vorerst zu erhöhter Verfügbarkeit von Schutt und Sedimenten. Allerdings beginnt gleichzeitig mit dem Eisfreiwerden des Gletschervorfeldes die erstaunlich rasch voranschreitende Sukzession der Biota (Gottfried et al., 2012), die wiederum die hydrologischen Eigenschaften ändert.

Da niemals eine hundertprozentige Abdeckung durch Messdaten erfolgen kann, besteht Forschungsbedarf zur Entwicklung und Validierung von Modellen. Vorbedingung für die erfolgreiche (Weiter-)Entwicklung numerischer Modelle, die besonders im Hinblick auf die zunehmende gesellschaftliche Risikointoleranz immer wichtiger wird, ist allerdings die Verfügbarkeit entsprechend hochwertiger Langzeitreihen. Bei der Erhebung dieser Daten spielen nicht nur

Forschungsinstitute eine wichtige Rolle, sondern besonders auch Bundes- und Landesstellen wie die ZAMG, das Lebensministerium mit dem HZB und die Hydrographischen Dienste der Länder.

## **Datengrundlage**

Erste historische Dokumentationen von Gletscherständen erfolgten im Zuge des Ausbruches eines Gletschersees im Ötztal im Jahr 1601, seit 1891 gibt es Zeitreihen der Längenänderung, seit 1952/1953 Gletschermassenbilanzmessungen (Fischer, 2010a, 2013 a). Während die Längenmessungen für etwa 10 %, die Massenbilanzmessungen nur für 1 % der österreichischen Gletscher verfügbar sind, sind in den bisher vier verfügbaren Gletscherinventaren die Flächen und Oberflächenhöhen aller österreichischen Gletscher erfasst (Fischer et al., 2014). Derzeit sind in Österreich  $415.11 \pm 11.18 \text{ km}^2$  vergletschert, das sind 44 % der Gletscherfläche des Maximalstandes der Kleinen Eiszeit um 1850. Das in den Gletschern gespeicherte Wasser wurde für 70 Gletscher (44 % der gesamten Gletscherfläche) durch Radioecholotmessungen erhoben (Fischer und Kuhn, 2013c). Die Zeitreihen der Längenänderungen zeigen einen generellen Rückgang der Gletscher bis auf zwei Vorstoßperioden um 1920 und in den 1980er-Jahren (Patzelt, 1970, Fischer et al, 2013b). Die Massenbilanzen sind nach einigen positiven Jahren in der zweiten Vorstoßperiode um 1980 in der letzten Dekade zunehmend negativ (Fischer, 2010b; Fischer et al., 2014).

## **Zukunftsszenarien der Gletscherabflüsse**

Die zukünftigen Gletscherabflüsse hängen von der Gletscherfläche und deren Massenumsatz ab, der wiederum nicht nur von der Witterung, sondern auch von den Eigenschaften der Gletscheroberfläche selbst gesteuert wird. Die Position der Gletscherzunge und damit die Gletscherfläche hängt nicht nur vom Massenumsatz, sondern auch von der Gletscherdynamik ab, deren Berechnung Informationen oder Annahmen über die Eisdicke, den Firnanteil, die Eistemperaturen und die basalen Fließgeschwindigkeiten erfordert. Naturgemäß weisen numerische Modelle unterschiedliche Stufen der Komplexität und der räumlichen und zeitlichen Auflösung auf. Die Erfassung und Einberechnung der Schmelze der saisonalen Schneedecke, insbesondere in hoher räumlicher Auflösung unter Berücksichtigung der Winddrift, hat ebenfalls durch die Rückkopplung über die Albedo Auswirkung auf die Schmelze und ist in Modellen ganz unterschiedlich realisiert.

Allgemein zeigen die Zukunftsszenarien eine Verschiebung des Schmelzwasserabflusses in Richtung Frühjahr und eine Zunahme des Gesamtabflusses gefolgt von einer Abnahme, sobald die Auswirkung der Abnahme der Gletscherfläche die Auswirkung der erhöhten Schmelzrate übersteigt (Kuhn und Escher-Vetter, 2004; Farinotti et al., 2012; Addor et al., 2014). nach wie vor gibt es aber große Unsicherheiten in der Modellierung (Huss et al., 2014). Dazu kommt Forschungsbedarf im Hinblick auf die Entwicklung und Auswirkung von Albedoänderungen auf die Massenbilanz (Juen et al., 2014; Nicholson et al, 2006; Oerlemans et al., 2009).

Besonders intensive Forschungsaktivitäten finden derzeit zur Modellierung der Eisdickenverteilung (Farinotti et al., 2009), zu besserer Messung (Helfricht et al., 2012) und Modellierung (Schöber et al., 2014) der Schneedecke statt.

## **Extremereignisse**

Je nach Schnee- und Firnbedeckung der Gletscher ändert sich das Speicherverhalten bei Starkniederschlägen. Dies hat zusammen mit den Veränderungen der Tages- und Jahregänge des Abflusses im Zuge des Klimawandels Auswirkungen auf Auftreten und Bemessung (Achleitner et al., 2014) von extremen Abflussereignissen (Kirnbauer et al., 2009; Schöber et al., 2012). Zudem können sich durch oder in Gletschern Seen bilden, deren Ausbruch zu drastisch erhöhten Abflussspitzen führen kann (Gattermayr, 2013). Im eisfrei gewordenen Gletschervorfeld wird auch die Bildung neuer Seen beobachtet (Diolaiuti et al., 2005). Derzeit laufen einige Forschungsprojekte zur Erfassung dieser Seen und deren Wiederverlandung, für die die Sedimentationsraten erfasst werden.

## **Entwicklung des Gletschervorfeldes**

Für die hydrologischen Eigenschaften der Gletschervorfelder und deren zeitlichen Änderungen sind nicht nur der Rückgang des Eises, sondern auch die Verfügbarkeit und der Transport von Geschiebe sowie Änderungen der Biota entscheidend. Es gibt in Österreich nur wenige Gletschervorfelder mit langjährigen Aufzeichnungen zur Sukzession der Biota, wie etwa in Obergurgl (Erschbamer et al., 2008). Abgesehen von der Wiederbesiedlung der Gletschervorfelder wird ein allgemeiner Anstieg der Gebirgsvegetation beobachtet (Gottfried et al., 2012). Die Geschwindigkeit der Wiederbesiedlung wird auch auf den derzeitigen Sediment- und Geschiebetransport Auswirkungen haben (Gattermayr, 2013; Heckmann et al., 2012; Morche et al., 2012).

## **Abflüsse aus schmelzendem Permafrost**

Die Abflüsse aus Blockgletschern und Permafrost haben zwar nur einen kleinen Anteil am Gesamtabfluss, sind aber durch ihre hohe Schwermetallbelastung aus Sicht des Siedlungswasserbaus interessant. Es gibt derzeit erst wenige Untersuchungen zu diesem Thema (z. B. Krainer et al., 2007).

## **Tourismus und Schneeproduktion**

Die touristische Nutzung vergletschelter Einzugsgebiete bringt die Errichtung von Infrastruktur wie Schutzhütten, Seilbahnen und Schneeanlagen einher. Die Wasserversorgung von hochgelegenen Schutzhütten beruht oft auf Schmelzwasser von Eis- oder Firnfeldern, das im Hochsommer durch die Ausaperung abnimmt. Die Vorschriften für die Entsorgung der Abwässer und die Schwierigkeit, bei wechselnder Auslastung und zum Teil sehr kurzen Betriebszeiten biologische Abwasserreinigung durchzuführen, resultieren oft in einer Erhöhung der Betriebskosten. Für Seilbahnen ist die Wasserversorgung, besonders der unter hohen Druck stehenden Schneileitungen, über vergletschertes Gelände oder Permafrost ebenfalls eine Herausforderung. Es gibt derzeit noch keine belastbaren Daten zur Wasserbilanz der Beschneigung, i. e. die dabei stattfindende Verdunstung.

## Forschungsbedarf

Im Hinblick auf die naturräumlichen Veränderungen in vergletscherten Einzugsgebieten und deren Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft im Jahr 2035 besteht folgender Forschungsbedarf:

- Verbesserung des Wissensstandes über Rückkopplungen und Sensitivitätsänderungen des Systems Gletscherklima, insbesondere im Hinblick auf die Änderung der Albedo und die Erfassung der räumlichen Verteilung der Schuttbedeckung und deren Änderungen.
- Verbesserung in der Modellierung der Schneedeckenverteilung, der Gletscherdynamik, der Albedo und der Eisdicken und deren Änderungen.
- Untersuchung der Auswirkung der obgenannten Änderungen auf die Abflüsse und auch Bemessungsgrundlagen.
- Erweiterung der verfügbaren Datensätze durch Analyse des weltweit einmaligen historischen Materials, das in den österreichischen Archiven verfügbar ist.
- Verbesserung der Kenntnis der holozänen Gletscherstände.
- Bessere räumliche Verteilung der Daten zur Wiederbesiedlung des Gletschervorfeldes und der Sukzession in den obersten Höhenstufen, insbesondere Waldgrenzschwankungen.
- Erfassung der Abflüsse aus Permafrost und deren Abflusschemie.
- Messungen zur Wasserbilanz der Schneeproduktion.



Abb. 1 Hintereisferner (Ötztaler Alpen) 1955 und 2013.

## Literatur

- Achleitner, S., Schöber, J., und Schönlaub, H. (2014): Ermittlung von Bemessungsabflüssen in hochalpinen Einzugsgebieten am Beispiel der projektierten Wasserfassungen Venter und Gurgler Ache. In: *WasserWirtschaft – Fachzeitschrift für Wasser und Umwelttechnik* 1-2/2014, 46 – 49.
- Addor, N., Roessler, O., Koeplin, N., Huss, M., Weingartner, R. und Seibert, J. (2014): Robust changes and sources of uncertainty in the projected hydrological regimes of Swiss catchments. *Water Resources Research*, 50, doi:10.1002/2014WR015549.
- Diolauti, G., Kirkbride, M., Smiraglia, C., Benn, D. I., D'Agata, C. und Nicholson, L. (2005): Calving processes and Lake evolution at Miage glacier (Mont Blanc, Italian Alps). *Annals of Glaciology*, 40, 207-214.

- Erschbamer, B., Niederfriniger Schlag, R. und Winkler, E. (2008): Colonization processes on a central Alpine glacier foreland. *Journal of Vegetation Science* 19: 855-862.
- Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A., Funk, M. und Truffer, M. (2009): A method to estimate ice volume and ice thickness distribution of alpine glaciers. *Journal of Glaciology*, 55(191), 422-430, <http://www.igsoc.org/journal/55/191/t08J055.pdf>.
- Farinotti, D., Usselman, S., Huss, M., Bauder, A. und Funk, M. (2012): The runoff evolution in the Swiss Alps: Projections for selected high-alpine catchments based on ENSEMBLES scenarios. *Hydrological Processes*, 26(13), 1909–1924, doi:10.1002/hyp.8276. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.8276/pdf>.
- Fischer, A., Seiser, B., Stocker-Waldhuber, M., Mitterer, C. und Abermann, J. (2014): Tracing glacial disintegration from the LIA to the present using a LIDAR-based hi-res glacier inventory, *The Cryosphere Discuss.*, 8, 5195-5226, [www.the-cryosphere-discuss.net/8/5195/2014/](http://www.the-cryosphere-discuss.net/8/5195/2014/), doi:10.5194/tcd-8-5195-2014.
- Fischer, A. (2010a): Status and challenges of glacier inventories, fluctuation series and recent developments in Austria, In: Summary Report on the WGMS General Assembly of the National Correspondents 2010 by Zemp, M., Gärtner-Roer, I., Nussbaumer, S.U., Paul, F., Hoelzle, M. and Haerberli, W. (eds).
- Fischer, A. (2010b): Glaciers and climate change: Interpretation of 50 years of direct mass balance of Hintereisferner, *Global and Planetary Change*, Volume 71, Issues 1-2, Pages 13-26, ISSN 0921-8181, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2009.11.014.
- Fischer, A. (2013a): Long term monitoring of glacier mass balance and length changes in Tyrol as a base for glacier foreland succession studies, *Plant Ecology and Diversity*, 6 (3-4), 537-547, <http://dx.doi.org/10.1008/17550874.2011.568529>.
- Fischer, A., Patzelt, G. and Kinzl, H. (2013b): Length changes of Austrian glaciers 1969-2013. Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Innsbruck, doi:10.1594/PANGAEA.821823.
- Fischer, A. und Kuhn, M. (2013c): GPR measurements of 64 Austrian glaciers as a basis for a regional glacier volume inventory, *Annals of Glaciology*, 54(64), 179–188.
- Fischer, A., Markl, G. und Kuhn, M. (2014): Glacier mass balances and elevation zones of Jamtalferner, Silvretta, Austria, 1988/1989 to 2013/2014. doi:10.1594/PANGAEA.818772.
- Gattermayr, W. (2013): Das hydrographische Regime der Ötztaler Ache. in : Klima, Wetter, Gletscher im Wandel (Hrsg E.-M. Koch, B. Erschbamer) Alpine Research Centre Obergugl, 3, innsbruck university press, 218 S.
- Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barancok, P., Benito Alonso, J. L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández Calzado, M. R., Kazakis, G., Krajci, J., Larsson, P., Mallaun, M., Michelsen, O., Moiseev, D., Moiseev, P., Molau, U., Merzouki, A., Nagy, L., Nakhutsrishvili, G., Pedersen, B., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Thomaselli, M., Villar, L., Vittoz, P., Vogiatzakis, I. und Grabherr, G. (2012): Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature climate change* 2: 111-115.
- Heckmann T., Haas, F., Morche, D., Schmidt, K.-H., Rohn, J., Moser, M., Leopold, M., Kuhn, M., Briese, C., Pfeifer, N. und Becht, M. (2012): Investigating an alpine proglacial sediment budget using field measurements, airborne and terrestrial LiDAR data. – IAHS Publication (Proceedings of the IAHS/ICCE International Symposium 'Erosion and sediment yields in the changing environment, Chengdu 2012).
- Helfricht, K., Schöber, J., Seiser, B., Fischer, A., Stötter, J. und M. Kuhn (2012): Snow accumulation of a high alpine catchment derived from LiDAR measurements, *ADGEO*, 32, 31-39.
- Huss, M., Joerg, P.C., Zemp, M. und Salzmann, N. (2014): High uncertainty in 21st century runoff projections from glacierized basins. *Journal of Hydrology*, 510, 35-48.
- Juen, M., Mayer, C., Lambrecht, A., Han, H. und Liu, S. (2014): Impact of varying debris cover thickness on ablation: a case study for Koxkar Glacier in the Tien Shan, *The Cryosphere*, 8, 377-386.

- Kaser, G., Großhauser, M. und Marzeion, B. (2010): Contribution potential of glaciers to water availability in different climate regimes , *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 107 , 20223 - 20227 , DOI: 10.1073/pnas.1008162107.
- Kirnbauer, R., Achleitner, S., Schöber, J., Asztalos, J. und Schönlaub, H. (2009): Hochwasservorhersage Inn: Modellierung der Gletscherabflüsse. In: *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, 86, 109-130.
- Krainer, K., Mostler, W. und Spötl, C. (2007): Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. *Austrian Journal of Earth Sciences* 100, 102-112.
- Kuhn, M. und Escher-Vetter, H. (2004): Die Reaktion der österreichischen Gletscher und ihres Abflusses auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag, *Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56 (1-2), 1-7.
- Morche D., Haas, F., Baewert, H., Heckmann, T., Schmidt, K.-H. und Becht, M. (2012): Sediment transport in the proglacial Fagge River (Kauertal/Austria). - IAHS Publication (Proceedings of the IAHS/ICCE International Symposium 'Erosion and sediment yields in the changing environment, Chengdu 2012).
- Nicholson L. and Benn, D. I. (2006): Calculating ice melt beneath a debris layer using meteorological data. *Journal of Glaciology*, 52 (178), 463-470.
- Oerlemans, J., Giesen, R.H. und van den Broeke, M.R. (2009): Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland) *Journal of Glaciology*, 55 (192), 729– 736.
- Patzelt, G. (1970): Die Längenmessungen an den Gletschern der österreichischen Ostalpen 1890-1969, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 6/1-2: 151-159.
- Reynard, E., Bonriposi, M., Graefe, O., Homewood, C., Huss, M., Kauzlaric, M., Liniger, H., Rey, E., Rist, S., Schaedler, B., Schneider, F. und Weingartner, R. (2014): Interdisciplinary assessment of complex regional water systems and their future evolution: how socio-economic drivers can matter more than climate. *WIREs Water*, doi: 10.1002/wat2.1032.
- Schöber, J., Achleitner, S., Kirnbauer, R., Schöberl, F., und Schönlaub, H. (2012): Impact of Modelled Snow State Selection for Flood Simulation in Glacierized Catchments. In: *Advances in Geosciences (ADEGO)* 31, 39-48.
- Schöber, J., Schneider, K., Helfricht, K., Schattan, P., Achleitner, S., Schöberl, F. und Kirnbauer, R. (2014): Snow cover characteristics in a glacierized catchment in the Tyrolean Alps – Improved spatially distributed modelling by usage of Lidar data. In: *Journal of Hydrology* 519, Part D, S. 3492 – 3510.

**Dr. Andrea Fischer**

Universität Innsbruck

Institut für Meteorologie und Geophysik

6020 Innsbruck, Innrain 52

andrea.fischer@uibk.ac.at

# Herausforderungen durch die Klimaänderung aus der Sicht der Ingenieurbiologie

*Florin FLORINETH, Universität für Bodenkultur Wien*

## 1. Klimaänderung

Über die Ursachen der Klimaänderung gibt es viele Meinungen, die Klimaänderung selbst ist Tatsache, die inzwischen niemand mehr leugnen kann.

Meteorologen arbeiten an Szenarien über den zukünftigen Temperaturverlauf und die Niederschlagsverteilung der gesamten Erde, Mitteleuropas und für Österreich im Detail.

Ein gutes Zukunftsbild hat das Institut für Meteorologie an der Universität für Bodenkultur Wien mit drei möglichen Szenarien entworfen (FORMAYER et al., 2007): B1 bedeutet einen Temperaturverlauf für Wien auf eher ökologisch und gesellschaftlicher Innovation ausgerichteter Grundlage, A2 ist ein Regionalmodell, eher ökonomisch und materiell orientiert, A1B stellt ein globales Szenarium dar mit einem Kompromiss aus ökonomischer und ökologischer Zielsetzung. Alle drei Linien zeigen in den Jahren 2000 – 2100 einen deutlichen Temperaturanstieg um bis zu 2 °C und 4 °C, wobei die gelbe A1B-Linie die wahrscheinlichere sein wird, weil das ökologische Bewusstsein in der Gesellschaft noch zu wenig entwickelt ist und von der Politik die Unterstützung dafür fehlt. Ein Kompromiss zwischen A und B dürfte leichter zu realisieren sein (Abb. 1).

Einen guten Überblick zeigen die Bilder über den Verlauf der Hitzetage in Österreich und in den Städten des östlichen Flachlandes Österreichs (Abb. 2). Noch deutlicher wird die Klimaänderung durch das Diagramm mit dem Jahresmittel der Lufttemperatur und der Jahressumme der Niederschläge von Groß-Enzersdorf am östlichen Stadtrand von Wien (Abb. 3). Demnach steigt die Jahrestemperatur ausgehend vom 30-jährigen Mittel 1961 – 1990 von 9,8 °C auf 11,5 °C im Jahr 2012. Das Jahr 2014 ist noch wärmer gewesen: 11,8 °C.

Bei den Niederschlägen gibt es in Summe weniger Unterschiede, diese liegen für Groß-Enzersdorf im 30-jährigen (1961 – 1990) und 20-jährigen (1990 – 2009) Mittel zwischen 550 und 560 mm, ausgenommen im Trockenjahr 2012 fielen nur rd. 475 mm. Im extrem feuchten Jahr 2014 waren es 794 mm Niederschläge.

Ändern wird sich laut Klimaprognosen der Zeitraum zukünftiger Niederschläge, die häufiger in der Vegetationsruhe fallen werden, mit einem Rückgang in der Vegetationsperiode. Das bedeutet für Pflanzen, vor allem an Extremstandorten wie in Städten, einen zunehmenden Trockenstress und für die östlichen Bundesländer Österreichs einen Trend zur submediterranen Vegetation hin.

## 2. Auswirkungen der Klimaänderung auf unsere Fließgewässer

Die verstärkten Niederschläge in den kalten Monaten bedeuten stärkere Hochwässer, weil die Böden zum Teil gefroren sind, die Vegetation ohne Blätter nur wenig transpiriert und kaum Niederschläge auffangen kann (geringe Interzeption). Auch die Zunahme an Gewittern und

Starkniederschlagsereignissen im Sommer bedeutet vermehrte Hochwässer, sobald die Böden gesättigt sind und die zunehmend versiegelten Böden und Dachlandschaften überhaupt kein Wasser aufnehmen können.

Durch längere Trockenperioden in der Vegetationszeit werden die Fließgewässer weniger Wasser führen, das sich vor allem in breiten Flussläufen stärker erwärmen wird und damit als Lebensraum für einige Fische und andere Wassertiere ausfällt. Die Bachforelle z. B. kann in Fließgewässern mit einer Wassertemperatur über 22/23 °C nicht mehr wandern und damit überleben.

Die Erwärmung von Fließgewässern bringt bei geringer Wassergüte auch ein vermehrtes Algenwachstum mit sich, was den Luftaustausch in tiefere Wasserschichten verhindert mit den bekannten ökologischen Folgen eines sogenannten absterbenden Wassers.

### **3. Maßnahmen für unsere Fließgewässer gegen die klimabedingten Auswirkungen**

- Stärkere Bewaldung der Einzugsgebiete (*Abb. 4 und 5*).
- Vermehrte Begrünung von Dächern und Fassaden (*Abb. 6 bis 8*).
- Schaffung von wasseraufnehmenden Oberflächen an Siedlungs- und Verkehrsinfrastrukturen (*Abb. 9*).
- Ausbau der schattenspendenden Ufervegetation (*Abb. 10*).

Eine stärkere Bewaldung der Einzugsgebiete von Fließgewässern bringt vor allem im belaubten Zustand einen hohen Wasserrückhalt durch die Blätter und Nadeln (Interzeption) und die Bildung von stärker wasseraufnehmenden und -durchlässigen Böden. Aufgelassene oder extensiv bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen und sehr lichte Waldbestände würden sich dafür gut eignen. Zur zusätzlichen Verminderung von Hochwässern in den kalten Monaten müsste der Schwerpunkt bei der Auswahl von Gehölzen auf immergrüne Nadel- und Laubbäume gelegt werden. Eine Aufforstung vermehrt mit Föhren, Fichten, Tannen, Eiben und Zirben ist in Österreich jetzt schon möglich. Für die Verwendung von immergrünen submediterranen und mediterranen Laubbäumen und Sträuchern, wie Steineiche, Oleander, Kampferbaum, Kirschlorbeer, Macchiastrauch, Ölbaum u. a. m. werden wir noch ein paar Jahrzehnte warten müssen, bis das Klima auch bei uns diesen Laubgehölzen entspricht.

Die vermehrte Begrünung von Dächern und Fassaden bringt zusätzliche horizontale und vertikale Grünflächen, wobei für den Wasserrückhalt in erster Linie intensive Gründächer mit einem erhöhten Aufbau wichtig sind. Je nach Substrathöhe können diese bis zu 80 l/m<sup>2</sup> an Wasser speichern und über die Transpiration an die umgebende Luft abgeben. Sofern alle oder der Großteil der Flachdächer begrünt würden, bringt dies nicht nur einen bedeutenden Hochwasserschutz, sondern auch eine erhebliche Verbesserung des Stadtklimas.

Die Schaffung von wasseraufnehmenden Oberflächen an Siedlungs- und Verkehrsinfrastrukturen durch die Entsiegelung der hektarweise asphaltierten Parkplätze und wenig befahrenen Zufahrtstraßen kombiniert mit der Errichtung von belastbaren Schotterrasen, durch den Bau von begrüntem Entwässerungs- und Versickerungsgräben und -teichen u. a. m. bietet ebenfalls einen Beitrag zum Hochwasserschutz.

Eine schnelle und kostengünstige Maßnahme gegen die Erwärmung von Fließgewässern sind die Pflanzung einer überhängenden Ufervegetation, die breiten- und höhenmäßige Erweiterung und Verdichtung der bestehenden Ufervegetation, der Umbau und die Revitalisierung von hart verbauten Fließgewässern mit mehr schattenspendenden Strukturmaßnahmen u. a. m.

Untersuchungen im Rahmen von Masterarbeiten an unserem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau haben am Beispiel der Lafnitz und Pinka im Burgenland und in der Steiermark gezeigt, dass ein starker Überhang von Bäumen eine bedeutende Strahlungsreduktion bewirkt, abhängig von der Gewässerbreite, der Nähe und Höhe der Ufervegetation. Die Beschattungsleistung der Ufervegetation wird mittels Aufnahme mit einer Fischaugenkamera gemessen, die Wassertemperatur mittels Fühlern an verschiedenen Stellen in der Abflusssektion und im Längsverlauf.

Aus den Masterarbeiten von Wolfgang BARTEL und Christoph HLOUSEK (2014), Viktoria JACHS (2013), Anna MALLINGER (2013) und Valeria LEDOCHOWSKI (unveröff.) sind einige Beispiele dargestellt, welche die Bedeutung und den Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur hervorheben (*Abb. 11 bis 23*).

### **Schlussfolgerung**

Die angeführten Maßnahmen zur Verminderung der klimabedingten Auswirkungen auf unsere Umgebung und Umwelt leisten einen bedeutenden Beitrag zum Hochwasserschutz und gegen die Erwärmung unserer Fließgewässer. Ob es gelingt, durch die Verbesserung des Stadtklimas und Erhöhung der Lebensqualität in den Siedlungsräumen einen Beitrag gegen die Klimaänderung zu leisten, ist fraglich, weil Europa im Vergleich mit den anderen Kontinenten der Erde, auf denen ökologische Maßnahmen erst spät, zu spät oder überhaupt nicht durchgeführt werden, wahrscheinlich zu klein ist.

### **4. Quellenangaben**

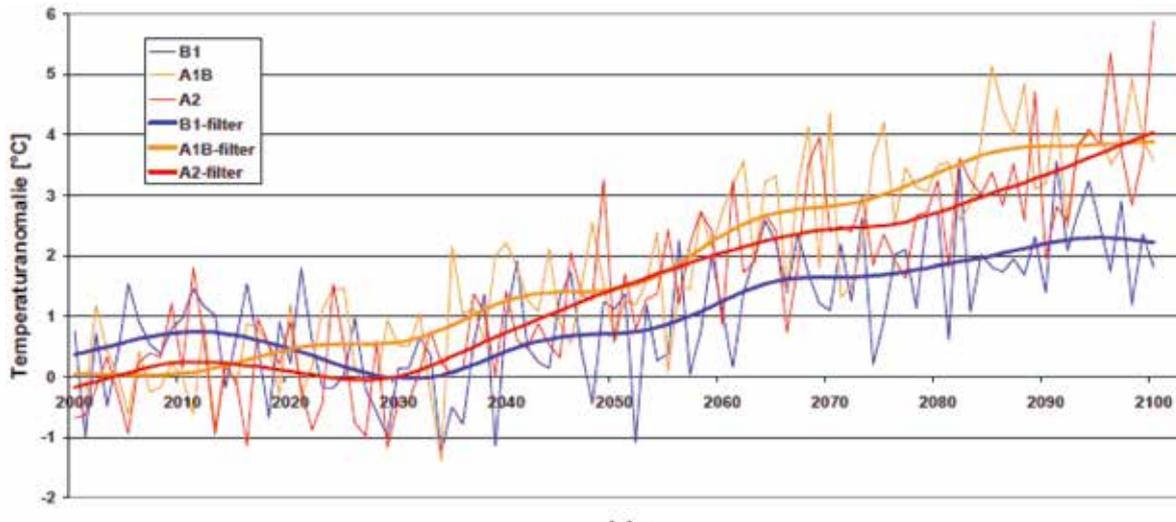
- BARTEL W., HLOUSEK C. (2014): Erhebung von Strahlungsintensitäten mittels Hemisphärischer Fotografien und Analyse der beschattenden Wirkung der Ufervegetation. Feldstudie an der Lafnitz. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- BAUR E. (2014): Wachstumsuntersuchungen an *Acer campestre* (Feldahorn) mit unterschiedlich eingekürzten Wurzeln und Sprossen. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- FLORINETH F. (2012): Pflanzen statt Beton. Sichern und Gestalten mit Pflanzen. Patzer Verlag Berlin-Hannover. 2. Auflage.
- FORMAYER H., HAAS P., HOFSTÄTTER M., RADA KOVICS S., KROMP-KOLB H. (2007): Räumliche und zeitliche hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionstrategien. BOKU Wien im Auftrag der MA 22 – Umweltschutzabteilung der Stadt Wien.
- FUCHS F. (2012): Klimawandel und die Eignung von Stadtbäumen im Pannonischen Raum (Mödling, Baden, Wiener Neustadt). Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- HOLZAPFEL G., RAUCH H.P. (2015): Der Einfluss der Ufervegetation auf die Wassertemperatur der Lafnitz und Pinka. *Zeitschrift Ingenieurbiologie*, Heft 1/2015.
- JACHS V. (2014): Veränderung der Ufervegetation und Flussmorphologie an der Lafnitz - unter besonderer Berücksichtigung von anthropogenen Eingriffen. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

## Herausforderungen durch die Klimaänderung aus Sicht der Ingenieurbiologie

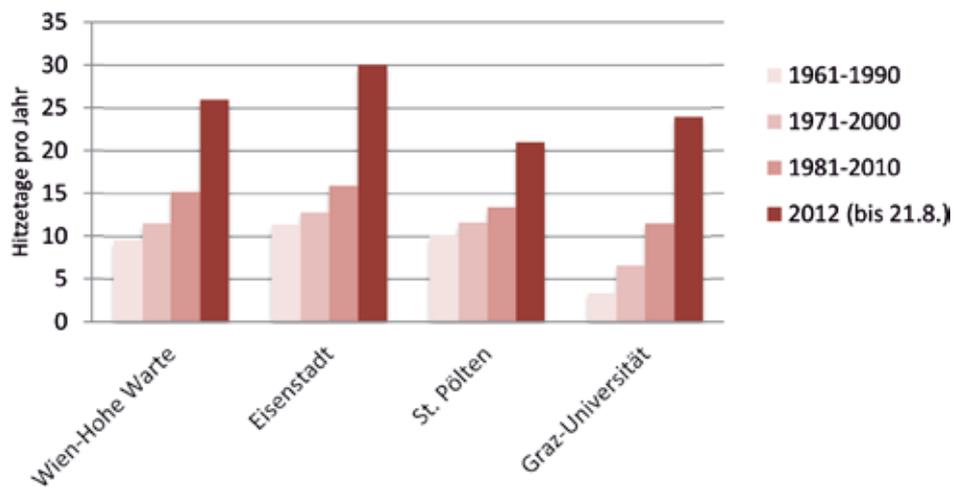
LEDOCHOWSKI V. (unveröff.): Veränderung der Ufervegetation und Flussmorphologie, sowie deren Einfluss auf die Wassertemperatur im Längsverlauf der Pinka. Unveröffentlichte Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

MALLINGER A. (2014): Gewässermorphologische Analyse der Pinka – eine Grenzstrecke zu Ungarn. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

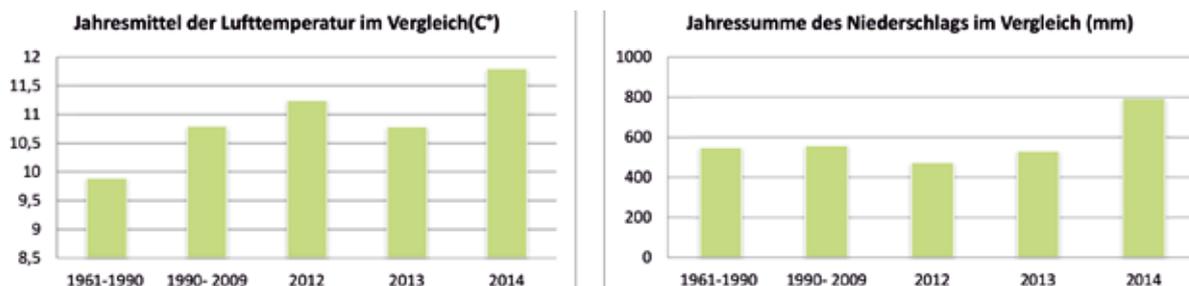
## Abbildungen



**Abb. 1** Szenarien der Jahresmitteltemperatur für Wien nach dem Regional-Modell des Umweltbundesamtes und drei verschiedenen Emissionsszenarien (FORMAYER et al., 2007)



**Abb. 2** Anzahl der Hitzetage pro Jahr in verschiedenen Zeitperioden und Städten Ostösterreichs (FUCHS, 2012)



**Abb. 3** Jahresmittel der Lufttemperatur und Jahressumme der Niederschläge in verschiedenen Zeitperioden in den Jahren 2012, 2013 und 2014 in Groß-Enzersdorf am östlichen Stadtrand von Wien (BAUR, 2014)



**Abb. 4** Umfangreiche Hochlagenbegrünungen und Aufforstungen im Einzugsgebiet des Pfnanngabens über Toblach/Südtirol, 2011



**Abb. 5** Hochlagenbegrünungen und Aufforstungen im Einzugsgebiet des Tanaserbaches über Eys/Südtirol, 2012



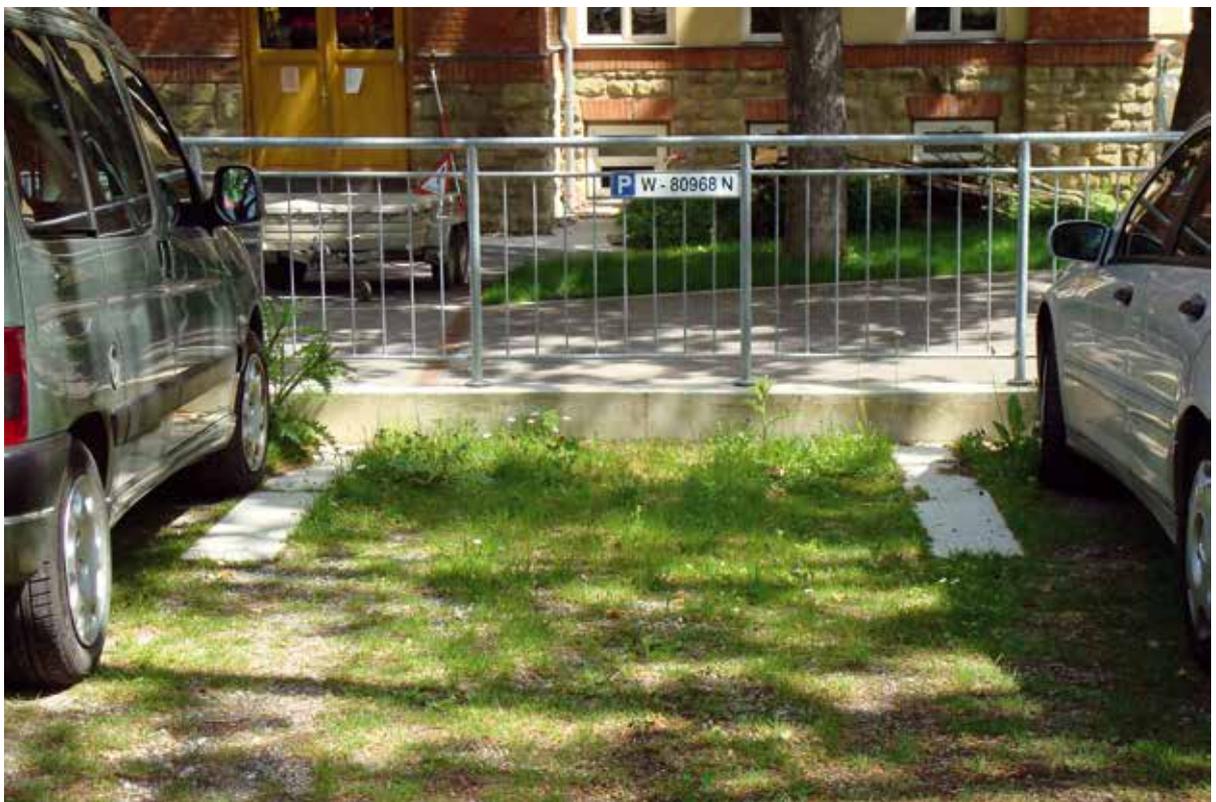
**Abb. 6** Terrassenbegrünung mit Gehölzen in Berlin, 2013



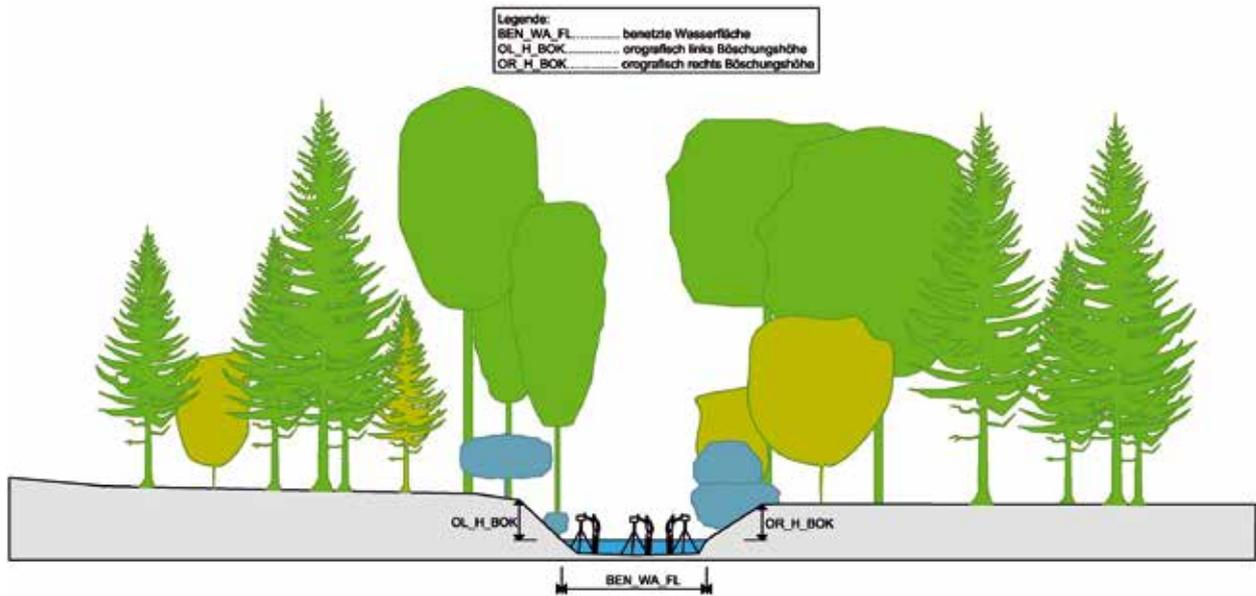
**Abb. 7** Dachbegrünung an Gebäuden und über Tiefgaragen in Berlin, 2013



**Abb. 8** Detail der Dachbegrünung eines Geräteschuppens im Versuchsgarten Wien-Essling, 2012



**Abb. 9** Schotterrasen als begrünte, trag- und versickerungsfähige Alternative zu asphaltierten Parkplätzen, Universität für Bodenkultur Wien, 2010



**Abb. 10** Aufnahmeschema für die Messung des Beschattungsgrades eines Gewässers durch die Ufervegetation (BARTEL, HLOUSEK, 2014)



**Abb. 11** Fischaugenkamera für die Messung des Beschattungsgrades (BARTEL, HLOUSEK, 2014)



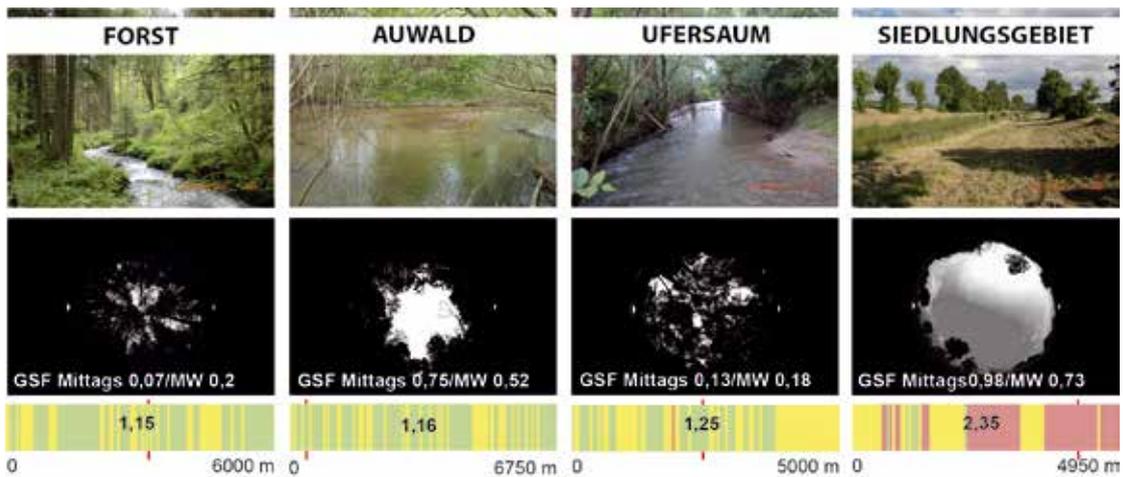
**Abb. 12** Aufnahme des Beschattungsgrades der Ufervegetation (BARTEL, HLOUSEK, 2014)



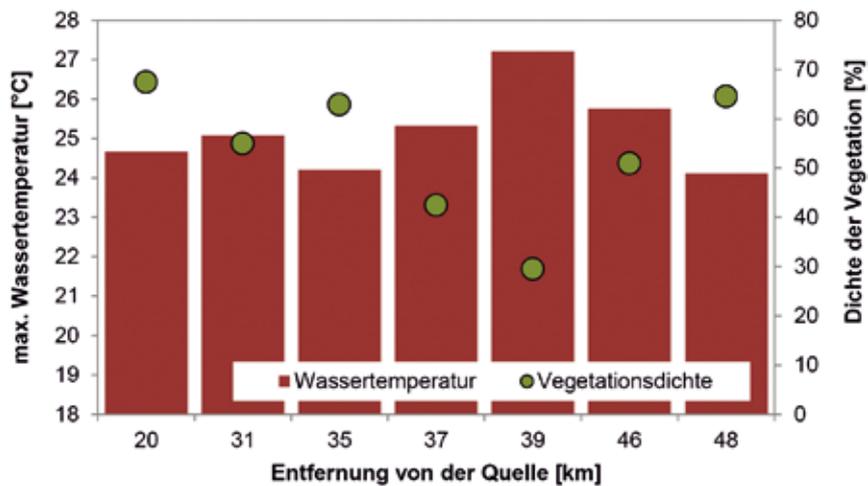
**Abb. 13 und 14** Offener Bereich der Lafnitz bei Loipersdorf und die Aufnahme dazu mit der geringen Beschattungsleistung der Vegetation: 5 % des Lichteinfalls werden absorbiert (BARTEL, HLOUSEK, 2014)



**Abb. 15 und 16** Dichte Ufervegetation an der Pinka und die hohe Beschattungsleistung: 93 % des Lichteinfalls werden absorbiert (BARTEL, HLOUSEK, 2014)



**Abb. 17** Ausgewählte Vegetationstypen an der Pinka/Burgenland mit den darunterstehenden Fischaugenkamera-Aufnahmen und dem Zustand der Vegetation: grün=gut, gelb=mittel, rot=schlecht (HOLZAPFEL, RAUCH, 2015)



**Abb. 18** Mittelwerte der maximalen Wassertemperatur an Schönwettertagen (2.-3. August 2013) an der Pinka von Sinnersdorf bis Jabing (Fluss-Kilometer 20 bis 48). Die Vegetationsdichte beschreibt die Ufervegetation der letzten 5 km vor dem jeweiligen Messpunkt (HOLZAPFEL, RAUCH, 2015)



**Abb. 19** Offene und beschattete Flussabschnitte der Pinka bei Kotezicken (LEDOCHOWSKI, unveröff.)



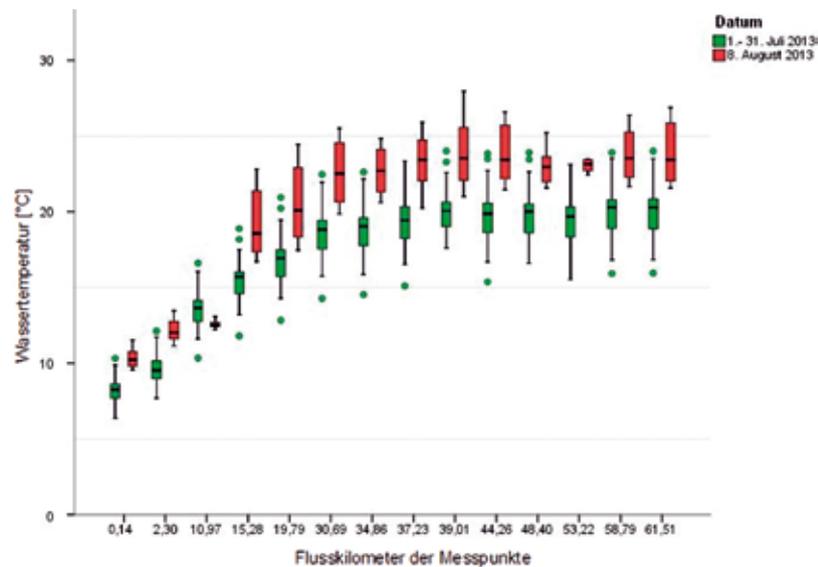
**Abb. 20** Einseitige Ufervegetation und Teilbeschattung an der Pinka bei Burg (LEDOCHOWSKI, unveröff.)



**Abb. 21** Geschlossener Gehölzbestand mit guter Beschattungsleistung durch den starken Überhang – Pinka bei Deutsch Schützen (LEDOCHOWSKI, unveröff.)



**Abb. 22** Verlauf der Temperaturerwärmung in Grad Celsius an den verschiedenen Messpunkten der Pinka von der Quelle bis zu Fluss-Kilometer 61 (LEDOCHOWSKI, unveröff.)



**Abb. 23** Verlauf der Wassertemperatur an der Pinka von der Quelle bis Fluss-Kilometer 61, Mittelwerte vom 1.-31. Juli 2013 (grüne Balken) und am heißen 8. August 2013 (rote Balken) als Maximalwert (LEDOCHOWSKI, unveröff.)

**o.Univ.-Prof. Dr. Florin Florineth**

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

1900 Wien, Peter-Jordan-Straße 82

florin.florineth@boku.ac.at

www.baunat.boku.ac.at/iblb

# **Betrieb, Instandhaltung und Entwicklung der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastrukturnetze – Herausforderungen im 21. Jahrhundert<sup>1)</sup>**

*Daniela FUCHS-HANUSCH, Technische Universität Graz*

## **Einleitung**

In den letzten 150 Jahren waren die zentralen Aufgaben der Siedlungswasserwirtschaft in den Industrieländern der Ausbau der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur. Die Ziele beim Ausbau dieser Systeme waren die Abwasserableitung aus den Siedlungen, die Entwässerung der Siedlungen und die zentrale und qualitativ einwandfreie Versorgung der Siedlungen mit Trinkwasser. In den 1980er-Jahren kam der Gewässerschutz als Ziel der siedlungswasserwirtschaftlichen Tätigkeiten hinzu. Die Instandhaltung, Erneuerung und Adaptierung dieser Infrastruktur zählt nun zu den zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts.

Im Bericht „Infrastrukturen 2030“ der OECD (OECD 2007) wird der Bedarf an (Re-)Investitionen in die Wasserinfrastruktur der OECD-Länder incl. Russland, China, Indien und Brasilien auf ca. 500 Milliarden US-Dollar jährlich geschätzt. Der höchste Bedarf ergibt sich für Regionen, in welchen – neben den Aufgaben der Instandhaltung und Reinvestition – Erweiterungen und Adaptierungen aufgrund von demografischen und klimatischen Entwicklungen anstehen (Rodriguez et al. 2012). Einige der am stärksten wachsenden Städte des 21. Jahrhunderts liegen zudem in Regionen mit stark eingeschränkter Wasserverfügbarkeit (McDonald et al. 2014). 68 % dieser Städte befinden sich in China, Zentralasien und Mexiko. Die Instandhaltung der bestehenden Trinkwasserinfrastruktur hat in diesen Regionen eine enorme Bedeutung, da alternde Rohrnetze zu massiven Wasserverlusten führen können. Eine zusätzliche Ressourcenerschließung, ohne die bestehende Infrastruktur zu optimieren, steht im völligen Widerspruch zum Grundsatz der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung.

Aber auch in den wasserreichen Regionen Europas und Nordamerikas sind Probleme bei der Instandhaltung der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur erkennbar. Betrachtet man das durchschnittliche Alter der Wasserinfrastrukturnetze, so wird der Bedarf an Reinvestitionen in diesen Regionen offensichtlich. Insbesondere in den USA und Kanada beträgt das Durchschnittsalter der Netze 50 Jahre und mehr. Die Trinkwassernetze beispielsweise von Philadelphia, Washington und New York weisen ein mittleres Alter von ca. 75 Jahren auf. Die Medienberichte zu gravierenden Rohrbrüchen und Kanaleinstürzen, die nicht nur zu immensen Wasserverlusten, sondern auch zu Folgeschäden an der umliegenden Infrastruktur führen, häufen sich in den letzten Jahren deutlich (Walton 2012).

Die Problematik der Netzüberalterung aufgrund fehlender Investitionen wird auch in Österreich immer deutlicher sichtbar, obwohl das mittlere Alter als auch die durchschnittlichen Schadensraten derzeit noch wesentlich geringer sind als in den nordamerikanischen Staaten. Die Netzerneuerungsraten sind jedoch auch in Österreich erschreckend gering. Bei den Kanalisationsnet-

---

<sup>1)</sup> Der vorliegende Beitrag basiert teilweise auf Ausführungen in meiner Habilitationsschrift, welche im April 2015 zur Erlangung der Venia Docendi im Fach „Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau“ an der Technischen Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften eingereicht wurde.

zen lagen diese in den letzten Jahren durchschnittlich bei etwa 0,1 %. In der Wasserversorgung wurde in den letzten 5 Jahren durchschnittlich 0,7 % der Netzlänge erneuert (Neunteufel et al. 2013). Bei Beibehaltung dieser geringen Reinvestitionsraten müsste die Lebenserwartung der Rohre unserer Netze im Durchschnitt deutlich über 100 Jahren liegen.

Die Investitionen in die Siedlungswasserwirtschaft hängen in Österreich derzeit sehr stark von den Förderungen ab. Ein Rückgang der Förderungen in die Siedlungswasserwirtschaft in etwa zum gleichen Zeitpunkt wie die Finanzkrise hat seine Spuren hinterlassen. Ein Rückgang der Investitionen ist deutlich erkennbar und ist nicht nur im erreichten hohen Ausbaugrad der Ver- und Entsorgung begründbar (Meyer et al. 2013).

Es ist fraglich, ob diese Vernachlässigung der Investitionen für die Betriebe und Kommunen wirtschaftlich nachhaltig sein kann. Denn es muss davon ausgegangen werden, dass geringe Rohrnetzerneuerungsraten mittelfristig zu einem Anstieg von Betriebskosten führen werden. Als Beispiel aus der Wasserversorgung können erhöhte Energie- und Aufbereitungskosten infolge von Wasserverlusten angeführt werden, aber auch steigende Reparaturkosten bei zu spät erkannten Rohrbrüchen können aus Investitionsverzögerungen resultieren. In der Abwasserentsorgung ist die Auswirkung auf Mehrkosten im Betrieb bei Vernachlässigung der Instandhaltung für die Betreiber meist nicht auf den ersten Blick erkennbar. Undichte Kanäle können allerdings zu einem vermehrten Fremdwasseranfall und damit einhergehend zu betrieblichen Problemen auf der Kläranlage führen. Darüber hinaus können diese Undichtigkeiten, je nach Randbedingungen, auch zu Belastungen des Grundwassers führen.

Betrachtet man die Instandhaltung der siedlungswasserwirtschaftlichen Rohrnetze im Kontext zum kommunalen Infrastrukturmanagement, so sind auch externe Treiber für Zeitpunkt und Größenordnung von Reinvestitionen in Betracht zu ziehen. Dies sind, wie eingangs deutlich gemacht, die allgemeine budgetäre Situation der Kommunen und deren Umgang mit den eingenommenen Gebühren sowie die Koordinierung von Baumaßnahmen. Diese Faktoren können die Effizienz und die Nachhaltigkeit von Reinvestitionen in die Infrastrukturnetze steigern, aber auch gefährden.

Im Sinne der Generationengerechtigkeit sollten der Betrieb und die Entwicklung der Wasserinfrastrukturen den Grundsätzen der Nachhaltigkeit folgen und sowohl die ökonomische, die ökologische als auch die soziologische Nachhaltigkeit als Ziel im Auge behalten. Entscheidungen wirken sich durch die Langlebigkeit der Wasserinfrastrukturnetze auf viele Generationen aus. Dem Bedürfnis der Kommunen nach einem optimierten Einsatz der finanziellen Mittel müssen die entwickelten Methoden zur Entscheidungshilfe jedoch ebenfalls gerecht werden.

Die Ausreizung der Nutzungsdauer von Trinkwasserver- und Abwasserinfrastrukturen unter Sicherstellung der langfristigen Ver- und Entsorgungsziele bei einem schonenden Umgang mit Ressourcen zählt daher zu den zentralen Herausforderungen der Siedlungswasserwirtschaft des 21. Jahrhunderts, die auch zahlreiche Forschungsfragen aufwirft.

## **Optimierung siedlungswasserwirtschaftlicher Infrastrukturnetze**

Die Forschungsfragen zum Thema „Optimierung der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur“ sind weitreichend. Lösungsansätze zur Optimierung der Abwasserentsorgungssys-

teme mit dem Ziel des integrierten Gewässerschutzes werden benötigt, die Adaptierung der Systeme, um klimatischen und demografischen Wandelfaktoren robust begegnen zu können, stellt ein weiteres umfassendes Forschungsfeld dar. Die Auseinandersetzung mit Instandhaltungs- und Erneuerungsaufgaben der Systeme, basierend auf dem aktuellen Ausbauzustand, bildet für die genannten Fragestellungen ein wesentliches Fundament.

In diesem Beitrag wird der Fokus auf Forschungsfragen und Lösungsansätze im Themenschwerpunkt „Asset Management“ von Wasserver- und Abwasserentsorgungsnetzen gesetzt.

Auch die International Water Association (IWA) (Alegre 2007) beschäftigt sich in den letzten Jahren intensiv mit dem Thema „Asset Management“. Dabei wird – neben der Forderung nach einer Betrachtung der Infrastruktur über den gesamten Lebenszyklus – „Asset Management“ als integrierte Aufgabe verschiedener organisatorischer Ebenen betrachtet (Abb. 1). Im Folgenden wird der Begriff „Asset Management“ in seiner Anwendung auf die „Assets“ der Siedlungswasserwirtschaft als „Infrastrukturmanagement“ übersetzt.

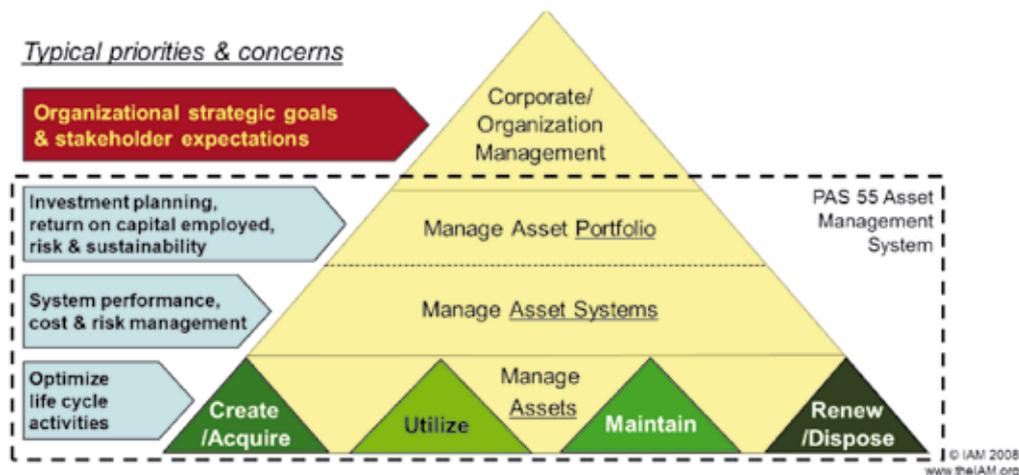


Abb. 1 ISO 55000: Grundlagen des „Asset Management“ (ISO 2014)

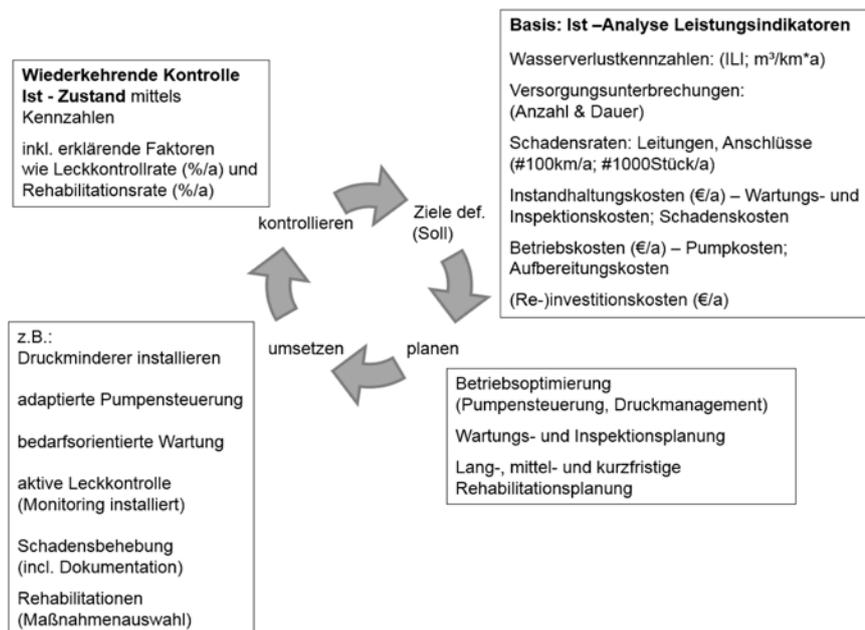
Die Betrachtung der strategischen, der taktischen und der operativen Ziele und Aufgaben des Infrastrukturmanagements hat im Kontext zur Entwicklung nachhaltiger Strategien eine besondere Bedeutung. Die strategische Ebene ist dabei vorwiegend Gegenstand finanzwirtschaftlicher Methoden und Modelle und wird in weiterer Folge nicht näher betrachtet. Die fachliche Auseinandersetzung mit Lösungswegen auf taktischer und operativer Ebene betrifft hingegen ingenieurwissenschaftliche Ansätze.

Den Prozessen des taktischen Infrastrukturmanagements liegen zahlreiche Modellierungsaufgaben zugrunde, welche einer detaillierten wissenschaftlichen Auseinandersetzung bedürfen. Der Bogen spannt sich von der Prognose der baulichen Zustandsentwicklung als Fundament für die taktische Planung von Erneuerungen und Inspektionen, über die Entwicklung von Ansätzen zur Ermittlung von Lebensdauerkosten, zur Analyse von Risiken, die durch alternde Infrastrukturen entstehen können, bis hin zur Einbeziehung von Wandelfaktoren wie Klima oder Demografie in die jeweiligen Prognosemodelle. Eine weitere Rolle spielt die hydraulische Modellierung der Systeme. Sie findet sowohl in der Risikoanalyse wie auch in der Leistungsbewertung der alternden Systeme Anwendung. Zusätzlich erlaubt sie in Kombination mit Online-Messungen hydraulischer Parameter eine verbesserte Interpretation betrieblicher Zu-

stände. In der Trinkwasserversorgung kann dadurch die Detektion und Lokalisierung von Schäden optimiert und somit das operative Infrastrukturmanagement unterstützt werden.

Auch die Nutzung von Leistungskennzahlen zur Evaluierung von Instandhaltungsaktivitäten ist eine wichtige Komponente des taktischen Infrastrukturmanagements. *Abb. 2* zeigt am Plan-Do-Check-Act (PDCA)<sup>2)</sup>-Prinzip die Einbindung von Leistungsindikatoren als Evaluierungsparameter in ein umfassendes Infrastrukturmanagement von Leitungsnetzen der Trinkwasserversorgung. Zusätzlich zu den Zustandskennzahlen und den Kennzahlen zur Bewertung der Leistungsfähigkeit, wie z. B. Versorgungsunterbrechungen, sind sogenannte „erklärende Kennzahlen“ wie etwa die Netzerneuerungsrate (% der Netzlänge) oder die Leckkontrollrate (% der Netzlänge) in eine umfassende Beurteilung der Zielerreichung einzubeziehen (Fuchs-Hanusch 2009). Das gezeigte PDCA-Konzept kann analog für die taktische Planung von Instandhaltungsmaßnahmen an Kanalisationsnetzen angewendet werden.

Auch für die Entwicklung von Entscheidungshilfesystemen stellt das PDCA Konzept eine wichtige Basis dar. Der Großteil der in den letzten 10 Jahren durchgeführten Forschungsprojekte im Infrastrukturmanagement nutzen unterschiedliche Leistungskennzahlen als Evaluierungsparameter in den Entscheidungshilfealgorithmen (Fuchs-Hanusch et al. 2008; Alegre & Coelho 2013; Scholten et al. 2014). Die entsprechenden nationalen Normen und Richtlinien geben die zu erreichenden Richtwerte vor.



**Abb. 2** Taktisches Infrastrukturmanagement von Trinkwassernetzen, dargestellt als Plan-Do-Check-Act-Prozess (abgewandelt aus Fuchs-Hanusch (2009), Ist-Standanalyse und Kontrolle erfolgen auf Basis von Leistungsindikatoren

Für die Priorisierung von Erneuerungen als eine der Planungsaufgaben des Infrastrukturmanagements hat sich für Trinkwasserversorgungsnetze insbesondere die Lebensdauerkostenanalyse bewährt (Fuchs-Hanusch et al. 2012a; Fuchs-Hanusch et al. 2012b). Sie zeigt auf, ob

<sup>2)</sup> Das Plan-Do-Check-Act-Prinzip beschreibt einen vierphasigen zyklischen Prozess, der ursprünglich aus der Qualitätssicherung kommt.

ein weiterer Betrieb einzelner Leitungsabschnitte wirtschaftlich sinnvoll ist bzw. ob und wann der wirtschaftlich optimale Zeitpunkt für eine Erneuerung gegeben ist.

Für Kanalisationsnetze und übergeordnete Trinkwassernetze hat neben der Planung von Erneuerungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen auch die Inspektionsplanung einen zentralen Stellenwert im Infrastrukturmanagement. Risikoorientierte Ansätze bieten hier eine Alternative zu den rein auf historischen Inspektionsdaten basierenden Prognosen (Fuchs-Hanusch et al. 2012c).

Sowohl für Lebensdauerkostenansätze als auch für Risikobewertungen ist die Prognose des zu erwartenden Zustandes bzw. die Prognose von zukünftigen Schäden eine unerlässliche Basis, die auch zukünftig eine wichtige Forschungsaufgabe bleiben wird. Die Qualität und Quantität der verfügbaren Zustandsinformation ist hier neben der Entwicklung geeigneter Prognosemodelle ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg. Leitungskataster und zielorientierte Inspektion bzw. Netzüberwachung müssen sich dafür weiter in der Praxis verankern.

Aber auch die Abschätzung der Auswirkungen schadhafter Leitungen auf Bevölkerung, Gewerbe und angrenzende Infrastruktur stellen eine zu beantwortende Frage dar.

Dazu ist u. a. die Modellierung des hydraulischen Zustandes der Netze unter Rohrschadensbedingungen von Interesse. Sowohl in Wasserversorgungsnetzen als auch in Kanalisationsnetzen können Schäden die hydraulische und betriebliche Leistungsfähigkeit der Netze beeinflussen sowie zu Folgeschäden an der angrenzenden Infrastruktur führen. Die Abschätzung des aus den Schächten austretenden Überstauvolumens im Einsturzscenario einzelner Haltungen zählt dabei zu den erforderlichen Lösungsansätzen bei Kanalisationsnetzen (Möderl et al. 2009; Fuchs-Hanusch et al. 2012c; Kleidorfer et al. 2013).

Um die Auswirkungen von Schäden an Wasserversorgungsnetzen besser abschätzen zu können, braucht es Methoden, die eine systematische hydraulische Modellierung des Wasseraustrittes bei Rohrbrüchen ermöglichen (Friedl et al. 2012; Fuchs-Hanusch et al. 2015).

Die hydraulische Modellierung hat darüber hinaus zur Lösung von Fragestellungen im Kontext zur Wasserverlustdetektion in Trinkwassernetzen einen wichtigen Stellenwert (Neumayer et al. 2014; Steffelbauer et al. 2014a; Steffelbauer et al. 2014b).

Diese angesprochenen Lösungsansätze stellen unerlässliche Bausteine für umfassende Entscheidungshilfesysteme im nachhaltigen Infrastrukturmanagement dar. Diese kamen in den letzten Jahren in mehreren Projekten, an denen das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Graz beteiligt war, bei österreichischen Wasserver- und Abwasserentsorgungsunternehmen zur Anwendung.

In den Projekten PiReM (Pipe Rehabilitation Management) und IRM (Infrastructure Rehabilitation Management) wurden insbesondere die Schadensprognose und Lebensdauerkostenansätze entwickelt sowie die Möglichkeit der Leistungsevaluierung verschiedener Szenarien basierend auf der Zustandskennzahl Schadensrate je 100 km \* a realisiert. Das entwickelte Entscheidungshilfesystem wird in Städten wie Berlin, Wien, Linz oder Graz sowie in den Gemeinde-

netzen des Wasserleitungsverbandes nördliches Burgenland in der Erneuerungsplanung eingesetzt.

Die entwickelten Risikoansätze sind insbesondere für übergeordnete Netze von Interesse und wurden im Projekt ZuHaZu (Zustandsbewertung von Haupt- und Zubringerleitungen) in Zusammenarbeit mit Wien Wasser (500 km Transportleitungen) und dem Wasserleitungsverband nördliches Burgenland (800 km Transportleitungen) entwickelt. Die statistische Prognose von Schadensarten hat sich dabei als eine wichtige Erweiterung gängiger Ansätze, insbesondere zur besseren Abschätzung des zu erwartenden Wasseraustrittes im Falle von Rohrbrüchen, herausgestellt.

Die risikobasierten Ansätze sowie die Prognose der Schadensarten haben sich auch im Instandhaltungsmanagement von Kanalisationsnetzen als optionaler Ansatz in der Inspektionsplanung bewährt und wurden insbesondere im Projekt INFOSAN „Strategische Informationsbeschaffung als Basis für die mittel- und langfristige ganzheitliche generelle Sanierungsplanung von Kanalisationsanlagen in Österreich“ weiterentwickelt.

## **Offene Forschungsfragen im Infrastrukturmanagement**

Bei der umfassenden Auseinandersetzung mit dem Thema Infrastrukturinstandhaltung in der eigenen Forschung sowie bei Betrachtung des aktuellen Standes der internationalen Forschung wurden folgende offene Fragestellungen erkannt, die den zukünftigen Forschungsbedarf im Infrastrukturmanagement aufzeigen:

- Es besteht der Bedarf nach innovativen, zuverlässigen und leistbaren Technologien, um den aktuellen Zustand von Trinkwasserleitungen zu bestimmen. Derzeit werden Haupt- und Zubringerleitungen, bei welchen die eingesetzten Prognosemodelle ein hohes Schadensrisiko vorhersagen, oft ohne genaue Kenntnis des tatsächlichen Zustandes vorbeugend erneuert, da die Verantwortlichen das hohe Risiko von Versorgungsunterbrechungen und kostenintensiven Folgeschäden nicht in Kauf nehmen wollen.
- Ergänzend dazu besteht auch für die Trinkwasserversorgungsnetze der Bedarf nach zuverlässigen Monitoring-Systemen, die gekoppelt mit mathematischen Modellen die Optimierung von Wartung und Betrieb der Versorgung zum Ziel haben. Derzeit verfügt bereits eine Vielzahl der österreichischen Versorgungsunternehmen über entsprechende Fernwirkanlagen. In der Entwicklung von Lösungen zur Interpretation sowie zur modelltechnischen Weiterverarbeitung der gemessenen Parameter steckt insbesondere im Bereich des Energie- und Wasserverlustmanagements noch ein hoher Forschungsbedarf.
- Auch in der Kanalnetzinspektion besteht Bedarf an innovativen Technologien, die eine zuverlässigere Bewertung der Kanalzusände ermöglichen und den Bedarf nach Kosteneinsparungen bei der Inspektion ebenfalls decken.
- Bei der Entwicklung von Entscheidungshilfesystemen für die Kanalsanierungsplanung besteht noch weiterer Bedarf nach Ansätzen, die sich an der Nachhaltigkeit des Systems orientieren. Dies sind z. B. Ansätze, die über die Priorisierung nach Zustandsklassen und der an Schadensbildern orientierten Maßnahmenplanung hinausgehen und einen Ver-

gleich von Maßnahmenalternativen mittels lebesdauerorientierter Methoden, im Sinne eines Vergleiches Reparatur vs. Erneuerung, erlauben. In diesem Kontext spielt auch die integrierte Betrachtung des Systems öffentlicher Kanal und Hauskanal eine Rolle, wobei hier insbesondere organisatorische und rechtliche Probleme zu bewältigen sind.

- Es fehlen nach wie vor Lösungsansätze, die eine bessere integrierte Planung mehrerer Sparten ermöglichen. Die integrierte Planung scheitert allerdings vielfach an der mangelnden Vernetzung der einzelnen Sparten und stellt daher ebenfalls mehr ein organisatorisches Problem als eine offene Forschungsfrage dar. Nichtsdestotrotz spielt diese Thematik eine wesentliche Rolle im Kontext zu der in der Einleitung bereits thematisierten Problematik der verzögerten Erneuerung, die stark durch die finanziellen Rahmenbedingungen der Kommunen geprägt ist.

Forschungsprojekte mit interdisziplinärem und transdisziplinärem Charakter sind für diese Problematik von enormer Bedeutung. Dabei muss die Beleuchtung des Instandhaltungsthemas aus Sicht von Straße, Kanal, Wasser, Gas, Fernwärme usw. erfolgen und darüber hinaus die Einbeziehung von wirtschaftlichen, politischen und soziologischen Aspekten stattfinden. Die Einbindung aller „Stakeholder“, wie EigentümerInnen, PolitikerInnen über die MitarbeiterInnen bis zu den KundInnen, stellt eine Chance dar, um die oft politisch/kurzfristig orientierten Finanzentscheidungen besser in Richtung Nachhaltigkeit zu lenken.

## Literatur

- Alegre, H. (2007): Strategic infrastructure asset management: concepts, 'schools' and research needs. In: *Leading Edge in Strategic Asset Management IWA* (ed.), IWA, Lisbon.
- Alegre, H. & Coelho, S. T. (2013): Infrastructure Asset Management of Urban Water Systems. In: *Water Supply System Analysis – Selected Topics Ostfeld Avi* (ed.).
- Friedl, F., Möderl, M., Rauch, W., Liu, Q., Schrotter, S. & Fuchs-Hanusch, D. (2012): Failure Propagation for Large-Diameter Transmission Water Mains Using Dynamic Failure Risk Index. In: *World Environmental and Water Resources Conference EWRI 2012, ASCE – American Society of Civil Engineering, Albuquerque, USA*, pp. 3082-95.
- Fuchs-Hanusch, D., Kornberger, B., Gangl, G., Kölbl, J., Hofrichter, J. & Kainz, H. (2008): PiReM - Pipe Rehabilitation Management Developing a Decision Support System for Rehabilitation Planning of Water Mains. *Water practice & technology* 3(1).
- Fuchs-Hanusch, D. (2009): Effiziente Instandhaltung von Wasserverteilsanlagen (Efficient Maintenance of Water Supply Systems). *Energie, Wasser - Praxis* 1, 12-7.
- Fuchs-Hanusch, D., Friedl, F., Zöggeler, A. & Kainz, H. (2012a): Global sensitivity analysis of cost parameters in drinking water pipe rehabilitation planning. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 64(9-10), 462-70.
- Fuchs-Hanusch, D., Kornberger, B., Friedl, F. & Scheucher, R. (2012b): Whole of Life Cost Calculations for Water Supply Pipes. *Water asset management international* 8(2), 19-24.
- Fuchs-Hanusch, D., Möderl, M., Kretschmer, F., Friedl, F. & Ertl, T. (2012c): Risk and Performance Oriented Sewer Inspection Planning. In: *World Environmental and Water Resources Congress 2012: Crossing Boundaries, ASCE – American Society of Civil Engineering*, pp. 3711-23.
- Fuchs-Hanusch, D., Steffelbauer, D., Günther, M. & Muschalla, D. (2015): Systematic material and crack type specific pipe burst outflow simulations by means of EPANET2. *Urban Water Journal*.
- ISO (2014): ISO 55000:2014 Asset management - Overview, principles and terminology. In: *Organisation International Standardisation* (ed.).

- Kleidorfer, M., Möderl, M., Tscheikner-Gratl, F., Hammerer, M., Kinzel, H. & Rauch, W. (2013): Integrated planning of rehabilitation strategies for sewers. *Water Science and Technology* 68(1), 176-83.
- McDonald, R. I., Weber, K., Padowski, J., Flörke, M., Schneider, C., Green, P., . . . Montgomery, M. (2014): Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. *Global Environmental Change* 27(0), 96-105.
- Meyer, I., Sinabel, F. & Steininger, K. (2013): Volkswirtschaftliche Effekte der Investitionen in der Siedlungswasserwirtschaft. In: Siedlungswasserwirtschaft Abteilung VII/6 (ed.), Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Möderl, M., Kleidorfer, M., Sitzenfrei, R. & Rauch, W. (2009): Identifying weak points of urban drainage systems by means of VulNetUD. In: *Water Science and Technology*, pp. 2507-13.
- Neumayer, M., Steffelbauer, D., Günther, M. & Fuchs-Hanusch, D. (2014): Computational Efficient Small Signal Model For Fast Hydraulic Simulations. In: 11th International Conference on Hydroinformatics, New York.
- Neunteufel, R., Friedl, F., Perfler, R., Schrotter, S., Mayr, E. & Fuchs-Hanusch, D. (2013): Abschlussbericht ÖVGW-Benchmarking 2012, ÖVGW.
- OECD (2007): Infrastructure to 2030: Mapping Policy for Electricity, Water and Transport.
- Rodriguez, D. J., Berg, C. v. d. & McMahon, A. (2012): Water Papers, Investing in Water Infrastructure: Capital, Operations and Maintenance. , World Bank, Water Unit, Transport, Water and ICT Department, Sustainable Development Vice Presidency.
- Scholten, L., Scheidegger, A., Reichert, P., Mauer, M. & Lienert, J. (2014): Strategic rehabilitation planning of piped water networks using multi-criteria decision analysis. *Water Research* 49, 124-43.
- Steffelbauer, D., Neumayer, M., Günther, M. & Fuchs-Hanusch, D. (2014a): Sensor Placement and Leakage Localization Considering Demand Uncertainties. *Procedia Engineering* 89(0), 1160-7.
- Steffelbauer, D., Günther, M., Neumayer, M. & Fuchs-Hanusch, D. (2014b): Leakage Localization In Virtual District Metered Areas With Differential Evolution. In: 11th International Conference on Hydroinformatics, IWA, New York.
- Walton, B. (2012): America's Water Infrastructure Shows Its Age — The National Debate About How to Pay for Repairs. In: *Waternews Blue Circle of* (ed.).

**Ass.-Prof. DI Dr. Daniela Fuchs-Hanusch**

Technische Universität Graz

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau

8010 Graz, Stremayrgasse 10/I

fuchs-hanusch@tugraz.at

# Nachhaltiger und ökologisch orientierter Wasserbau – Perspektiven bis 2035

*Helmut HABERSACK, Michael TRITTHART, Marcel LIEDERMANN, Christine SINDELAR & Christoph HAUER, Universität für Bodenkultur Wien*

## Zusammenfassung

Der Wasserbau trägt generell in allen Themenbereichen zur integralen Wasserwirtschaft bei. Die Perspektiven eines nachhaltigen und ökologisch orientierten Wasserbaus umfassen Lösungen, die gleichzeitig mehrere Zielsetzungen erfüllen und sogenannte „win-win“-Ansätze darstellen. Diese mitunter widerstrebenden Ziele sind durch EU-Richtlinien und nationales Recht vorgegeben und betreffen in der Umsetzung gleichzeitig *ein* Fließgewässer samt Einzugsgebiet. Bis 2035 ergeben sich darin große Herausforderungen in den Bereichen „Wasser nutzen“ (Wasserkraft, Schifffahrt), „vor dem Wasser schützen“ (integriertes Hochwasserrisikomanagement) und „Wasser schützen“ (Fluss(rück)bau). Dieser Artikel stellt die Problemstellungen, innovative Lösungsansätze und den damit verbundenen Forschungs- und Handlungsbedarf für die nächsten 20 Jahre dar.

## 1. Einleitung

Flüsse sind komplexe, dynamische und vielfältige Ökosysteme. Sie sind grundlegend für das Leben und besitzen große kulturelle Bedeutung. Flüsse erfüllen eine Vielzahl von Nutzungsanforderungen wie beispielsweise Trinkwasserversorgung, Lebensraum, Wasserkraft, Schifffahrt, Bewässerung und Erholung. Ihre Einzugsgebiete sind durch nicht nachhaltige „Übernutzung“ bedroht. Häufigere und schwerere Überschwemmungen und Dürren bedingt durch den Klimawandel und Landnutzungsänderungen führen zu veränderter Morphologie, erhöhter Verschmutzung, Verschlechterung aquatischer Lebensräume und Reduktion von Biodiversität. Der Wasserbau begleitet seit tausenden von Jahren die Entwicklung der Menschheit und spiegelt die immer größer werdenden Anforderungen an das Wasser, nicht zuletzt aufgrund des Anstiegs der Bevölkerung, der Verstädterung und der Folgen des Wirtschaftswachstums.

Durch wasserbauliche Forschung werden neue Antworten und integrative Ansätze erarbeitet, die gleichzeitig mehrere Zielsetzungen erfüllen und sogenannte „win-win“-Ansätze darstellen. Die wissenschaftlichen Fachgebiete des nachhaltigen, ökologisch orientierten Wasserbaus umfassen im Grundlagenforschungsbereich Hydrodynamik, Sedimenttransport, Morphodynamik und in der anwendungsorientierten Forschung Hochwasserschutz, Flussbau, Wasserkraft, Ökohydraulik und Habitatmodellierung.

Dieser Artikel stellt die Problemstellungen, innovative Lösungsansätze und den damit verbundenen Forschungs- und Handlungsbedarf für die nächsten 20 Jahre dar.

## 2. Die Rolle des nachhaltigen, ökologisch orientierten Wasserbaus in der Integralen Wasserwirtschaft

Die Integrale Wasserwirtschaft versucht, einen Ausgleich zwischen den Bereichen

- Wasser nutzen,
- vor dem Wasser schützen und
- Wasser schützen

herzustellen (Abb. 1). Dabei werden die Gewässer und deren Einzugsgebiete als räumlicher Bezug herangezogen. Der „Schutz vor dem Wasser“ betrifft den Hochwasserschutz, „Wasser nutzen“ neben der Trinkwasserversorgung die Wasserkraft und Schifffahrt und der Bereich „Wasser schützen“ die ökologischen Anforderungen an Fließgewässer, wo der Flussrückbau von zunehmender Bedeutung ist.



**Abb. 1** Teilbereiche der Integralen Wasserwirtschaft und Themen des Wasserbaus (Grundlage modifiziert übernommen, Quelle: [www.bk.admin.ch](http://www.bk.admin.ch))

## 3. Problemstellungen an Fließgewässern

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie 2000 (Richtlinie 2000/60/EG 2000) zielt bei Fließgewässern auf eine Erhaltung und Erreichung eines Guten Ökologischen Zustands bzw. Guten Ökologischen Potenzials ab, welches 2015 bzw. abgestuft bis 2021 und 2027 angestrebt wird. Die Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (Hochwasserrichtlinie) hat das Ziel, einen Rahmen für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeit in der Gemeinschaft zu schaffen. Das EU-NAIADES-II-Programm 2013 verfolgt das Ziel, die Voraussetzungen für die Binnenschifffahrt zu schaffen, ein qualitativ hochwertiger Transportsektor zu werden. Dabei werden verschiedene Aktionen festgelegt, die neben einem funktionierenden Markt, gerin-

gen Emissionen, geschultem Personal, moderner Flotte, und multimodalen Logistikketten besonders auch die Verbesserung der Infrastruktur Wasserstraße anspricht ([http://ec.europa.eu/transport/modes/inland/promotion/naiades2\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/modes/inland/promotion/naiades2_en.htm)). Schließlich zielt die EU-Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG darauf, dass für die Mitgliedstaaten der Europäischen Union verbindlich der von ihnen jeweils bis zum Jahr 2020 zu erreichende Anteil von erneuerbaren Energien an der von ihnen verbrauchten gesamten Energie mit dem Ziel festgelegt wird, dass bis zu diesem Jahr in der gesamten EU der Anteil von erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bei mindestens 20 % liegen wird. Dies betrifft im Bereich des Wasserbaus vorrangig die Wasserkraft. Aus den EU-Vorgaben resultiert, dass bei Anwendung und Umsetzung an ein und demselben Fließgewässer Konflikte vorprogrammiert sind. Der nachhaltige und ökologisch orientierte Wasserbau versucht, im Sinne der integralen Wasserwirtschaft einen Ausgleich zwischen diesen Ansprüchen herzustellen, indem Strategien und schließlich Maßnahmenbündel entwickelt werden, die eine „win-win“-Lösung anstreben.

### 3.1. Feststoffhaushalt als zentrale Problemstellung für alle Sektoren

An den Fließgewässern Österreichs, aber auch international und global, geht die Schere zwischen Überschuss an Feststoffen (z. B. in Stauhaltungen) und Defizit (z. B. in freien Fließstrecken der Flüsse) mehr und mehr auf. Gemäß einer UN-Studie liegt der Zeitpunkt, zu dem 80 % des Nutzvolumens der Speicher für die Wasserkraftnutzung verlandet sind, zwischen 2035 (z. B. Asien) und 2080 (z. B. Europa, Russland, Südamerika). Andererseits tiefen sich die Flüsse in freien Fließstrecken in Österreich mit einer Rate von 0,5 bis 7 cm/Jahr ein, im Extremfall kann nach Erosion der Kiesschicht ein Sohldurchschlag ins Tertiär/Feinmaterial erfolgen (z. B. Salzach), mit allen technischen, ökologischen und ökonomischen Konsequenzen. Die Donau zeigt auch in der rumänisch-bulgarischen Grenzstrecke sowie im Delta Sohleintiefungen und das Sedimentdefizit führt am Schwarzen Meer zu einer Küstenerosion von bis zu 17 m/Jahr. Auf globaler Ebene weisen viele große Flüsse ebenfalls eine Abnahme der Feststofffracht auf (z. B. Gelber Fluss, Yangtze, Mississippi, Mekong). Im Bereich des in den freien Fließstrecken der Flüsse vorherrschenden Sedimentdefizites sind es auch die Unterspülungen von Bauwerken, die in den Vordergrund treten. Die Auswirkungen von Sedimentdefizit sind im Gegensatz zum Überschuss oft nicht sofort erkennbar und nur durch lange Messreihen oder bei massiven Veränderungen, wie z. B. Sohldurchschlag oder Verwerfungen, festzustellen.

Im Bereich der Ökologie sind meist strukturelle Mängel zu finden, die in vielen Fällen mit der Beeinflussung des Sedimentkontinuums bzw. der veränderten Flussmorphologie in Zusammenhang stehen.

Ein großes Problem, das im Zusammenhang mit dem Feststoffüberschuss auftritt, ist die Weiterbehandlung (Wiederverwertung/-einbringung bzw. Entsorgung/Deponierung) von Räumgut, welches bei der Instandhaltung von z. B. Sperrn und Speichern anfällt. Durch das Abfallwirtschaftsgesetz wird die Möglichkeit der Einbringung flussab sehr stark begrenzt, was das derzeit herrschende Defizit in den freien Fließstrecken noch zusätzlich verstärkt.

## **4. Handlungs- und Forschungsbedarf im nachhaltigen und ökologisch orientierten Wasserbau bis 2035**

### **4.1. Vom Hochwasserschutz zum Integrierten Hochwasserrisikomanagement (erweitert nach Habersack, 2010)**

Die katastrophalen Hochwässer 2002 und 2005 führten in Österreich zu einem Umdenken vom klassischen Hochwasserschutz zum Integrierten Hochwasserrisikomanagement (siehe Flood Risk I und FloodRisk II). Im Jahr 2013 kam es erneut zu einem Katastrophenhochwasser mit Schwerpunkt im Donaeinzugsgebiet, wobei sich bereits der Erfolg der Hochwasserschutzmaßnahmen (z. B. Mobiler Hochwasserschutz an der Donau) aber auch die Grenzen (es gibt keinen absoluten Hochwasserschutz) zeigte. Mit dem Projekt FloodRisk E (valuierung), welches 2015 abgeschlossen wird, erfolgt die Evaluierung der bisher in FloodRisk I und II definierten Empfehlungen, mit dem Ziel, den Umsetzungsgrad zu ermitteln, Gründe für etwaige Nichtumsetzungen zu analysieren und den verbleibenden Handlungs- und Forschungsbedarf zu ermitteln. Gerade diese Ergebnisse gemeinsam mit den Erfahrungen der Umsetzung der Hochwasserrichtlinie führen bis 2035 zu neuen Ansätzen und noch verschränkteren Maßnahmen entlang des Risikokreislaufes. Der Hochwasserrisikomanagementplan wird 2021 überarbeitet und die Umsetzung sollte bis 2027 erfolgen. Es ist davon auszugehen, dass auch nach 2027 ein sich weiter entwickelndes integriertes Hochwasserrisikomanagement erforderlich ist, zumal die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen Zeit und Geld erfordert und andererseits auch neue Herausforderungen dazukommen (Feststoffe, Klimawandel, Landnutzungsänderungen etc.). Ein zentraler Punkt wird die Kooperation mit der Raumplanung sein, die einerseits die Wirtschaftsentwicklung der Kommunen ermöglichen und andererseits die Erhaltung und Verbesserung der Überflutungsflächen unterstützen soll. Neue Ansätze des nachhaltigen und ökologisch orientierten Wasserbaus, wie die Floodplain Evaluation Matrix (FEM), der flussmorphologische Raumbedarf oder das räumlich differenzierte Vegetationsmanagement sollten anhand von Pilotprojekten umgesetzt werden und anschließend in der Praxis Eingang finden. Das Life-Cycle-Management von Hochwasserschutzmaßnahmen steht am Beginn und sollte bis 2035 verstärkt realisiert werden. Weiters ist die Zusammenarbeit zwischen Katastrophenmanagement und Katastrophenvorbeugung von zentraler Bedeutung für die Verbesserung des integrierten Hochwasserrisikomanagements, gekoppelt mit ökonomischen, ökologischen, raumplanerischen und rechtlichen Maßnahmen.

### **4.2. Wasserkraft – Innovative Ansätze zur technischen, ökonomischen und ökologischen Optimierung (erweitert nach Habersack, 2013)**

In Österreich deckt die Wasserkraft derzeit etwa 58,5 % des Bedarfs an elektrischer Energie (E-Control, 2011) ab und ist ein damit bedeutender Sektor der österreichischen Energiewirtschaft. Viele der existierenden über 5200 Wasserkraftwerke entsprechen u. a. aufgrund geänderter gesetzlicher Vorgaben nicht mehr dem Stand der Technik und bedürfen einer **Optimierung**. Weiters besteht gemäß Energiestrategie Österreich ein Ausbauziel von 3,5 Terrawattstunden (TWh) bis 2015, wobei dieses Ziel bis 2015 nicht erreicht werden wird und damit in den nächsten 20 Jahren für die Wasserkraft wesentliche Aufgaben vorgegeben sind. 0,7 TWh können davon durch Effizienzsteigerungen und Revitalisierungen bestehender Standorte erreicht werden. Die simultane Erfüllung der Anforderungen aus der Wasserrahmenrichtlinie, der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie sowie infolge technischer Neuerungen und variabler energiewirtschaftli-

cher Rahmenbedingungen am Strommarkt erfordern innovative Ansätze zur technischen, ökonomischen und ökologischen Optimierung der Wasserkraft bei Revitalisierung und Neubau.

Als Beispiele für eine nachhaltige Nutzung der Wasserkraft können die „Optimierung von Wasserkraft und Ökologie bei Erneuerung oder Revitalisierung bestehender Anlagen – „win-win“-Ansatz“, „Grundlagenuntersuchungen und Methodikentwicklung zur Bewertung des Wasserkraft-Schwall bei unterschiedlichen Flusstypen“, „Die Wasserkraftschnecke – Praxis, Prüfstand und Potenzial“, die „Numerische Berechnung von Hochdruckanlagen: Global betrachtet – lokal verbessert“, und „Die Bedeutung von Feststoffhaushalt und Sedimentdurchgängigkeit“ genannt werden.

In allen Bereichen der Wasserkraft, von der technischen Verbesserung von Anlagenteilen, der Hochwassersicherheit, ökologischen Anforderungen (Organismenauf- und abstieg), feststoffrelevanten Verbesserungen bis neuen Wasserkrafttypen z. B. im Bereich der Hydrokinetik sind weitere Entwicklungen bis 2035 erforderlich, um eine Optimierung der Wasserkraft in technischer, ökonomischer und ökologischer Hinsicht zu erreichen.

#### **4.3. Innovative Methoden in Fließgewässermonitoring, Modellierung und Fluss(rück)bau (erweitert nach Habersack, 2012)**

Viele Zusammenhänge zwischen dem Transport von Wasser und Feststoffen, der Morphologie von Flüssen, der Ökologie und den Auswirkungen von flussbaulichen Maßnahmen sind noch immer unklar. In diesem Bereich trägt das Christian Doppler Labor „IM Fluss“ an der BOKU wesentliche Erkenntnisse bei. In 4 Modulen beschäftigt sich das Labor mit anwendungsorientierter Grundlagenforschung, um das Verständnis ablaufender Prozesse in Flüssen zu verbessern und mathematische Modelle zu entwickeln, um innovative flussbauliche Maßnahmen besser bewerten und adaptieren zu können. Weiters werden grundlegende Erkenntnisse in den Bereichen Schwallbetrieb und Hydrokinetik gewonnen. Im Bereich Fließgewässermonitoring liegt der Fokus auf Messmethoden und -konzepten zu den Themen Geschiebe- und Schwebstofftransport unter Einsatz innovativer Messgeräte wie Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) und Radiotracer. Dabei geht es um eine Verbesserung des Prozessverständnisses, die Schaffung einer Datenbasis für die Kalibrierung und Validierung mathematischer Modelle und die Optimierung des Monitorings für den Einsatz in der Praxis. Derzeit gibt es in Österreich ein ausgezeichnetes Messnetz für Parameter wie Niederschlag und Durchfluss etc., Schwebstoffe werden seit 2008 für über 20 Stationen veröffentlicht. Im Bereich Geschiebe finden allerdings Messungen bisher nur an Universitäten und von Kraftwerksgesellschaften statt. Bis 2035 wäre es wünschenswert, wenn einerseits das Feststoffmessnetz ausgebaut und andererseits die bestehenden Daten über das Jahrbuch zugänglich gemacht werden. Weitere Entwicklungen der Messmethodik wären wünschenswert.

Im Bereich der Fließgewässermodellierung geht es um mehrdimensionale mathematische Modelle zur Simulation der Hydrodynamik, des Sedimenttransportes, der Flussmorphologie sowie der ökologischen Prozesse in Form der Habitatmodellierung. Die Entwicklung und Umsetzung von innovativen wasserbaulichen Maßnahmen betreffend Sohlstabilisierung und Flussrückbau, insbesondere die Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferrückbau und Gewässervernetzung sollten bis 2035 weiterentwickelt werden. Diese dienen beispielsweise sowohl der wirtschaftlichen Entwicklung entlang der Flüsse, als auch der Ökologie.

#### **4.4. Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie (erweitert nach Habersack et al., 2014)**

Feststoffe und Flussmorphologie betreffen alle Fachbereiche (Hochwasserschutz, Wasserkraft und Fluss(rück)bau).

Durch die Wiederherstellung bzw. die Verbesserung des Sedimentkontinuums, v. a. der Förderung des natürlichen Durch-/Weitertransportes von Feststoffen an Bauwerken, könnte in vielen Fällen eine Verminderung der Probleme eintreten. Dazu ist die Zusammenarbeit der Sektoren Wildach- und Lawinenverbauung, Flussbau, Wasserstraße, Energiewirtschaft, Ökologie und Landwirtschaft erforderlich, wodurch Synergieeffekte in den einzelnen Bereichen erwartet werden. In den meisten Sektoren wurde auch die Ausweitung bzw. der Aufbau eines Querprofilmessnetzes und die Weiterentwicklung von Messsystemen zur Erfassung des Feststofftransportes gefordert. Zeitlich und räumlich regelmäßige Querprofilmessungen sind die Grundvoraussetzung für eine rechtzeitige Erfassung von Problemen im Zusammenhang mit dem Sedimenthaushalt, und Messungen des Feststofftransportes sind für die Kalibrierung von numerischen Modellen und die Planung von Maßnahmen notwendig.

Im Bereich des Managements und der rechtlichen Grundlagen wird ebenfalls Handlungsbedarf gesehen. Beispiele dafür sind die Mitberücksichtigung von Feststoffen betreffend Hochwasserrisikoabschätzung/-management und bei der Entwicklung von Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepten, oder die Erstellung einer zentralen Datenbank zur Erfassung durchgeführter Messungen.

Bis 2035 sollten einerseits im NGP 3 (2021) und NGP 4 (2027) konkrete Maßnahmen empfohlen werden und in der Qualitätszielverordnung festgelegt werden. Wesentlich wäre aber eine Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung des Feststoffhaushaltes und der Flussmorphologie in allen Sektoren (WLV, BWV, Wasserkraft, Wasserstraße, Ökologie und Landwirtschaft).

Im Projekt „SED\_AT – Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie“ im Rahmen des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans wurde der Forschungsbedarf zu diesem Thema unter Einbeziehung aller Sektoren festgestellt.

Grundlagenforschung zu Feststoffquellen, -potenzialen und Eintragswegen sowie Sedimenttransport, die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen Feststoffhaushalt/Morphologie und Biotik und Bauwerken und die Erforschung der Auswirkungen von hydrologischen Änderungen bzw. des Klimawandels auf den Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und die Morphologie sind notwendig.

Einen weiteren wichtigen Punkt stellt der Forschungsbedarf in Hinblick auf die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen, wie z. B. die Erhaltung/Wiederherstellung des Sedimentkontinuums, die Evaluierung und Entwicklung von Bauwerkstypen, die den Weiter-/Durchtransport von Feststoffen ermöglichen, oder die Optimierung und Entwicklung von Maßnahmen zur nachhaltigen Stabilisierung der Sohle dar. Dabei besitzen physikalische Modellversuche großen Maßstabs eine wichtige Rolle, auch in der Prozessforschung.

In *Abb. 2* ist das Handlungs- und Forschungsprogramm dargestellt. Es teilt sich in zwei Teile, die Grundlagen- bzw. Prozessforschung und den Forschungsbedarf in Hinblick auf Maßnahmen, Messungen und Monitoring, der drei räumlichen Ebenen (Einzugsgebiete Ebene, Streckenebene und Lokale Ebene) zugeordnet ist.

Im Bereich der Prozessforschung sind alle Sektoren gefordert, das Grundwissen, v. a. die Interaktionen zwischen Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und der Flussmorphologie sowie Ökologie zu verbessern. Der Forschungsbedarf der drei räumlichen Ebenen kann meist einem verantwortlichen Sektor zugeordnet werden, wobei die Auswirkungen auf und damit notwendige Zusammenarbeit mit anderen Sektoren wichtig ist.



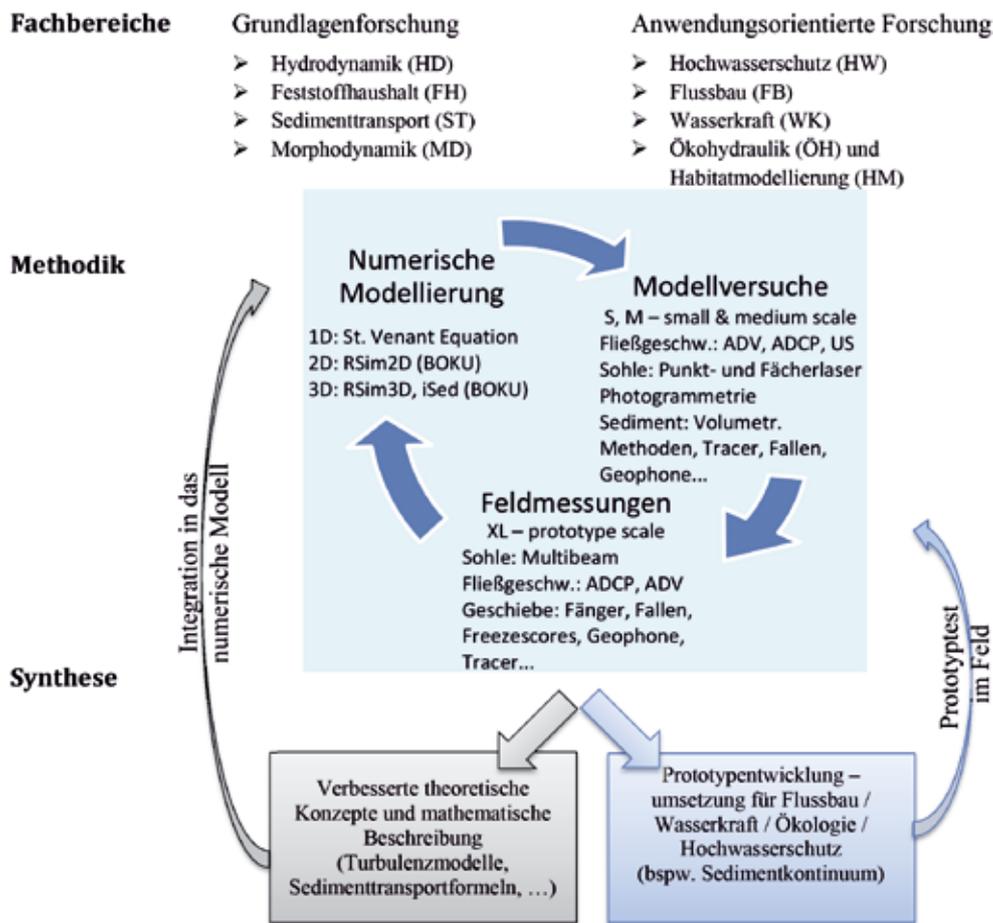
**Abb. 2** Akkordierter Handlungs- und Forschungsbedarf betreffend Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie eingeteilt in drei räumliche Skalen und den Block Prozessforschung, welcher skalenübergreifend ist (Habersack et al., 2014)

## 5. Wissenschaftliche Methoden – Perspektiven bis 2035

Die Fachbereiche und wissenschaftlichen Methoden innerhalb des nachhaltigen, ökologisch orientierten Wasserbaus sind in *Abb. 3* dargestellt. Die zum Einsatz gelangenden Methoden reichen von klassischen Modellversuchen über die numerische Modellierung bis hin zu Feldmessungen an Flüssen.

Viele hydro-morphodynamische Prozesse werden durch räumlich und zeitlich gemittelte Parameter (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung, Wassertiefe, Rauigkeitsbeiwert) beschrieben. Für Fließgewässer mit hoher Strömungs- und Sohlvariabilität sind diese vereinfachten Konzepte oft unzureichend. Beispielsweise ergibt die im alpinen Raum gängige Sedimenttransport-Formel von Meyer-Peter/Müller (1), die auf mittleren Sohlschubspannungen basiert, dass sich die Geschiebepartikel der Größe 40 mm in der Donau theoretisch erst ab ca. 3500 m<sup>3</sup>/s bewegen, in der Natur geschieht das bereits bei ca. 950 m<sup>3</sup>/s (Niederwasser).

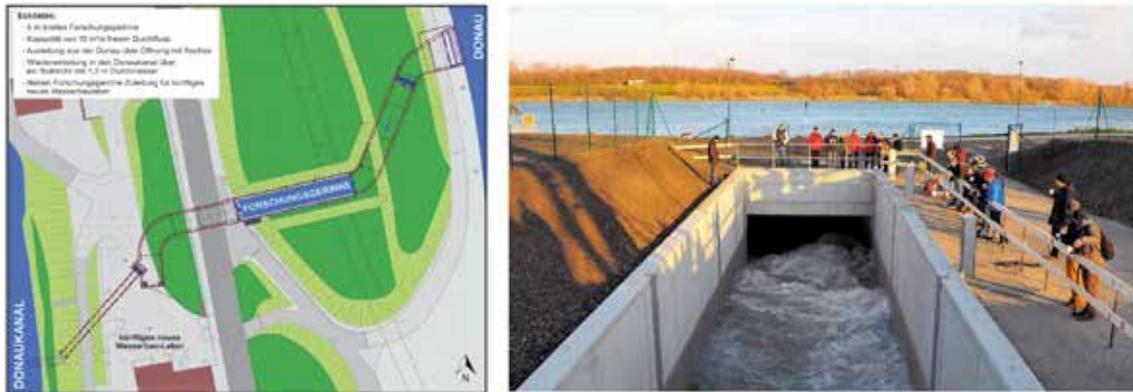
$$\frac{q_s}{\text{Re}_p \nu} = 8 \left( \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gD} - \tau_c^* \right)^{3/2} \quad (1)$$



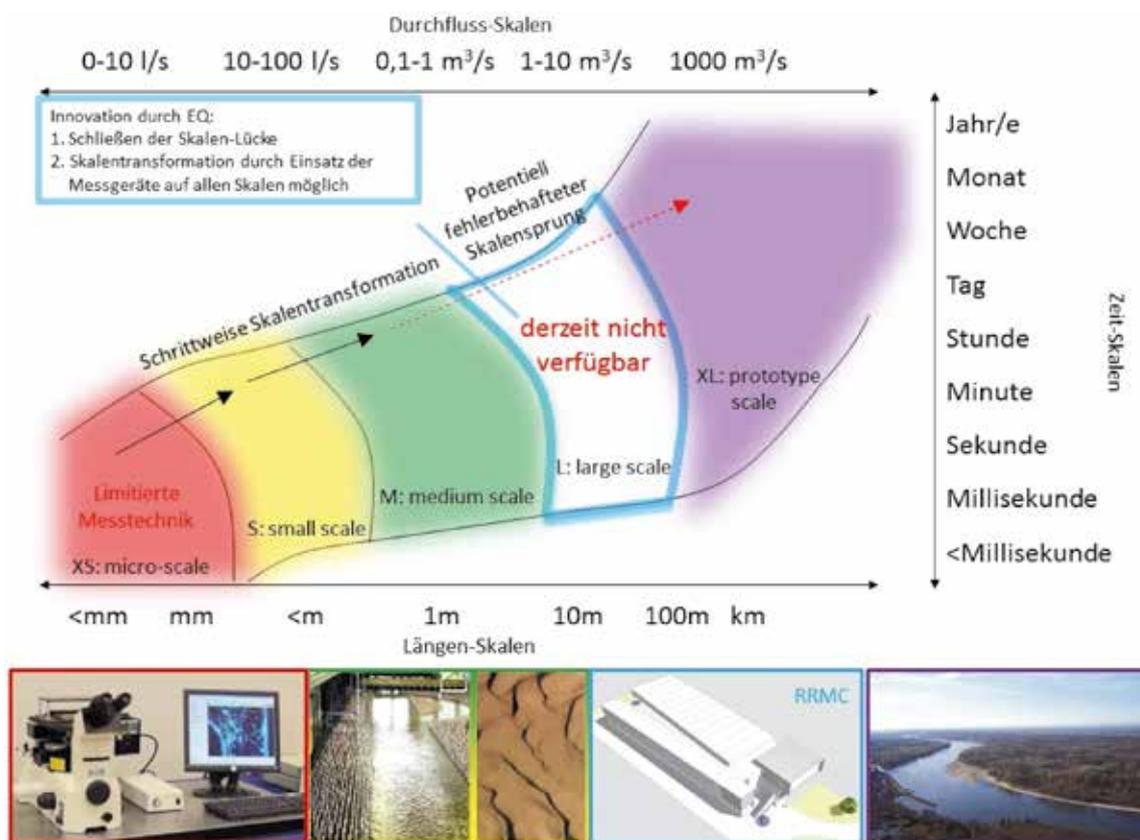
**Abb. 3** Methoden im nachhaltigen, ökologisch orientierten Wasserbau

Vielfach werden die tatsächlich ablaufenden Prozesse nur ungenügend beschrieben. Dies gilt auch für zeitlich und räumlich begrenzte Geschwindigkeitsfluktuationen (und daraus abgeleitete Turbulenzparameter wie beispielsweise TKE, Reynoldsstress oder kohärente Strukturen), die wesentlich für das Verständnis von hydro-morphodynamischen und ökologischen Prozessen sind. Dabei sind neue mathematische und semi-empirische Ansätze anhand von Feldmessungen und Modellversuchen zu ermitteln. Aufgrund der Skalierung ergeben sich beim Modellversuch systematische Fehler, die weitreichende und vor allem unbekannte Auswirkungen bei der Modellierung von hydro-morphodynamischen Prozessen haben.

Je größer der Modellmaßstab gewählt werden kann, umso geringer sind die Fehler, die man macht. Deshalb wurde 2014 in Wien von der BOKU am Brigittenauer Sporn ein Forschungsgewässer mit bis zu 10 m<sup>3</sup>/s Durchfluss ohne Pumpen (Wasserspiegeldifferenz zwischen Donau und Donaukanal, Abb. 4) errichtet, das auch der Zulauf zum neuen BOKU-Wasserbaulabor (RRMC – Responsible River Modelling Center) ist. Das RRMC wird im Rahmen des EU-Flagship-Projekts DREAM (Danube River Research and Management) errichtet. Die sehr wichtige Dimension in der Komplexität stellen verschiedenste Längen- und Zeitskalen dar, in der die wissenschaftlichen Fragestellungen untersucht werden. Sie reichen von Mikrometern zu mehreren Kilometern und von Mikrosekunden zu mehreren Jahren (Abb. 5). Mit dem Forschungsgewässer ergibt sich die Möglichkeit, einen sehr großen Labormaßstab zu erreichen, um die Lücke zwischen den kleinmaßstäblichen Versuchen (bis max. medium scale) und der Natur (XL-prototype scale) zu schließen. Damit sind die räumlichen und Durchfluss-Voraussetzungen für Versuche im „large scale“-Bereich erfüllt.



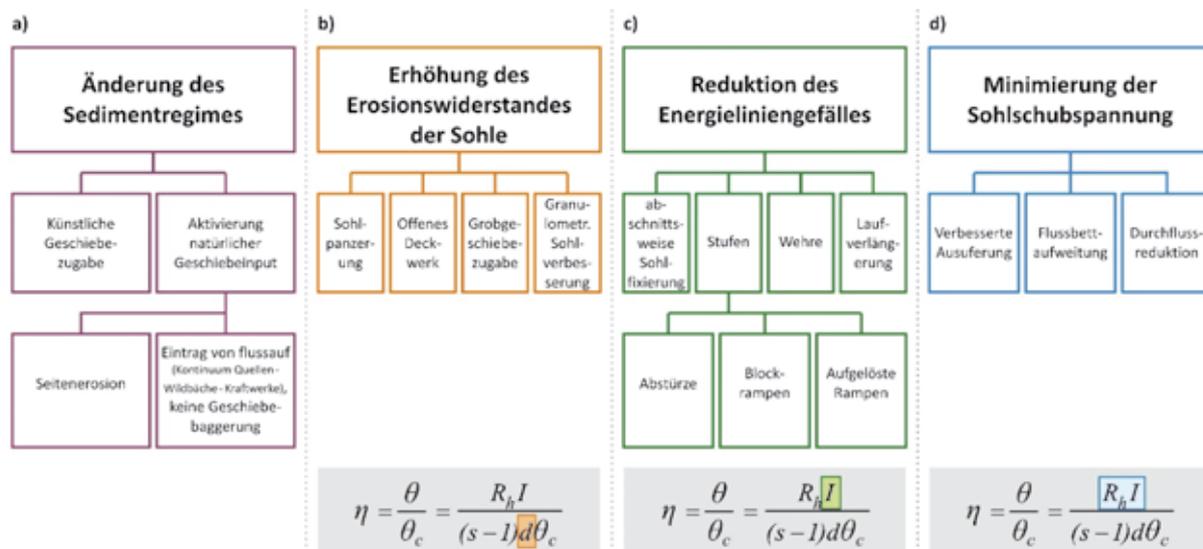
**Abb. 4** BOKU Forschungsgerinne am Brigittenauer Sporn, 1200 Wien, Grundriss-Schema (links), nach Bauabschluss (rechts), Ende 2014



**Abb. 5** Längen-, Zeit- und Durchflussskalen für Strömungs- und Sedimenttransportvorgänge, XS-Skalenbereich kann derzeit messtechnisch nicht erfasst werden, L-Skalenbereich derzeit nicht verfügbar (limitierter Labordurchfluss), Skalensprung zwischen M- und XL-Bereich potenziell fehlerbehaftet

Bis 2035 sollte mithilfe des Forschungsgerinnes ein skalen- und messtechnischer (TR 3D-PIV (Particle Image Velocimetry)) Lückenschluss erfolgen.

Wichtig ist es darüber hinaus, den Einfluss der Turbulenz auf ökologische Prozesse zu untersuchen, um vertiefte Kenntnis über die Habitatansprüche aquatischer Lebewesen zu gewinnen. Aus dem verbesserten Prozessverständnis können neue Maßnahmen oder Maßnahmekombinationen zur Sohlstabilisierung erarbeitet (Abb. 6) und Konzepte zur Verbesserung des Geschiebetransports und der kontinuierlichen Schwebstoff-Weiterleitung bei Flusskraftwerken entwickelt werden.



**Abb. 6** Flussbauliche Maßnahmen zur Verringerung der Sohleintiefung (Habersack et al., 2013). Die Parametrisierung und Verbesserung des Prozessverständnisses erfordern großmaßstäbliche Modellversuche, u. a. aufgrund der Skalensprünge

Auf Basis des verbesserten Prozessverständnisses und der damit einhergehenden mathematischen Beschreibung kann auch eine Weiterentwicklung der numerischen Modellierung (Hydrodynamik und Sedimenttransport/Morphodynamik) ermöglicht werden. Diese dient als Grundlage für den Entwurf von Modellierungswerkzeugen zur Erfassung und Optimierung von wasserbaulichen Maßnahmen in mehrdimensionalen Modellen. In diesem Zusammenhang ist bis 2035 mit einem vermehrten Einsatz von 3D-hydrodynamischen Modellen und Sedimenttransportmodellen in der ingenieurwissenschaftlichen Praxis zu rechnen. Bis 2035 wird die Optimierung der bestehenden Modellwerkzeuge hinsichtlich Performance in Richtung High Performance Computing (dennoch aber leistbar für Ingenieurbüros) hin zu besserer Parallelisierung und Verwendung von Grafikprozessoren zur Beschleunigung der Rechenprozesse um mehrere Größenordnungen möglich werden. Dadurch erhält man realistische Berechnungen (insbesondere mehrdimensionaler Sedimenttransport und Morphodynamikmodellierung) über längere Zeiträume. Schließlich werden im Bereich der Wasserwirtschaft bzw. im Wasserbau tätige Planungsbüros noch mehr als jetzt Computerwerkzeuge zur Simulation und Visualisierung ihrer Planungen verwenden, was sich auch in der universitären Lehre verstärkt niederschlagen wird.

## 6. Beiträge des nachhaltigen und ökologisch orientierten Wasserbaus in der internationalen Wasserwirtschaft

Zur Bewältigung der komplexen Herausforderungen zur Erhaltung und Wiederherstellung intakter Flusslandschaften wurden an der BOKU internationale Strategien, Aktivitäten und Projekte ins Leben gerufen. Dazu zählen das Flagship-Projekt DREAM (Danube River Research and Management) im Rahmen der europäischen Donaunraumstrategie EUSDR ([www.danube-region.eu](http://www.danube-region.eu)), der im Jahr 2014 eröffnete UNESCO-Lehrstuhl für „Integrated River Research and Management“ (<http://unesco-chair.boku.ac.at>) sowie die UNESCO IHP World’s Large Rivers Initiative (<http://worldslargerivers.boku.ac.at/wlr>). Bis 2035 besteht damit auch die Möglichkeit, international im Donaunraum und darüber hinaus Aktivitäten zu setzen und somit eine Internationalisierung der österreichischen Wasserwirtschaft zu unterstützen.

## Danksagung

Die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für ein Lebenswertes Österreich sowie die Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung wird dankend anerkannt. Bernhard Schober wird für die Bearbeitung der Grafiken gedankt.

## Literatur

- Habersack, H., Klösch, M., Blamauer, B. (2013): Flussrückbau und Sohlenstabilisierung am Beispiel der Oberen Drau. *Wasserwirtschaft*, 103 (7-8), 69-73.
- Habersack, H. (2010): Integriertes Hochwassermanagement, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 62 (1-2), 1-2.
- Habersack, H. (2013): Wasserkraft – innovative Ansätze zur technischen, ökonomischen und ökologischen Optimierung, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 65 (9-10), 313-314.
- Habersack, H., Liedermann, M., Tritthart, M., Hauer, C., Klösch, M., Klasz, G., Hengl, M. (2012): Maßnahmen für einen modernen Flussbau betreffend Sohlstabilisierung und flussrückbau – Granulometrische Sohlverbesserung, Bühnenoptimierung, Uferückbau und Gewässervernetzung, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 64 (11-12), 571-581.
- Habersack, H. (2012): Innovative Methoden in Fließgewässermonitoring, Modellierung und Flussbau, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 64 (11-12), 525-526.
- Habersack, H. (2014). Feststoffhaushalt und Sedimenttransport – zentrale Zukunftsthemen in der österreichischen und internationalen Wasserwirtschaft. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 66 (9-10), 295-296.
- Habersack, H, Blamauer, B, Villwock, H, Prenner, D, Hauer, C (2014): SED\_AT – Feststoffhaushalt, Sedimenttransport und Flussmorphologie im Rahmen des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplans, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 66 (9-10), 327–339.
- Richtlinie 2000/60/EG 2000 (2000): The EU Water Framework Directive – integrated river basin management for Europe. European Commission.

### **Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Habersack**

Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Christian Doppler Labor für Innovative Methoden in Fließgewässermonitoring, Modellierung und Flussbau

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

1190 Wien, Muthgasse 107

helmut.habersack@boku.ac.at



# Österreichische Siedlungswasserwirtschaft 2035 – Was bleibt, was wird sich ändern?

Harald KAINZ, Technische Universität Graz

## Einleitung

Im folgenden Beitrag versuche ich, den Blick auf meinen Fachbereich – die Siedlungswasserwirtschaft – in etwa 20 Jahren zu richten und in die zukünftigen Entwicklungen aus der heutigen Sicht abzuschätzen. Die Aufgabenstellung sieht einen Fokus auf Österreich vor.

Für alle Untersuchungen und Planungen in der Siedlungswasserwirtschaft sind die Betrachtungen des gesamten Wasserkreislaufes und der wichtigsten Wechselwirkungen mit der Umwelt erforderlich. Zusätzlich gilt es bei wissenschaftlichen Untersuchungen und Planungen immer die quantitativen und qualitativen Aspekte zu betrachten und in Wassermengenbilanzen und Stoffbilanzen zu denken.

Die extreme Dynamik z. B. in der Informations- und Kommunikationstechnik ist mit der hohen Trägheit von Investitionen, die Jahrzehnte von Nutzen sein sollen, in Einklang zu bringen. Die vielfältigen Abhängigkeiten der Siedlungswasserwirtschaft vom Wasserkreislauf und Wasserdargebot, von Umwelteinflüssen und Landnutzungen, von gesellschaftlichen Auswirkungen und allen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen ergeben ein System mit fast unendlichen vielen Möglichkeiten.

## Zeitkomponente in der Siedlungswasserwirtschaft

Viele Fragen, die heute im Zentrum wissenschaftlicher Forschung stehen werden, in 20 Jahren angewandt werden bzw. in der Umsetzungsphase in die Praxis stehen.

Sehr anschaulich wird dies, wenn wir 20 Jahre zurückblicken. In der Siedlungswasserwirtschaft wurden vor 20 Jahren die Anpassungen der Emissionsverordnungen bei der kommunalen und industriellen Abwasserreinigung und die Umstellung auf Stickstoff- und Phosphorelimination geplant bzw. mit deren Umsetzung begonnen. Diese Umbauten sind nunmehr abgeschlossen und auch die betriebliche Optimierung unter den neuen Randbedingungen ist weitgehend erfolgt.



Abb. 1 Hauptkläranlage Wien – Fertigstellung Erweiterung 2005

Österreich ist seit Jahrzehnten weltweit im Grundwasserschutz führend. In den 80er- und 90er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden in intensiver und nicht immer konfliktfreier Abstimmung zwischen Land- und Wasserwirtschaft die Weichen für einen umfassenden Grundwasserschutz und ein integrales Grundwasser-Management gelegt. Dieses österreichische Modell wurde von der EU als „Best Practice“ anerkannt und in vielen Bereichen auf die europäische Ebene übertragen.

Vor 10 Jahren wurden die ÖWAV-Richtlinien zur Mischwasserbewirtschaftung überarbeitet und die ersten Projekte in großen Städten befinden sich in Planung und Bau.

Gleichzeitig wurden umfassende Konzepte zur Erhaltung (Life-Cycle-Betrachtungen und Rehabilitationskonzepte) und Verbesserung (Benchmarking) der Leistungsfähigkeit unserer Trinkwasserversorgungsanlagen bearbeitet.

Wasserwirtschaftliche Infrastruktur (Ver- und Entsorgungsnetze, Kraftwerke) hat eine sehr lange Zykluszeit von 30 bis 50 Jahren. Das bedeutet, dass die hohen Investitionen in diese Infrastruktur nur über Jahrzehnte zu finanzieren und Änderungen nur langfristig in mehreren Jahrzehnten umzusetzen sind.

Auch die wasserwirtschaftlichen Systeme sind sehr träge (Wasserkreislauf, Grundwasser, Seen und Flüsse, Bodenwasserhaushalt). Eine Reduktion des Nährstoffeintrages aus der Landwirtschaft wirkt sich z. B. nur langfristig in den Grundwasserparametern aus.

Für die Zukunft gilt aber zu beachten, dass die digitale Revolution in Taktzeiten von wenigen Jahren voranschreitet. Unsere gesamte Umwelt wird durch den fast unbeschränkten Zugang und Transfer von Daten nachhaltig verändert. Ich bin überzeugt, dass das „Internet of Things“ unseren Informationszugang zu allen wasserwirtschaftlichen Anlagen wesentlich verändern wird.

## **Interdisziplinarität**

Die Wasserwirtschaft wurde schon immer und wird auch in Zukunft durch hohe Interdisziplinarität geprägt. Die Möglichkeiten der interdisziplinären Zusammenarbeit wurden in den letzten Jahren durch den verbesserten Zugang zu Daten und Information wesentlich erweitert. Erst das Zusammenspiel von Wassermengenwirtschaft, Wasserqualitätswirtschaft, Maschinenbau, Elektrotechnik, Chemie, Biologie, Medizin und der modernen Informations- und Kommunikationstechnologie sichern heute ökologisch und ökonomisch sinnvolle und effiziente Lösungen.

## **Neue Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft**

Auch in der Wasserwirtschaft werden neue Prozesse und Verfahren entwickelt und neue Technologien angewandt. Der Motor für diese neuen Technologien sind dabei überwiegend andere Fachbereiche wie z. B. die Informatik und Elektrotechnik, die sich deutlich schneller verändern als die infrastrukturellen Maßnahmen.

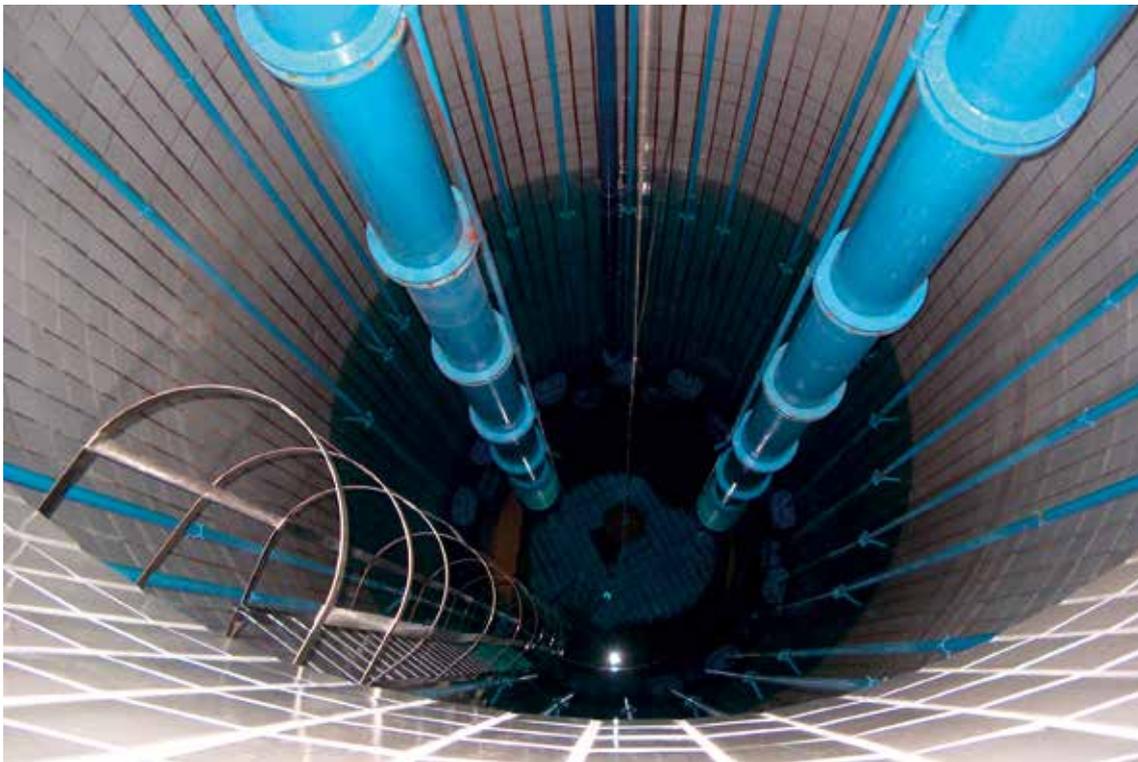
Heute wird eine Vielzahl neuer physikalischer Sensorsysteme entwickelt, die sehr klein und durch Mikrobatterien für Jahre unabhängig von externer Energieversorgung sind. Diese Sen-

soren können immer mehr Parameter über den Anlagenzustand messen. Durch die allgegenwärtige E-Cloud erfolgt die Informationsübertragung in unsere zentralen Rechensysteme. Für einen optimierten Betrieb ist eine automationsunterstützte Steuerung und Regelung unserer Systeme unabdingbar. Wir werden in 20 Jahren über unsere Anlagen wesentlich mehr Informationen besitzen, gemessen von umfangreichen Sensorsystemen, und unterstützt von Expertensystemen in Abstimmung mit der Erfahrung hochqualifizierten Personals die wasserwirtschaftlichen Anlagen wesentlich vorausschauender und effizienter betreiben. Die Kosten für diese Sensorsysteme betragen nur 10 bis 20 % der Kosten der Infrastruktur.

Dies setzt eine deutlich höhere Qualifikation des Personals in der Wasserwirtschaft voraus und erfordert zusätzliche Informations-, Mess- und Regelungstechniker.

## Wasserversorgung

In der Wasserversorgung sind wir gut beraten den österreichischen Weg mit dem Vorrang für den Schutz der Wasserressourcen fortzusetzen.



**Abb. 2** Horizontalfilterbrunnen – Graz Andritz

Das Wissen über die Wirkung von unterschiedlichsten Spurenstoffen, Pharmaka und Hormonen in unserem Körper nimmt rapide zu. Wir werden uns daher intensiv mit den Verbreitungs- und Abbaumechanismen vieler dieser Inhaltsstoffe auseinandersetzen müssen. Der Nutzen für die Gesundheit darf nicht mehr allein ausschlaggebend für das Inverkehrbringen von Medikamenten sein!

Natürlich gilt es, die Verfahren zur Entfernung dieser Spurenstoffe durch Oxidation, Adsorption und mechanischen Rückhalt (physikalische, chemische und elektrochemische Verfahren, Membranverfahren) weiterzuentwickeln und ihren betrieblichen Einsatz zu testen.

Im Bereich der Infrastruktur werden uns die neuen physikalischen Sensorsysteme und Kommunikationsmöglichkeiten erlauben, optimierte Betriebs- und Rehabilitationsmodelle anzuwenden. Wir werden in 20 Jahren über „intelligente Wasserversorgungsnetze“ verfügen, deren Armaturen und Rohrleitungen mit integrierter Sensorik ausgestattet sind, welche uns, beginnend von den Produktionsbedingungen der einzelnen Armaturen bis hin zu den aktuellen betrieblichen Daten, alle Informationen online zur Verfügung stellen. Das Management dieser fast unbegrenzten Datenflut, die Selektion der wesentlichen Informationen und die unmittelbare Reaktion auf verschiedenste Belastungszustände, Schadensfälle oder rasche Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen, werden den betrieblichen Alltag prägen.

## **Kanalisation und Abwasserreinigung**

Die flächendeckende Niederschlagswasserbewirtschaftung ist ein Thema für 50 Jahre und mehr und wird uns in 20 Jahren noch genauso beschäftigen wie heute.

Die technische, betriebliche und ökologische Optimierung der Entwässerungssysteme wird wie in der Wasserversorgung über das „Internet of Things“ getrieben, den Betrieb der Kanalisation und Abwasserreinigung stark beeinflussen.

Die weitergehende Abwasserreinigung mit physikalischen, biologischen und chemischen Verfahren ist in Österreich beinahe flächendeckend umgesetzt. Die erste Herausforderung ist nunmehr zu erheben und zu definieren, in welchen sensiblen Gewässereinzugsgebieten eine weitergehende Reinigung erforderlich ist und diese umzusetzen.

Die zweite Herausforderung wird sein, bei bestimmten Emittenten Sonderreinigungsverfahren, wie Adsorption in Aktivkohlefiltern, Rückhalt von Kolloiden und Keimen (Membrananlagen) oder die Elimination von organischen Spurenstoffen, Antibiotika, Hormonen und Röntgenkontrastmittel zu implementieren. Dafür gibt es eine Reihe von Verfahren wie die nachgeschaltete Oxidation von schwer und nicht abbaubaren Substanzen mit Ozon, Hydroxyl-Radikalen oder Peroxid.

Auch neue Verfahren wie die elektrochemische Oxidation als Alternative zur Verbrennung von Industrieabwässern, die anodische Oxidation mit Hydroxyl-Radikalen oder die Photooxidation durch Sauerstoff und UV-Strahlung werden je nach Einsatzzweck genutzt werden.

Nicht vernachlässigt werden darf die Bildung von Oxidationsnebenprodukten wie Bromat und Nitrosamine sowie Metaboliten, die teilweise noch ungünstigere Eigenschaften als die Ausgangsprodukte besitzen. In diesem Zusammenhang werden die Ökotoxikologie und die Untersuchungen summarischer Wirkungen von Einzelsubstanzen im Fokus der Entwicklungen stehen.

## **Mehrfachverwendung von Wasser und stoffliche Verwertung der Inhaltsstoffe**

In vielen betrieblichen Kreisläufen wird die Mehrfachnutzung von Wasser bereits durchgeführt. Durch linienbezogene Wasserbehandlungsschritte kann zusätzliches Potenzial zum Sparen von Wasser genutzt werden.



**Abb. 3** Elektrochemische Zelle (links) und Wendelrohrreaktor (rechts) (Bild VTU)

Die Wiedergewinnung von Inhaltsstoffen wird in den kommenden Jahrzehnten in der betrieblichen Wasserwirtschaft eine größere Rolle spielen. Wie zukünftig Abfall und Abwasser stärker als Rohstoffquelle genutzt werden müssen.

Bei bestimmten Stoffen steht die gesellschaftliche Wiederverwertung (z. B. Phosphor) im Vordergrund. Hier stehen derzeit noch die Kosten einer flächendeckenden Wiedergewinnung entgegen.

### **Betrieb von Wasserinfrastruktur 2035**

2035 werden, unterstützt durch neue, heute noch nicht bekannte Möglichkeiten des Datenzugangs, Datenaustausches und der Kommunikation, die Vernetzung und die Kooperation in allen Bereichen auf deutlich höherem Niveau betrieben werden. Dies betrifft sowohl die Zusammenarbeit einzelner Betriebe, den Austausch mit der Behörde als auch eine enge Kooperation mit der Wissenschaft.

Die neuen Sensoren, Daten über Prozesse und Anlagenteile und die Datenanalyse werden den Betrieb der Anlagen stabiler, sicherer und effizienter gestalten. Diese vielen neuen Optionen bieten mehr Möglichkeiten des unmittelbaren Eingriffs, machen die Steuerung komfortabler und ermöglichen eine bessere verfahrenstechnische und energetische Ausnutzung der bestehenden Anlagen.

Die vielen Möglichkeiten des digitalen Eingriffs erhöhen gleichzeitig auch das Risiko fremder Einflussnahme über „gehackte“ Zugänge. Die elektronische Sicherheit wird daher ein essenzielles Thema jedes Betriebes sein.

## **Complexity Management**

Eine neue Disziplin der Wissenschaft ist im Entstehen, die auch für die Wasserwirtschaft von hohem Interesse sein wird. Complexity Management untersucht vielfältig abhängige Systeme, deren Korrelationen sich dem Erkennen und der direkten Analyse von WissenschaftlerInnen oder Projektteams bisher entzogen haben. Mit den neuen fast unbeschränkten Möglichkeiten der EDV (Big Data) können völlig neue Zusammenhänge und Wirkungsketten erforscht werden. In 20 Jahren werden diese Erkenntnisse in die Planung und den Betrieb von Anlagen einfließen und somit zum Standardwerkzeug der modernen Wasserwirtschaft gehören.

## **Kommunikation mit den BürgerInnen als Kernaufgabe der Wasserwirtschaft**

Die Zukunft der Wasserwirtschaft wird sich mehr am Bedarf der Menschen und an den Lebensumständen der Bevölkerung orientieren müssen. Die Information und intensive Kommunikation der aktuellen Randbedingungen und zukünftigen Erfordernisse mit den BürgerInnen stehen dabei im Vordergrund. Mehr Verständnis für die Projekte der Wasserwirtschaft ist nur über mehr Information und Kommunikation erreichbar. Dabei sind die neuen Medien und die sozialen Netzwerke zu berücksichtigen, die von der jungen Generation stark genutzt werden.

Die Verantwortlichen in der Wasserwirtschaft werden in Zukunft viel umfassender die Sozial- und Kommunikationswissenschaften einbinden müssen, um ihre Planungen und Maßnahmen sowie deren Auswirkungen der Bevölkerung besser zu erklären. Mündige Demokratien in Verbindung mit modernen Kommunikationsmitteln stellen hier viel höhere Anforderungen.

## **Zusammenfassung**

Wir werden auch in 20 Jahren über dieselbe Infrastruktur verfügen wie heute. Die Investitionszyklen sind viel zu lange, um in dieser Zeit Systemänderungen zu ermöglichen.

Unsere Infrastruktur wird jedoch durch tausende physikalische Sensoren und deren intensiven Datenaustausch intelligent werden und uns ständig über die Systemzustände und kritische Entwicklungen informieren.

Bei richtigem Datenmanagement und gezielter Datenanalyse werden wir unsere Anlagen wesentlich besser, vorausschauender und effizienter betreiben können. Neue Auswertemethoden wie Complexity Management werden uns helfen, bisher unerkannte Zusammenhänge sichtbar zu machen und daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Kosten für diese physikalischen Sensorsysteme, den Datenaustausch und die Datenanalyse werden dabei nur 10 % bis 20 % der Kosten der Infrastruktur verursachen.

Die Möglichkeiten, Daten intensiver auszutauschen, werden auch die Zusammenarbeit zwischen wasserwirtschaftlichen Betrieben, den Behörden und der Wissenschaft erleichtern und fördern.

Der Schlüssel für eine moderne und erfolgreiche Wasserwirtschaft liegt in der umfassenden Information und Kommunikation unter Nutzung aller heutigen und zukünftigen Medien. Nur wenn wir die Bedürfnisse der Bevölkerung kennen und es uns gelingt, die Ziele und Notwen-

digkeiten der Wasserwirtschaft breit zu kommunizieren, werden wir eine von der Gesellschaft getragene, nachhaltige Wasserwirtschaft betreiben können.

**Rektor Univ.-Prof. DDI Dr. Dr. h.c. Harald Kainz**

Technische Universität Graz

8010 Graz, Rechbauerstraße 12

rektor@tugraz.at



# Die Zukunft österreichischer Fließgewässer

Stefan SCHMUTZ, Universität für Bodenkultur Wien

## Zusammenfassung

Während die stoffliche Belastung der Fließgewässer Österreichs heute ein eher untergeordnetes Problem darstellt, weist die Mehrheit der Gewässer eine Zielverfehlung gemäß Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG) durch hydromorphologische Belastungen auf. Im 1. Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP 2009; BMLFUW 2010a) lag das Augenmerk auf der Sanierung von Kontinuumsunterbrechungen und Restwasserstrecken in den größeren Fließgewässern sowie der Beantwortung offener Forschungsfragen hinsichtlich Schwall. Strukturelle Eingriffe (Gewässermorphologie) wurden nur in geringem Ausmaß saniert. Um die Ziele der WRRL zu erreichen, sind verstärkt Revitalisierungen durchzuführen. Dabei sollten Synergien aus bestehenden Ansätzen (LIFE-Projekt, ökologisch orientierte Hochwasserschutzprojekte, Uferrandstreifen) hergestellt und durch integrative Programme umgehend umgesetzt werden. Eine mittel- bis langfristige Absicherung der Finanzierung dieser Maßnahmen ist dabei unabdingbar.

Gesamtheitlicher Gewässerschutz bedarf der Integration aller relevanter Sektoren, von der Schutzwasserwirtschaft über die Wasserkraft bis hin zum Klimawandel. Die hier aufgezeigten Beispiele zeigen, dass eine Betrachtung aller Sektoren mehr Handlungsoptionen eröffnet und eine wesentlich effizientere Zielerreichung gewährleistet. Insbesondere beim weiteren Wasserkraftwerksausbau ist die Verwendung integrativer Planungsinstrumente zur Vermeidung von Zielkonflikten von essenzieller Bedeutung.

## Wo stehen wir heute?

Laut Nationalem Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 (NGP 2015) weisen etwa 59 % der österreichischen Fließgewässer einen unzureichenden ökologischen Zustand auf (BMLFUW 2015 – Entwurf, *Abb. 1*). Was sind jedoch die Ursachen für diese unbefriedigende Situation? Lediglich zu einem gewissen Teil ist dies auf die Verschmutzung der Gewässer zurückzuführen, da „nur“ mehr ca. 27 % der österreichischen Fließgewässer derzeit stoffliche Belastungen aufweisen. Hingegen verfehlen ca. 53 % der untersuchten Wasserkörper den guten ökologischen Zustand aufgrund von hydromorphologischen Belastungen.

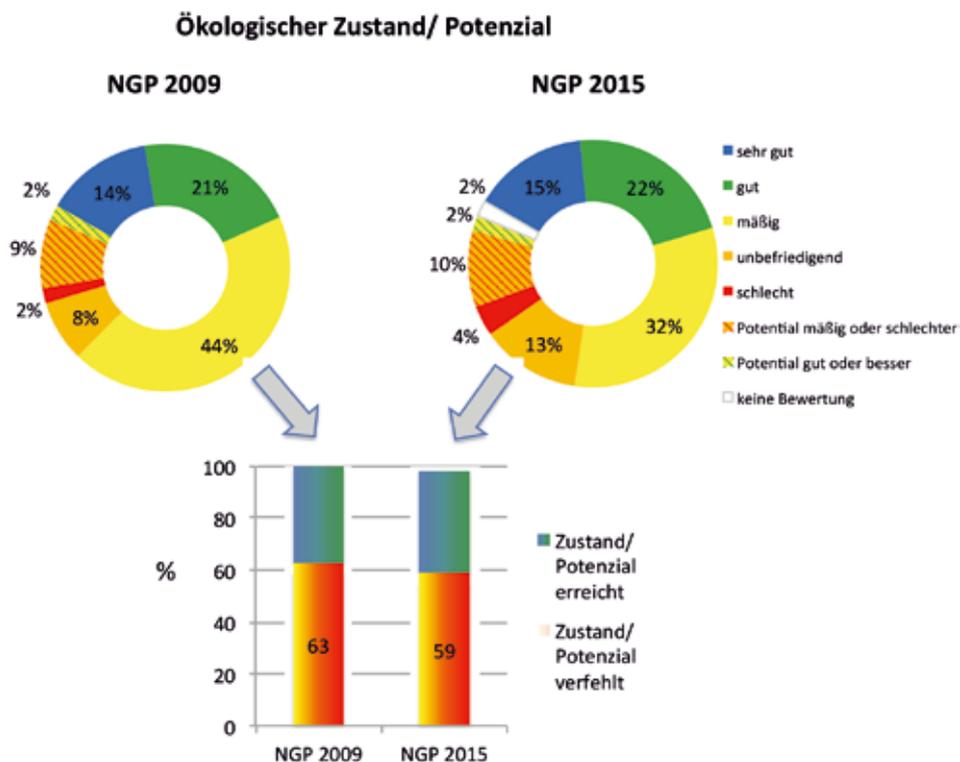
Innerhalb der hydromorphologischen Belastungen besteht Sanierungsbedarf hinsichtlich Restwasser bei 9 % (3.047 km) und hinsichtlich Schwall bei 2,8 % (914 km) des gesamten Gewässernetzes. Der größte Sanierungsbedarf ist jedoch mit 29,3 % (9.344 km) bei den morphologischen Belastungen (Gewässerverbauung) gegeben (*Abb. 2*).

## Was hat sich zwischen NGP 2009 und NGP 2015 verändert?

Angesichts der großen Herausforderungen bei der hydromorphologischen Sanierung der österreichischen Fließgewässer stellt sich die Frage, ob diese in absehbarer Zeit überhaupt umsetzbar ist. Für die Abschätzung des langfristigen Sanierungserfolges ist von Bedeutung, inwieweit es seit dem NGP 2009 gelungen ist, den ökologischen Zustand zu verbessern. Auf Ebene

der Zielerreichung ergibt sich kaum ein Unterschied zwischen NGP 2009 und 2015, da der Anteil der Zielverfehlung (schlechter als guter ökologischer Zustand bzw. Potenzial) sich lediglich von 63 % auf 59 % verringert hat.

Hierfür gibt es mehrere Ursachen: Aufgrund der schrittweisen Umsetzung gibt es derzeit noch keine flächendeckend wirksame Sanierung. Priorität wurde im ersten NGP auf die Sanierung der Kontinuumsverhältnisse in großen Fließgewässern gelegt. Dies mündete in den Bau von vielen Fischaufstiegshilfen mit einem Gesamtbestand von derzeit mehr als 1.000 Anlagen. Lösungen für den Fischabstieg stehen noch aus und werden im Rahmen von Forschungsprojekten und Fallbeispielen demnächst erarbeitet. In großen Gewässern wurde Restwasser entsprechend den Anforderungen der Qualitätszielverordnung (QZV Ökologie OG, BMLFUW 2010b) erhöht. Bei schwallbelasteten Gewässern wurde im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten offene Fragen der Schwallwirkung und Schwallsanierung behandelt. Die Sanierung von Stauräumen ist infolge der grundlegenden Änderung der Habitatbedingungen nur sehr limitiert möglich (Jungwirth et al. 2005).



**Abb. 1** Vergleich des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials laut NGP 2009 und NGP 2015 anhand ökologischer Zustandsklassen (oben) sowie Erreichung des Zielzustands (unten) (Daten aus BMLFUW 2010a und BMLFUW 2015)

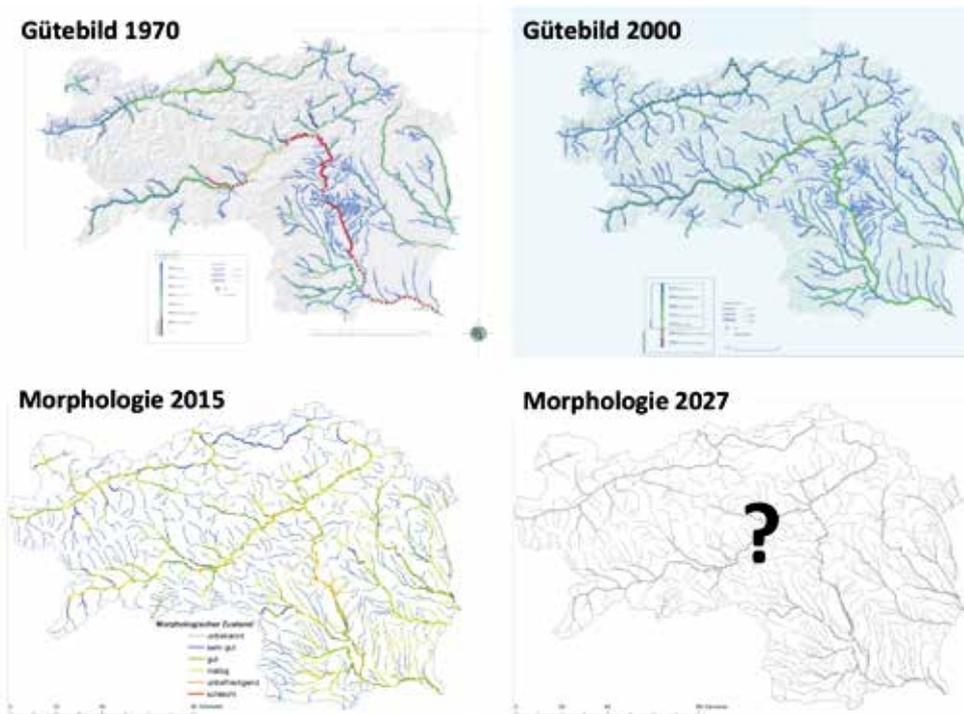
## Was sind die wichtigsten Herausforderungen der Zukunft?

Laut NGP 2015 erfolgt nun hinsichtlich hydromorphologischer Belastungen eine Ausdehnung des Sanierungsraumes auf die kleinen Gewässer. Dies umfasst wiederum die Errichtung von Fischaufstiegshilfen und die Erhöhung des Restwasserabflusses. Für die Sanierung struktureller Eingriffe fehlen im NGP 2015 klare Zielvorgaben. Zudem ist die Finanzierung dieser Maßnahmen von geeigneten Förderinstrumenten (z. B. Umweltförderungsgesetz) abhängig, die derzeit nicht gesichert sind. Die Sanierung der strukturellen (morphologischen) Belastungen stellt somit eine der größten Herausforderung dar.



**Abb. 2** Vergleich der Risikoeinstufung hydromorphologischer Belastungen NGP 2009 und Ist-Bestandsanalyse 2013 (BMLFUW 2010a und 2014)

Wird es möglich sein, bis zum Ende der letzten Bewirtschaftungsperiode der WRRL im Jahr 2027 die Gewässerstruktur der ca. 10.000 km im Risiko befindlichen Gewässerstrecken so zu sanieren, dass der gute Zustand bzw. das gute Potenzial erreicht sein wird? Angesichts der bislang bescheidenen Bilanz erscheint dies sehr fraglich. Andererseits benötigte Österreich für die Sanierung der Gewässergütebelastungen auch mehrere Jahrzehnte. Letztendlich war die Sanierung jedoch sehr erfolgreich (Abb. 3). Der Vergleich mit der Gewässergüte zeigt, dass auch große Herausforderungen, wie die strukturelle Sanierung, bewältigbar sind. Voraussetzung ist jedoch ein umfassendes Konzept, kontinuierliche Umsetzung und ausreichende finanzielle Unterstützung.



**Abb. 3** Vergleich der Entwicklung der Gewässergüte (Daten STMK LR, <http://www.umwelt.steiermark.at>) mit der Situation morphologischer Belastungen (Daten NGP 2015) am Beispiel der Steiermark

Neben der strukturellen Sanierung gibt es natürlich noch viele weitere Herausforderungen, die für die Zukunft der Fließgewässer von essenzieller Bedeutung sind. Während bislang v. a. sektoral an die hydromorphologische Sanierung herangegangen wurde, zeigt sich zunehmend, dass ein integrativer Ansatz unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen verschiedener Sektoren erforderlich ist, um die Ziele der WRRL zu erreichen (s. u.).

### **Was ist für die zukünftige Sanierung struktureller Belastungen zu tun?**

Wesentlichen Beitrag zur Sanierung struktureller Belastungen lieferte bislang eine Vielzahl von EU-LIFE-Projekten. Österreich zählt zu den erfolgreichsten Einwerbern von LIFE-Mitteln. Mit diesem Programm konnten viele Gewässerabschnitte in Österreich deutlich aufgewertet werden (Enns, Donau, Drau, Mur, Ybbs etc.). Evaluierungen dieser Maßnahmen zeigen beispielsweise für die Donau, dass nur Revitalisierungen über mehrere Kilometer Länge deutliche ökologische Effekte mit sich bringen (Schmutz et al. 2014a). Dies wird auch durch laufende Untersuchungen im Rahmen des EU-Projektes REFORM für unterschiedliche Gewässertypen und Revitalisierungsmaßnahmen bestätigt (<http://www.reformrivers.eu>).

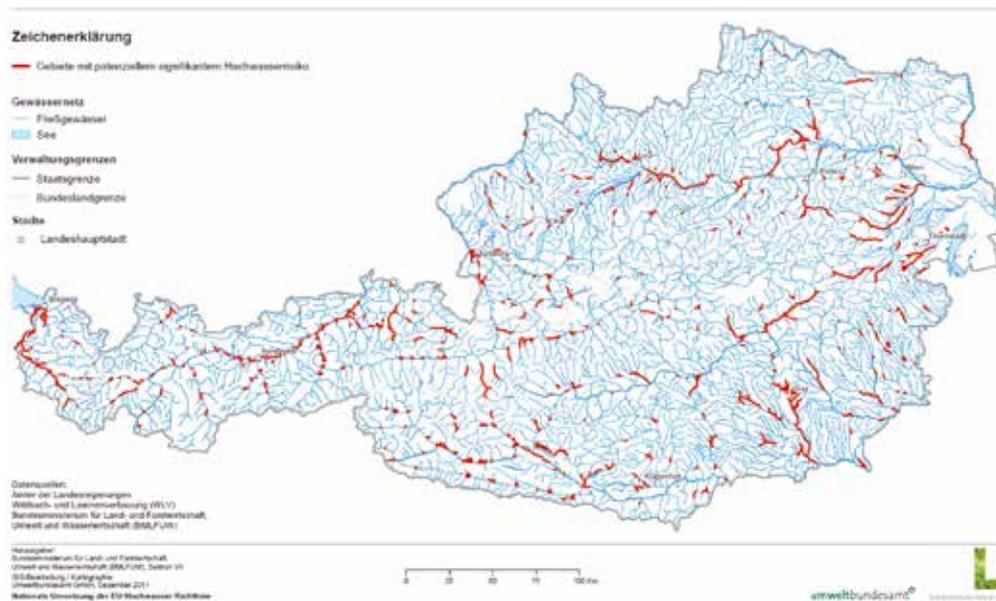
So erfolgreich LIFE-Projekte sind, so limitiert ist jedoch auch deren flächendeckende Wirkung angesichts der fast 10.000 km regulierter Fließgewässer in Österreich. Es bedarf daher neben der Weiterverfolgung von LIFE- und ähnlichen Projekten weiterer umfassender Strategien und Programme sowie Synergien mit anderen Sektoren.

Im NGP 2015 werden hierbei v. a. Synergien zwischen der Hochwasserrichtlinie (RL 2007/60/EG) und Wasserrahmenrichtlinie angesprochen. Der für passiven Hochwasserschutz benötigte Retentionsraum ist auch für die strukturelle Sanierung, insbesondere bei Gewässern mit Auen, von essenzieller Bedeutung. Gewässerabschnitte mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko (Abb. 4) weisen zu 81 % eine Zielverfehlung des ökologischen Zustandes auf und bedürfen daher einer Sanierung (Schimon 2015). Diese sollte Hand in Hand mit der Erweiterung des passiven Hochwasserschutzes mittels Bereitstellung von Retentionsräumen und Revitalisierungen des Au-/Flusssysteme einhergehen.

Die Weiterentwicklung des Instruments des Gewässerentwicklungskonzepts und Verschneidung mit der Hochwasserrisikoplanung hin zu einem integrativen Planungsinstrument wird seitens des BMLFUW bereits angedacht (Schimon 2015).

### **Was können Gewässerrandstreifen beitragen?**

Die Umsetzung von Gewässerentwicklungskonzepten in Kombination mit Hochwasserschutzmaßnahmen und die Weiterführung von LIFE-Projekten hat und wird die strukturelle Situation in größeren Fließgewässern, ausreichende Finanzierung vorausgesetzt, wesentlich verbessern. Für eine umfassende Sanierung kleinerer Gewässer bedarf es jedoch zusätzlicher Ansätze. Dafür bietet sich grundsätzlich das Konzept der Gewässerrandstreifen an. Dieses Konzept wird in mehreren Ländern, darunter auch Deutschland, verfolgt. In Deutschland sind generell laut Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009 §38(3)) Gewässerrandstreifen von 5 m vorgeschrieben. Die multifunktionale Wirkung von Pufferstreifen kommt erst mit Gehölzbestand zur vollen Wirkung. Daher ist in Deutschland das Entfernen von standortgerechten Bäumen und Sträuchern untersagt. In Österreich gibt es eine Förderung von zwölf Meter breiten Gewässerrand-



**Abb. 4** Gebiete mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko (Schimon 2015)

streifens durch das EU-Programm „Ländliche Entwicklung“ mit einer Förderhöhe von 450 €/ha (Programmperiode 2015 bis 2020). Im Gegensatz zu Deutschland handelt es sich jedoch um Stilllegungsflächen mit Grünland, Gehölzbewuchs wird dadurch nicht ermöglicht. Um für die Gewässersanierung umfassend wirksam zu werden, wäre es anzustreben, das Programm Richtung Gehölzbewuchs zu erweitern.

Eine Förderung von Ufergehölzen ist auch hinsichtlich Klimawandel von größter Bedeutung. Durch die Klimaerwärmung hat sich die Wassertemperatur der Fließgewässer deutlich erhöht, z. B. im Falle der Donau um mehr als 1,5 °C in den letzten 100 Jahren (Jungwirth et al. 2014). Damit sind Veränderungen in den Gewässerbiozönosen verbunden, wie z. B. die Verschiebung der Fischregionen (Pletterbauer et al. 2015). Ufervegetation kann jedoch der Aufwärmung entgegenwirken, wenn sie entsprechend ausgeprägt ist. Im Rahmen des Forschungsprojektes Bio\_Clic ([bioclic.boku.ac.at/index.php](http://bioclic.boku.ac.at/index.php)) konnte belegt werden, dass durch Vegetation eine Reduktion der Wassertemperatur um bis zu 4 °C bewirkt werden kann. Die Förderung der Ufervegetation stellt mehr oder weniger die einzige zielführende Klimaanpassungsstrategie hinsichtlich der Wassertemperatur dar.

## Integrativer Ansatz zur Sanierung struktureller Eingriffe

Aus den o. a. Beispielen wird ersichtlich, dass nur ein integrativer Ansatz unter Berücksichtigung unterschiedlichster Strategien und Programme zu einer flächendeckenden Sanierung morphologischer Beeinträchtigungen führen wird. Eine Kombination von LIFE-Projekten, integrierten Hochwasserschutzmaßnahmen unter Berücksichtigung ökologischer Zielsetzungen sowie anderer, räumlich greifender Programme wie Uferrandstreifen erscheint als zielführend. Aufgrund der limitierten Zeitspanne sollte mit der Umsetzung der Maßnahmen möglichst umgehend begonnen werden. Es werden folgende Planungs- und Umsetzungsschritte empfohlen:

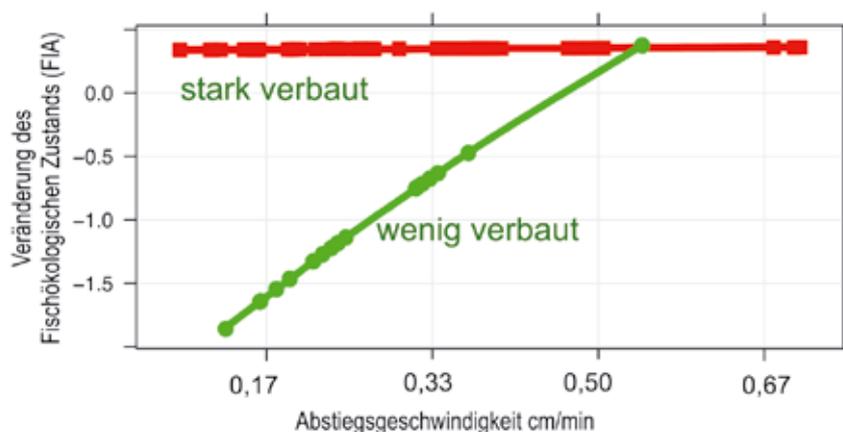
- Sicherstellung von Finanzierung und Förderungsinstrumenten,
- Schaffung eines Überblicks über alle bisherigen Revitalisierungsprojekte,
- Effizienzanalyse bisheriger Projekte,

- Leitfaden zur morphologischen Sanierung,
- Räumliche/zeitliche Priorisierung von Sanierungsmaßnahmen,
- Masterplan Revitalisierungen: Was? Wo? Wann?,
- Berücksichtigung von Wechselwirkungen und Synergien mit anderen Sektoren,
- Abstimmung von Planungsinstrumenten – integrative Planung.

Vorrangig ist eine Finanzierung mittel- bis langfristig sicherzustellen, da die morphologische Sanierung fast ausschließlich auf öffentliche Förderprogramme angewiesen ist. Eine Fortsetzung der Umweltförderung oder Etablierung ähnlicher Förderprogramme ist unerlässlich. Für eine Planungssicherheit sollten diese Programme idealerweise über mehrere Bewirtschaftungsperioden laufen. Das Schweizer Parlament z. B. beschloss, dass von den 15.000 km stark verbauten Gewässerabschnitten 4.000 km innerhalb von 20 Jahren revitalisiert werden sollen, wofür den Kantonen 142 Mio. Schweizer Franken für den Zeitraum 2012 – 2015 zur Verfügung gestellt wurden. Weiters muss der Gewässerraum extensiv bewirtschaftet werden. Die damit verbundenen Nutzungseinschränkungen im ländlichen Raum werden durch Direktzahlungen abgegolten. Zu diesem Zweck wurde das Landwirtschaftsbudget um 20 Mio. Franken pro Jahr erhöht (www.bafu.admin.ch).

### Schwallproblematik – weiteres Beispiel für Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Sektoren

Ein weiteres Beispiel für Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Sektoren ist die Sanierung von Schwallstrecken. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten“ wurde aufgezeigt, dass eine Sanierung von Schwall in verbauten Gewässerabschnitten ohne gleichzeitige morphologische Aufwertung zu keiner signifikanten Verbesserung des ökologischen Zustands führt. Anhand eines Modells wurde der Einfluss von schwalldämpfenden Maßnahmen im Vergleich zum morphologischen Zustand abgeschätzt. Während eine Reduktion der Sunkgeschwindigkeit das Stranden von Fischen in wenig verbauten Gewässern deutlich reduziert und dadurch sich der fischökologische Zustand um bis zu 1,5 Stufen verbessern kann, verbleiben stark verbaute Gewässer aufgrund fehlender Habitate trotz Schwalldämpfung im schlechten Zustand (Abb 5).

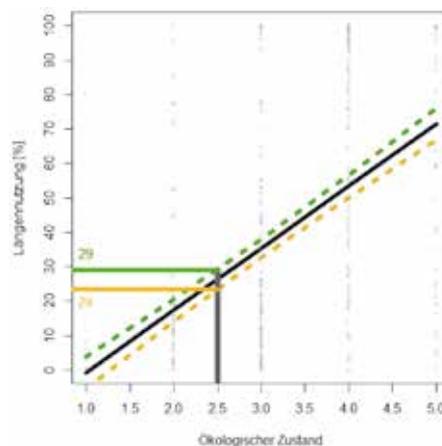


**Abb. 5** Alleiniger Einfluss von Abstiegsgeschwindigkeit und Verbaubarungsgrad auf den fischökologischen Zustand in Schwallstrecken österreichischer Fließgewässer (Schmutz et al. 2014b)

## Berücksichtigung kumulativer Wirkung von Mehrfacheingriffen

Während bislang das Augenmerk auf die Wirkung einzelner Eingriffe bzw. Maßnahmen gerichtet war, sollte zukünftig die kumulative Wirkung von mehrfachen Eingriffen, wie sie im Regelfall vorliegen, berücksichtigt werden. Im Zuge der Oö. Wasserkraftpotenzialanalyse wurde dazu der sogenannte Nutzungsindex entwickelt. Der Nutzungsindex gibt an, bis zu welchem Grad ein Wasserkörper energetisch genutzt werden kann, bis eine Zielverfehlung des ökologischen Zustandes eintritt. Dazu wurden die Daten des NGP 2009 analysiert und der durch Wasserkraft beeinflusste Prozentsatz der Wasserkörper dem jeweiligen ökologischen Zustand gegenübergestellt. Aus *Abb. 6* lässt sich ablesen, dass der ökologische Zustand umso schlechter ist, je stärker ein Wasserkörper energetisch genutzt wird. Daraus lässt sich ein maximaler Nutzungsgrad (Anteil der durch Restwasser, Schwall und Stau beeinträchtigten Länge) ableiten. Dieser liegt in einer Bandbreite von 24 – 29 %. Bis zu diesem „Ausbaugrad“ ist durchschnittlich in österreichischen Gewässern mit keiner Zielverfehlung zu rechnen. Die Belastung durch Wasserkraft bezieht sich auf den Zeitpunkt und Zustand, der bei der Ist-Bestandsanalyse erhoben worden war. Eventuelle Sanierungsmaßnahmen nach diesem Zeitpunkt wurden nicht berücksichtigt.

Der Nutzungsfaktor wurde in der Oö. Potenzialstudie neben anderen Kriterien für die Abschätzung eines ökologisch verträglichen Wasserkraftausbaus herangezogen. Er stellt ein hilfreiches Instrument bei der großmaßstäblichen, strategischen Planung eines zukünftigen Wasserkraftausbaus dar, kann jedoch die detaillierte Einzelfallprüfung bei konkreten KW-Planungen nicht ersetzen.

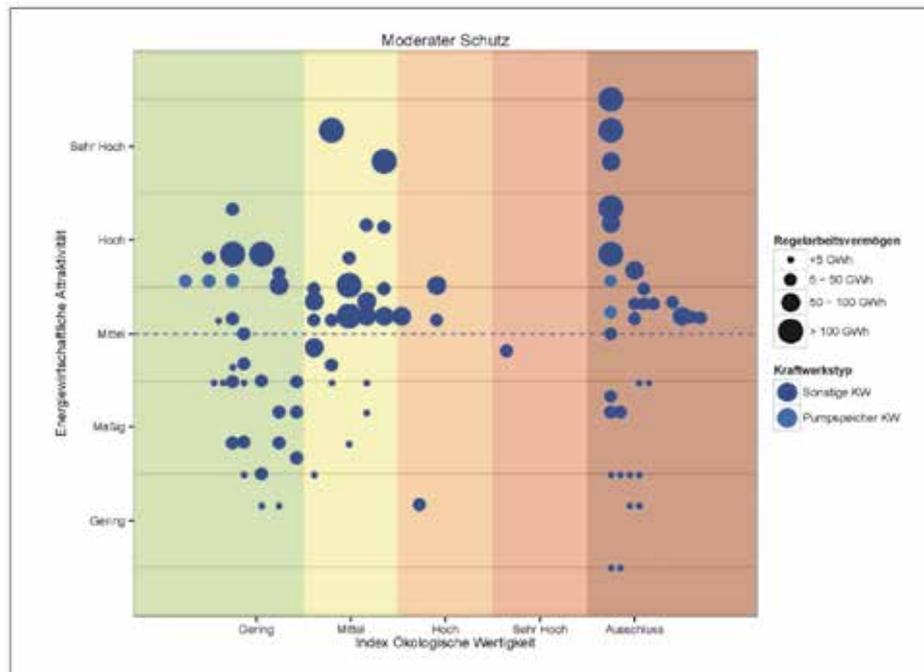


**Abb. 6** Modell zur Abschätzung des ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzungsgrades (Ratschan et al. 2014)

## Konflikt Wasserkraftausbau versus Ökologie & Naturschutz

Der Konflikt zwischen Wasserkraftausbau einerseits und Ökologie & Naturschutz andererseits bewegt die politische Landschaft Österreichs seit vielen Jahrzehnten. Im Zuge der Entwicklung des Ökomasterplans Stufe III (WWF Österreich 2014) wurde von der BOKU in Zusammenarbeit mit e3 consult eine Studie zur fachlich fundierten Unterstützung von Entscheidungsfindungsprozessen beim Wasserkraftausbau erstellt. Diese Studie basiert auf den Ansätzen des Wasserkatalogs des BMLFUW, verschneidet jedoch mittels der sogenannten Hy:Con-Methode energiewirtschaftliche und ökologisch/naturschutzfachliche Kriterien im Rahmen von Szenarien zu gesamtheitlichen Aussagen, was im Wasserkatalog noch nicht erfolgt war. Im Gegensatz zur Oö. Wasserkraftpotenzialstudie werden bei dieser Studie alle in Österreich geplanten Wasser-

kraftwerke (soweit bekannt) in Gewässern mit  $> 10 \text{ km}^2$  Einzugsgebiet behandelt. Wesentliches Ergebnis ist, dass sich sowohl energiewirtschaftliche als auch ökologische/naturschutzfachliche Wertigkeiten der Wasserkraftwerke bzw. geplanten Standorte deutlich unterscheiden. Mittels dieser Methode lassen sich Wasserkraftwerke mit hohen von jenen mit geringen ökologisch/naturschutzfachlichen Zielkonflikten trennen. EntscheidungsträgerInnen wird damit ermöglicht, attraktive Wasserkraftwerke bzw. Standorte mit geringem Konfliktpotenzial zu identifizieren und zugleich sensible Standorte zu schützen (Abb. 7).



**Abb. 7** Beispiel eines Szenarios des Ökomasterplans III, erstellt mittels der Hy:Con-Methode für geplante Wasserkraftwerke in Österreich (WWF Ökomasterplan III, Muhar et al. 2013, Mielach et al. 2014)

## Literatur

- BMLFUW (2010a): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 – NGP 2009. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2010b): Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) idF BGBl. II Nr. 461/2010. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer.
- BMLFUW (2014): Österreichischer Bericht der Ist-Bestandsanalyse 2013. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2015): Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 – Entwurf. BMLFUW, Wien.
- Jungwirth M, Haidvogel G, Hohensinner S, Muahr S, Schmutz S, Waidbacher H. (2005): Leitbild-specific measures for the rehabilitation of the heavily modified Austrian Danube River. Arch für Hydrobiol Suppl "Large Rivers." 155:17–36.
- Jungwirth M, Haidvogel G, Hohensinner S, Waidbacher H, Zauner G. (2014): Österreichs Donau. Landschaft - Fisch - Geschichte. Institut für Hydrobiologie & Gewässermanagement, BOKU Wien. Wien. 420p.
- Mielach C, Scheikl S, Schmutz S, Schinegger R, Fleck S, Neubarth J, Walder Ch, Muhar S. (2014): Hy:Con: a strategic tool for balancing hydropower development and conservation needs. 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014, Trondheim, JUN 23-27, 2014.
- Muhar S, Schmutz S, Fleck S, Mielach C, Neubarth J, Scheikl S, Schinegger R. (2013): Studie zur Anwendung unterschiedlicher ökologischer und energiewirtschaftlicher Kriterien zu integrativen Bewertung von Wasserkraftprojekten. WWF Österreich. 92p.

- Pletterbauer F, Melcher AH, Ferreira T, Schmutz S. (2015): Impact of climate change on the structure of fish assemblages in European rivers. *Hydrobiologia*. 744:235–254.
- Ratschan C, Zauner G, Scheder C, Gumpinger C, Mielach C, Schmutz S, Tichler R, Schwarz M, Steinmüller H. (2014): Oö. Wasserkraftpotentialanalyse 2012/13 – Abschätzung und Evaluierung des energetischen Revitalisierungs- und Ausbaupotentials an umweltgerechten Standorten an mittleren und größeren Gewässern in Oberösterreich. Land Oberösterreich, Linz. 357p.
- 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. ABl. L 327/1 vom 22 December 2000:1-72.
- Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. ABl. 288 vom 06. November 2007:27-34.
- Schimon W. (2015): Zwei Richtlinien – Ein Weg. [wasser:dialog] Öffentlichkeitsbeteiligung zum Hochwasserisikomanagement und Gewässerbewirtschaftungsplan. ÖWAV-Seminar, Wien.
- Schmutz S, Bakken TH, Friedrich T, Greimel F, Harby A, Jungwirth M, Melcher A, Unfer G, Zeiringer B. (2014b): Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River Res. Applic.*
- Schmutz S, Kremser H, Melcher A, Jungwirth M, Muhar S, Waidbacher H, Zauner G. (2014a): Ecological effects of rehabilitation measures at the Austrian Danube: a meta-analysis of fish assemblages. *Hydrobiologia*. 729:1–12.
- WWF Österreich (2014): Ökomasterplan Stufe III – Schutz für Österreichs Flussjuwelen. Walder C., Schmutz S., Muhar S., Mielach C., Schinegger R., Scheikl S., Fleck S. und Neubarth J. Wien. 108p.

**ao. Univ.-Prof. DI Dr. Stefan Schmutz**

Universität für Bodenkultur Wien  
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt  
Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement  
1180 Wien, Max-Emanuel-Straße 17  
stefan.schmutz@boku.ac.at



# Herausforderungen an und Perspektiven für die österreichische Hydrologie und Wasserwirtschaft in den nächsten Dekaden

*Karsten SCHULZ, Universität für Bodenkultur Wien*

## Einleitung

Beginnen möchte ich meinen Ausblick auf die möglichen anstehenden Herausforderungen für die österreichische Hydrologie und Wasserwirtschaft mit einem kurzen Rückblick auf den soeben verbrachten Winterurlaub zum Jahreswechsel 2014/15 in den Osttiroler Alpen. Nach quasi schneefreiem Winterurlaub im Allgäu im Jahr davor – bei gleichzeitigen Meldungen von meterhohen Schneefällen im Bereich der Südalpen – war ich froher Dinge, meine noch im Schlussverkauf günstig erstandenen Tourenski bis aufs Äußerste beanspruchen zu können. Jedoch weit gefehlt! Die Temperaturen in den Wochen vor der Anreise lagen bis in den zweistelligen Plus-Bereichen, Schneedecken um die 30 cm erst ab 1.500 m Höhe und nur wenige Pistenkilometer im weiten Umkreis, auf den sich zur Hochsaison die Touristen drängten und zumeist sehr hohe Wartezeiten in Kauf nehmen mussten. Mit sinkenden Temperaturen unter die Nullgrad-Grenze liefen alsbald sämtliche Beschneiungsanlagen auf Hochtouren, leerten die lokal vorhandenen Speicherteiche weitestgehend, konnten allerdings bis zum Dreikönigstag keine wirkliche Besserung mehr liefern.

Natürlich ist unter diesen Umständen der „Klimawandel“ in aller Munde. Sobald man die Folgen des Klimawandels direkt erfahren und „spüren“ kann bzw. in seinen Handlungsmöglichkeiten persönlich eingeschränkt wird, bleibt diese Problematik nicht mehr nur ein abstraktes wissenschaftlich-politisches Themenfeld, welches „in der Ferne“ stattfindet und dort beraten und debattiert wird. Die Thematik beschäftigt den Bürger, sie muss von der Politik und den Behörden weiter aufgegriffen und in Form von Planung und Umsetzung von Mitigations- und Anpassungsmaßnahmen behandelt werden. Dieser Prozess ist bereits in vollem Gange und wird sicherlich, nicht nur in Bezug auf die alpine Schneedecken-Situation und den Tourismus als „gemeinsames Projekt“ zwischen BürgerInnen, Politik und Wissenschaft über die nächsten Jahre an Bedeutung gewinnen.

## Auswirkungen des Klimawandels – APCC

Was sind die weiteren möglichen Auswirkungen des Klimawandels für die Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich? Hierzu wurde im September 2014 der erste „Austrian Assessment Report 2014 (AAR14)“ veröffentlicht (APCC, 2014), der aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des „Austrian Climate Research Program (ACRP)“ gemeinsam von mehr als 50 nationalen und internationalen Institutionen durchgeführt wurde.

Bestätigt wird dort das Offensichtliche, „(...) dass sich die Dauer der Schneebedeckung in den letzten Jahrzehnten vor allem in den in den mittelhohen Lagen (um 1000m Seehöhe) verkürzt hat“ und, dass sich dieser Trend aufgrund der Szenarios und Prognosen wohl weiter fortsetzen wird. Dabei wird prognostiziert, dass der Süden und Südosten Österreichs mit einem Rückgang der Schneedeckendauer um ca. 70 Tage (Mittelwert österreichweit 30 Tage) besonders hart betroffen sein wird und die zu Beginn geschilderte Problematik bzgl. Ski-Tourismus und künstlicher Beschneigung enorm verstärken wird.

Mit den Temperaturerhöhungen gehen auch deutliche Verluste an Fläche und Volumen aller vermessenen österreichischen Gletscher einher und es wird erwartet, dass diese bis zum Jahr 2030 auf die Hälfte der Mittelwerte der Periode 1985 – 2004 gesunken sein werden. Dies bedeutet starke Verluste an Wasserspeicherung in den Alpen.

Die Gewässertemperaturen sind landesweit gestiegen und werden dies auch zukünftig weiter tun, mit entsprechenden Folgen für Mikrobiologie, Flora und Fauna.

Für die österreichische Wasserbilanz wird festgestellt, dass sie sich durch ein sehr hohes Angebot im Vergleich zur Nutzung auszeichnet und dass bis zur Mitte des Jahrhunderts nur geringer Handlungsbedarf diesbzgl. besteht, allerdings in Gebieten mit geringerem Angebot (Süden, Südosten) Anpassungsbedarf gegeben ist und längerfristig der Bewässerungsbedarf zunehmen kann.

Deutlich weniger eindeutig sind die Aussagen bzgl. einer möglichen Entwicklung der Abflussbildung in Österreich. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Jahresabfluss „(...) durch eine temperaturbedingt steigende Verdunstung tendenziell abnehmen könnte.“ Die Hochwasserdurchflüsse haben in den letzten 30 Jahren in rund 20 % der Einzugsgebiete zugenommen (vor allem nördlich des Alpenhauptkamms), allerdings liegen diese Anstiege noch im Rahmen natürlicher Variabilität und können bislang nicht dem Klimawandel zugeschrieben werden. Ebenso ergab sich bislang eine stärkere Zunahme der Winterhochwässer gegenüber den Sommermonaten. Mögliche positive Entwicklungen ergeben sich in Bezug auf die Energieerzeugung durch Wasserkraft, wo es aufgrund einer möglichen Verschiebung der Jahresniederschläge in die Wintermonate zu einer „verbrauchsangepassteren“ Produktion kommen kann.

## **Herausforderungen**

Es existiert eine Reihe weiterer „Unbekannter“, die derzeitige Abschätzungen mit größeren Unsicherheiten versehen und von daher obige Resümees mit Vorsicht genießen lassen. Die Unsicherheiten bei der Vorhersage z. B. von Niederschlagsverteilungen, -mengen und -intensitäten sowohl für kurz- und mittelfristige, als auch für langfristige Prognosen sind vielfältig. Dies liegt daran, dass das Klima- und Wettergeschehen ein Resultat sehr komplexer nicht-linearer Prozesse und Rückkopplungsmechanismen in der Atmosphäre und daran anliegenden Umweltkompartimenten (wie z. B. Landoberfläche, Ozeane) ist, die zudem mehr und mehr anthropogenen Einflüssen unterliegen. Diese Wechselwirkungen sind in großen Teilen noch nicht verstanden, oder sie können aufgrund mangelnder Observatorien und Beobachtungen nicht adäquat quantifiziert werden, sodass diese Prozesse und ihre Abhängigkeiten nur unzureichend in entsprechenden Modellsystemen implementiert und abgebildet werden können.

Die räumliche Auflösung globaler und regionaler Klima- und Wettervorhersagemodelle beträgt trotz enormer Verbesserungen der Computerleistungsfähigkeiten immer noch mehrere Kilometer. Wie kann man die räumliche Variabilität z. B. der Landoberflächeneigenschaften innerhalb dieser „Gitterzellen“ adäquat durch einfache „effektive“ Prozessbeschreibungen und Parameter abbilden? Welchen Effekt haben Muster und Strukturen bzgl. Landoberflächeneigenschaften auf das Prozessgeschehen und auf die vielfältigen Wechselwirkungen? Beispiele sind z. B. Muster von Schneebedeckung, Vegetation oder Bodenfeuchte und deren zeitlicher

Dynamik sowie deren Einfluss auf Verdunstungsraten sowie Niederschlags- und Abflussbildung auf unterschiedlichen räumlichen Skalen. Welche Teilsysteme müssen, je nach konkreter Fragestellung, berücksichtigt werden und mit welchem Maß an Komplexität sollte dies geschehen? Wissenschaftliche Fragenstellungen wie diese erfordern zunehmend eine integrale, interdisziplinäre Betrachtungsweise der Problemstellungen und werden derzeit z. B. in einer Luxemburgisch-Österreichisch-Deutschen Forschergruppe „Catchments As Organized Systems (CAOS)“ untersucht (Zehe et al., 2014; <http://www.caos-project.de/>).

Nur in einem größer angelegten, interdisziplinären Konsortium ist es möglich, solche „großen“ Fragen entsprechend anzugehen. Auch können auf diese Weise die Kosten für notwendige Experimente und Monitoring-Programme aufgebracht und längerfristig gesichert werden.

Ein weiteres Problemfeld im Bereich der hydrologischen und Niederschlags-Abfluss-Modellierung stellt immer wieder die Frage dar, wie in sogenannten „unbeobachteten Einzugsgebieten (Ungauged Basins)“, also Gebieten, für die keine (oder kaum) Abflussdaten und andere einzugsgebietsspezifische Informationen vorhanden sind, Prognosen (und deren Unsicherheiten) abgeleitet werden können. Die Thematik der „Prediction in Ungauged Basins“ (PUB) war 10 Jahre lang Schwerpunkt der „Scientific Decade 2003–12“ der IAHS (International Association of Hydrological Science) und hat eine Vielzahl an hochklassigen Ergebnissen und Publikationen mit entsprechenden Lösungsmöglichkeiten hervorgebracht (für eine Zusammenstellung siehe Blöschl et al. 2014).

Damit diese Forschungsarbeiten keine rein akademischen Übungen bleiben, sondern dort Einzug finden, wo sie in der Praxis benötigt werden, ist es dringend erforderlich, den Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis auszubauen. Der ÖWAV mit seinen vielfältigen Workshops zu unterschiedlichsten wasserwirtschaftlichen und abfallwirtschaftlichen Themenstellungen trägt hier bereits seit Jahren dazu bei und auch die Österreichische Gesellschaft für Hydrologie (ÖGH) hat sich dieser Aufgabe im letzten Jahr angenommen und einen ersten Workshop „Praxis trifft Wissenschaft – Hydrographie und Bemessungspraxis“ mit einer großen Teilnehmerzahl erfolgreich durchgeführt. Ein zweiter zum Thema „Parametrisierung in unbeobachteten Einzugsgebieten“ ist für das Frühjahr 2015 geplant. Dieser kontinuierliche Austausch zwischen Universitäten, Forschungseinrichtungen, Behörden und Ingenieurbüros muss zukünftig dringend weitergeführt und ausgebaut werden.

Die zunehmende Interdisziplinarität hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Fragestellungen, die bereits oben für den Themenkomplex „Einfluss des Klimawandels“ angedeutet wurde, ist auch für weitere Themenfelder hochgradig relevant. Neben dem Klimawandel werden weitere Rahmenbedingungen zum Teil erheblichen Änderungen und Dynamiken unterworfen sein. Die Eigenschaften der Landoberfläche in Hinblick auf Strahlungs- und Wasserhaushalt (Albedo, Verdunstung, Wurzelwasseraufnahme, Interzeption) werden sich durch Landnutzungsänderungen möglicherweise stark verändern. Nationale und EU-Richtlinien, Förderprogramme und Gesetzgebung vor allem in Bezug auf die Agrarwirtschaft werden hier die maßgeblichen Treiber sein. Über die Nutzung von Energiepflanzen zur Gewinnung von Treibstoff und Energie ist die Entwicklung des Agrarsektors (und damit auch die Landnutzung sowie die Wasserwirtschaft) stark an den Energiebedarf gekoppelt. Dazu spielen Bevölkerungs- und Stadtentwicklung in diesem Zusammenhang wichtige steuernde Rahmenbedingungen. Diese Verbindungen und Wechselwirkungen sind unter dem Begriff „Wasser-Energie-Nahrung-Klima-Nexus“

zusammengefasst (z.B. [www.water-energy-food.org](http://www.water-energy-food.org)); dieser ist Thema einer Vielzahl von regionalen und globalen Forschungsinitiativen, so auch des EU-Horizon-2020-Programmes, mit dem Ziel, einzelne drängende Problemfelder, wie z. B. eine nachhaltige Wasser-, Nahrungsmittel oder Energieversorgung, nicht isoliert, sondern in einer integralen, inter- und transdisziplinären Weise zu bearbeiten. Auch hier gilt, dass ein Großteil der steuernden Prozesse und Wechselwirkungen nicht vollständig verstanden sind und die notwendigen Daten selten in ausreichendem Maße vorliegen.

Auch die hydrologische und wasserwirtschaftliche Forschungsgemeinschaft hat und wird sich dieser Problematik weiter annehmen. Die Thematik der laufenden IAHS-Dekade 2013–2022 lautet „Panta Rhei – Everything flows“ (Montanari et al., 2013) und widmet sich der Erforschung des Einflusses sich ständig veränderter menschlicher Aktivitäten auf die Dynamik des Wasserkreislaufs sowie der Möglichkeit, diese z. B. über Modellsysteme vorherzusagen. Auch hier wird deutlich, dass die Hydrologie und Wasserwirtschaft sich in den nächsten Jahren noch weiter in eine interdisziplinäre Wissenschaft verändern wird. Selbstverständlich bleibt hydrologische Kompetenz innerhalb der Disziplin erforderlich, allerdings wird zumindest ein Blick über den Tellerrand nötig sein, um die „Sprache“ der Nachbardisziplin zu verstehen und in interdisziplinären Konsortien gemeinsame Lösungsstrategien entwickeln zu können. Hierzu sind weitere interdisziplinäre Studienprogramme auf B.Sc.-, M.Sc.- und Ph.D-Level nötig. Das „Vienna Doctoral Program – Water Resource Systems“ der TU Wien (Blöschl et al., 2012) oder das „Zentrum für Globalen Wandel & Nachhaltigkeit“ an der BOKU Wien sind interessante und wichtige Schritte in diese Richtung, sollten jedoch durch gemeinsame nationale und internationale Aktivitäten erweitert werden.

Sämtliche hier angesprochenen (interdisziplinären) hydrologisch-wasserwirtschaftlichen Fragestellungen benötigen für ihre Bearbeitung und Lösung Daten unterschiedlichster Art und räumlich-zeitlicher Auslösung. Während Abfluss-, Niederschlags- und Klimadaten von den hydrographischen Diensten und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) grundsätzlich über ihre Messnetze bereitgestellt werden, ist festzustellen, dass in einigen Bereichen Defizite existieren. Niederschlags- und Klimadaten sind vor allem in den hochalpinen Regionen aufgrund der deutlich höheren Installations- und Betriebskosten sowie der extremen Witterungsbedingungen nur in gröberer räumlicher Auflösung vorhanden. Hydrologische Untersuchungen in alpinen Kopfeinzugsgebieten, die insbesondere sensitiv bzgl. Klimaänderungssignale reagieren, sind jedoch auf solche Daten angewiesen. Durch eine Intensivierung von nationalen und internationalen Vernetzungen und Kooperation, die Einhergehen mit Datenaustausch und einer Harmonisierung von Datenerhebung und -verarbeitung, können Defizite, die durch eine zu geringe Anzahl an Untersuchungsflächen mit intensiver Instrumentierung bedingt sind, kompensiert werden. Schon jetzt erfolgreiche Aktivitäten im Bereich alpiner Hydrologie und Atmosphärenforschung sind das Virtuelle Alpenobservatorium (VAO), welches die Alpinen Forschungsaktivitäten der Alpenländer Italien, Frankreich, Schweiz, Deutschland und Österreich bündelt, sowie einen Datenaustausch gewährleistet (Bernhardt et al., 2014). Diese Art von Vernetzung sollte nicht nur auf den europäischen Alpenbereich beschränkt bleiben, sondern auch die Forschungsaktivitäten und Infrastrukturen anderer Kontinente mit einbeziehen. Bereits bestehende Netzwerke mit einer solchen Ausrichtung sind das bereits etablierte „Global Cryosphere Watch (GCW)“ (<http://globalcryospherewatch.org>), welches über die WMO koordiniert wird und einen Schwerpunkt im Bereich In-situ-Messungen und Fernerkundung der Kryosphäre hat. Eine weitere Vernetzungsaktivität wird derzeit mit der Initiierung des

„INARCH: The International Network for Alpine Research Catchment Hydrology“-Netzwerkes als ein „GEWEX GHP Cross-Cutting-Projekt“ und mit einem deutlich stärkeren Fokus auf Alpine Hydrologie in die Wege geleitet.

Weitere Limitierungen im Bereich hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Fragestellungen sind die zur Verfügung stehenden Daten zu Wasserverbräuchen und Wasserentnahmen. Gerade die oben bereits genannten inter- und transdisziplinären Fragestellungen in Bezug auf den „Wasser-Energie-Nahrung-Klima-Nexus“ machen Daten über die Intensität, Dauer und Ort anthropogener Eingriffe in die Systeme dringend erforderlich. In diesem Zusammenhang sind auch Informationen zu Gewässergüte und Stofffrachten zu nennen, deren kontinuierliches und zeitlich hochaufgelöstes Monitoring leider in den letzten Jahren stärker reduziert wurde, die allerdings dringend benötigt werden, wenn Änderungen der hydrologischen Systeme auf globale Wandelprozesse analysiert werden sollen.

Während auf der einen Seite, meist ökonomisch bedingt, die direkte Messung von hydrologischen und anderen Umweltparametern tendenziell reduziert wird, nehmen auf der anderen Seite die verfügbaren Daten durch z. B. satellitengestützte Fernerkundung enorm zu. Die spektralen Informationen im sichtbaren und nahen Infrarot (z. B. Vegetation, Schneedeckenverteilung), im thermalen (Oberflächentemperatur, Verdunstung), sowie im Mikrowellen-Bereich (aktiv, passiv; Bodenwassergehalt) derzeit aktiver Systeme sind jedoch nicht immer ausreichend in Bezug auf die gleichzeitige räumliche und zeitliche Auflösung. Allerdings werden geplante zukünftige Systeme diese Situation kontinuierlich verbessern. Die Datengrundlage wird sich mehr und mehr von einer „datenarmen“ zu einer „datenreichen“ Situation wandeln, die jedoch einen intelligenten Umgang mit den verfügbaren Informationen nötig macht. Oft wird im routinemäßigen Monitoring oder bei der Assimilation dieser Daten in hydrometeorologische Prognosemodelle vergessen, dass es sich um spektrale Informationen der Landoberfläche (oder Atmosphäre) handelt, die dann im Rahmen komplexer Ableitungsprozesse (die z. B. den Einfluss der Atmosphäre auf das Strahlungssignal korrigieren) erst in hydrologisch relevante Parameter transformiert werden, natürlich mit entsprechenden Unsicherheiten, die nicht immer Berücksichtigung finden. Die Entwicklung solcher Methoden ist ohne ein sogenanntes „Ground Truthing“, einer direkten Messung der notwendigen Parameter an der Landoberfläche, nicht möglich und ist damit auf eine Datenverfügbarkeit nationaler und internationaler Mess- und Beobachtungs-Netzwerke angewiesen.

Die Nutzung von Satellitendaten, oder auch von terrestrischer oder flugzeug- und drohnen-gestützten Fernerkundungsdaten (z. B. Laserscanner zur Erfassung von Schneehöhenveränderungen) sowie die Weiter- und Neuentwicklung geophysikalischer Messverfahren wird sich im Bereich hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Forschung in den nächsten Jahren stark weiterentwickeln. Auch diese Technologien und Methoden müssen durch entsprechende Kommunikation und Schulungen, wie bereits oben besprochen, für die Praxis verfügbar gemacht werden.

## Zusammenfassung

Die wesentlichen angesprochenen Aspekte möchte ich abschließend noch einmal zusammenfassen:

- Globale Wandelprozesse, inklusive anthropogener Beeinflussungen und deren Auswirkungen auf die hydrologischen Systeme, werden weiterhin wichtige wasserwirtschaftliche Herausforderungen darstellen und die hydrologische Forschung der nächsten Dekaden stark prägen. Der Aspekt der Inter- und Transdisziplinarität wird dabei eine zunehmend wichtigere Bedeutung bekommen.
- Durch die Weiterentwicklungen im Bereich der satelliten-, flugzeug- und drohnen-gestützten sowie der terrestrischen Fernerkundung hat sich die Daten-Situation von „data poor“ zu „data rich“ verändert. Diese Daten sinnvoll für hydrologische und wasserwirtschaftliche Fragestellung auszunutzen, wird eine der sehr spannenden Herausforderungen für die nächsten beiden Dekaden (und vermutlich darüber hinaus!).
- Eine Vielzahl hydrologischer und wasserwirtschaftlich relevanter Parameter ist nicht über Fernerkundungstechniken erfassbar – ein dichtes und qualitativ hochwertiges Messnetz in einer interdisziplinären und internationalen Ausrichtung ist dringend erforderlich. Auch die Methodenentwicklung und Qualitätssicherung im Bereich der Fernerkundung sind darauf angewiesen.
- Bei immer stärker regional und global sowie inter- und transdisziplinär ausgerichteten wasserwirtschaftlichen Problemstellungen sollten wir nicht vergessen, dass längst nicht alle hydrologischen Prozesse auf lokaler Skala vollständig verstanden sind. Fragen nach Abflussbildung, Verdunstung und Verweilzeiten sowie deren räumlicher Skalierung, stellen zwar „altbekannte“ Probleme dar, die aber längst nicht gelöst sind. Aus meiner Sicht liefert jedoch deren Lösung ganz wichtige Bausteine für die Lösung der anderen „großen“ Fragen und sollte daher nicht aus dem Blickwinkel geraten.

## Literatur

- APCC14 (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2.
- Bernhardt, M., Härer, S., Jacobeit, J., Wetzel, K.F., Schulz, K. (2014): The Virtual Alpine Observatory - research focus Alpine hydrology. *Hydrol. Wasserbewirts.*, 58(4), 241-243.
- Blöschl, G., Carr, G., Bucher, C., Farnleitner, A. H., Rechberger, H., Wagner, W., and Zessner, M. (2012): Promoting interdisciplinary education – the Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 457-472, doi:10.5194/hess-16-457-2012.
- Blöschl, G., et al. (2013): *Runoff Prediction in Ungauged Basins - Synthesis across processes, places and scales*, Cambridge: Cambridge University Press, ISBN: 9781107028180.
- Montanari, A., Young, G., Savenije, H. H. G., Hughes, D., Wagener, T., Ren, L. L., Koutsoyiannis, D., Cudennec, C., Toth, E., Grimaldi, S., Blöschl, G., Sivapalan, M., Beven, K., Gupta, H., Hipsey, M., Schaeffli, B., Arheimer, B., Boegh, E., Schymanski, S., Di Baldassarre, G., Yu, B., Hubert, P., Huang, Y., Schumann, A., Post, D. A., Srinivasan, V., Harman, C., Thompson, S., Rogger, M., Viglione, A., McMillan, H., Characklis, G., Pang, Z., and Belyaev, V., (2013): „Panta Rhei-Everything Flows“: Change in hydrology and society – The IAHS Scientific Decade 2013-2022, *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 58, 1256-1275.

Zehe, E., Ehret, U., Pfister, L., Blume, T., Schröder, B., Westhoff, M., Jackisch, C., Schymanski, S. J., Weiler, M., Schulz, K., Allroggen, N., Tronicke, J., van Schaik, L., Dietrich, P., Scherer, U., Eccard, J., Wulfmeyer, V., and Kleidon, A. (2014): HESS Opinions: From response units to functional units: a thermodynamic reinterpretation of the HRU concept to link spatial organization and functioning of intermediate scale catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 4635-4655, doi:10.5194/hess-18-4635-2014.

**Univ.-Prof. Dipl.-Geoökol. Dr. Karsten Schulz**

Universität für Bodenkultur Wien

Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

1190 Wien, Muthgasse 18

karsten.schulz@boku.ac.at



# Herausforderungen des Wasserbaus für die nächsten 20 Jahre

Gerald ZENZ, Technische Universität Graz

## Einleitung

Auf die Frage „Wohin entwickelt sich die Wasserwirtschaft in den nächsten 20 Jahren?“ wird es 2035 eine Antwort geben, wohin sich die Wasserwirtschaft in unserer Gesellschaft entwickelt haben wird. Eine Einschätzung dieser Entwicklung erfordert die Beurteilung der Situation, eine Reflexion der gesellschaftlichen Ziele unter Gewichtung der bestehenden Einflüsse, die hier nur eingeschränkt erfolgen kann.

Die Entwicklung der vergangenen 10 Jahre zeigt sehr deutlich Grenzen auf. Das Desaster, verursacht durch uns mittels der Instrumente der Finanzwirtschaft – deren an sich wichtig positiven Impulse – durch fehlende (Selbst-)Beschränkungen, katapultierte die Realwirtschaft nahe an den Abgrund. Die Trägheit der bestehenden politisch-rechtlichen Organisation, angemessen und entschieden darauf zu reagieren und konkrete Maßnahmen zu beschließen, ruft nicht zwangsläufig eine positive Grundstimmung hervor. Diese äußerst unbefriedigende Situation beinhaltet nihilistische, radikalierende Elemente, die das Grundvertrauen – die erforderliche, inhärente Basis einer funktionierenden Gesellschaft – stark in Mitleidenschaft zieht. In den weiteren Überlegungen soll deshalb eine altruistische Einstellung der Gesellschaft und dadurch resultierend eine weitere positive Entwicklung vorausgesetzt werden.

Die prioritären Herausforderungen an unsere Gesellschaft, die eine funktionierende Wirtschaft basierend auf solider Finanzwirtschaft voraussetzt, könnten in der Reihenfolge ihrer Wirksamkeit folgend dargestellt werden:

- Verbesserung der Organisation,
- Stimulation der Investition in Infrastruktur und
- Arbeit an der Verbesserung der Bildung und Ausbildung.

Die organisatorischen Erfordernisse für den Staat sind in Reformvorschlägen durch Expert-Innengremien ausgearbeitet; alleine der Leidensdruck war bisher augenscheinlich zu gering, sodass keine oder eine nur unzureichende Umsetzung erfolgte. Die veröffentlichten, statistischen Kennwerte – die Arbeitslosenzahlen und die angerechnete Staatsverschuldung betreffend – sind unakzeptabel; Gegenmaßnahmen lassen zu lange auf sich warten. Die Erfordernisse zur Steuerung des Staates – wie wir es bisher gewohnt waren – sind aber auch mit der vorhandenen Abgabenstruktur mittelfristig nicht mehr weiter zu finanzieren. Investitionen werden hinausgezögert oder verunmöglicht und damit befindet sich die Organisation der Gesellschaft in einem unerfreulichen Kreislauf, den es gilt zu durchbrechen.

Für ein selbstbestimmtes Leben sind Bildung und Ausbildung, eingebettet in ein akzeptierendes soziales Umfeld, die Grundpfeiler. Jede Form der gesellschaftlichen Partizipation ist dabei wesentlich unter der Möglichkeit, sich im Wettbewerb zu messen und zu verbessern.

Unter der Voraussetzung, dass die gesellschaftlich relevanten Schritte mit Einbeziehung Vieler im Staate gelingen werden, könnten zukünftige Beiträge des Wasserbaus und der Wasserwirt-

schaft in folgenden Bereichen liegen:

- Anpassung an klimatische Änderungen – ökologische Maßnahmen,
- Reduktion des Hochwasserrisikos – Schutzwasserbauten,
- Nutzung von Energie aus erneuerbarer Quelle,
- Erhalt und Optimierung wasserbaulicher Einrichtungen,
- Aus- und Weiterbildung mit Kondensierung des Wissenskanons.

Nachfolgend werden Aspekte der Nutzung von Energie aus erneuerbarer Quelle, die Gewährleistung der Erhaltung und des sicheren Betriebs wasserbaulicher Anlagen sowie die Erfordernisse aus der Ableitung des Risikokreislaufes – in ihrer möglichen zukünftigen Bedeutung – näher betrachtet.

### **Herausforderung Nutzung Energie aus erneuerbarer Quelle**

In Österreich kann durch regenerative Wasserkraft zu einem Anteil von etwa 65 % umweltfreundlich elektrische Energie erzeugt werden. Durch die angestrebte Reduktion der Treibhausgasemission wird ein weiterer Ausbau auch des Wasserkraftpotenzials angestrebt. Diesem Ziel stehen jedoch ökologische Vorgaben entgegen, welche eine Reduktion der Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbarer und damit umweltfreundlicher Wasserkraft ergäben. Nun ist es eine Herausforderung, den hohen technischen Anforderungen bei Erreichung höchster ökologischer Ziele gerecht zu werden und dafür den politischen Konsens in Europa zu erzielen.

Die Ausbau der Wasserkraft war in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts – vor der Liberalisierung des Strommarktes – lange Zeit kein Thema. Dies wegen der niedrigen Kosten der fossilen Energieträger und des weniger sensibilisierten Umweltbewusstseins. Investitionen, die einen zwar stetigen aber vergleichsweise geringen Ertrag erwirtschafteten, stießen bei institutionellen Geldanlegern nicht auf hohes Interesse. Auch Pensionsfonds legten Wert auf eine „hohe Performance“ ihrer Geldanlagen – eine finanzielle Restriktion wurde als politisch nicht opportun erachtet.

Österreich ist in der bevorzugten Lage, mithilfe von Lauf- und Hochdruckwasserkraftanlagen elektrische Energie aus sauberer Quelle bereit zu stellen. Pumpspeicherkraftwerke erlauben die Speicherung elektrischer Energie im großen industriellen Maßstab und sind äußerst flexibel zur Abdeckung kurzfristiger Bedarfsspitzen.

Im gesellschaftlichen Konsens werden basierend auf der Wasserrahmenrichtlinie Vorgaben zur Verbesserung unserer Gewässer gelegt. In Hinblick auf Wasserkraftanlagen ergeben sich dadurch die besonderen Herausforderungen:

- Schwall- und Sunkerscheinungen für die Abdeckung der Leistungsspitzen,
- Restwasserdotations – bei Ausleitungskraftwerken,
- Erzielung der Durchgängigkeit zur ökologischen Verbesserung.

Unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit ist es möglich, weitergehende ökologische Vorgaben zu erfüllen. Jedoch ist abzuwägen, worin andernfalls Möglichkeiten bestünden, den Energiebedarf sicher zu stellen. Ein weiterer verträglicher Ausbau des vorhandenen Wasser-

kraftpotenzials ist in jedem Falle die umweltfreundliche Option mit der angestrebten Nachhaltigkeit. Alleine Marktinterventionen und massive Förderprogramme für den Ausbau von Wind- und Fotovoltaik-Anlagen haben das Vertrauen in die Investitionssicherheit nachhaltig negativ beeinflusst. Daran werden die Volkswirtschaften – auch im Lichte der Globalisierung – noch lange zu arbeiten haben. Hier wurde das Grundprinzip nachhaltigen Wirtschaftens sträflich verletzt; deshalb müssen wieder klare rechtliche und wirtschaftliche Randbedingungen geschaffen werden, um Investitionen sicher zu stellen [1].

### **Bedeutung sicherer Speicher und Sperrbauwerke**

Exemplarisch wird am Beispiel der Talsperren die Bedeutung einer festgelegten Organisation mit klar geregelter Verantwortung, die Überprüfung neuer und das Verhalten bestehender Anlagen, die intradisziplinäre Aus- und Weiterbildung sowie die Weitergabe der Erfahrung mit der Anlage dargelegt. Diese Aspekte sind im Besonderen für Bauwerke mit erhöhtem Risikopotenzial von Bedeutung [2].

Talsperren sind seit jeher wesentliche Infrastrukturbauwerke und für die Entwicklung und den Wohlstand einer Gesellschaft von großer Bedeutung. Die Speicherung von Wasser für die Bewässerung, die Wasserversorgung und für den Hochwasserschutz spielte bereits in den alten Hochkulturen eine wesentliche Rolle. In Österreich dienen Speicherbecken in erster Linie der Energieerzeugung aus Wasserkraft, dem Hochwasserschutz und auch für den Betrieb von Beschneigungsanlagen [3].

Talsperren zählen zu jenen Ingenieurbauten, deren Versagen katastrophale Folgen für große Gebiete und deren Bewohner nach sich ziehen würde. Für derartige Anlagen sind daher zur Gewährleistung der Sicherheit strenge Kriterien zu erfüllen. Diese beziehen sich sowohl auf die Planung und Errichtung einer Anlage, auf deren Überwachung über die gesamte Lebensdauer als auch auf Vorkehrungen bei einer allfälligen Gefahrensituation [4].

Das System zur Gewährleistung der Talsperrensicherheit bestehender Anlagen umfasst in Österreich drei Ebenen [5]. Dies sind die Betreiber als erste Ebene, die Talsperrenaufsicht der Länder und die Talsperrenüberwachung des Bundes (*Abb. 1*).

Die Verantwortung für die Sicherheit der Talsperren liegt generell beim Betreiber. Er hat die Anlagen entsprechend zu überwachen und, falls erforderlich, Maßnahmen zur Instandsetzung bzw. Anpassung an den Stand der Technik auszuführen. Für diese Aufgaben hat er eine/n Talsperrenverantwortliche/n zu nominieren, die/der für alle technischen und organisatorischen Aspekte zur Gewährleistung der Talsperrensicherheit zuständig ist und daher eine entsprechende Schlüsselposition im Unternehmen innehaben muss. Für eine ständige Erreichbarkeit ist auch eine ausreichende Anzahl von StellvertreterInnen zu bestellen.

Die Talsperren werden kontinuierlich überwacht. Die diesbezüglichen Aufgaben werden in erster Linie von den SperrenwärterInnen wahrgenommen. Diese führen nach einem detaillierten Mess-, Überprüfungs- und Beobachtungsprogramm die laufenden Bauwerksmessungen, visuellen Kontrollen und auch Erprobungen (z. B. von Überwachungseinrichtungen) durch. Sie sind somit laufend mit der Sperre befasst und würden als Erste allfällige Unregelmäßigkeiten (z. B. Wasserdurchtritte) bzw. sich anbahnende Veränderungen feststellen. Damit sind die Sperren-

### MEHR - EBENEN PRINZIP

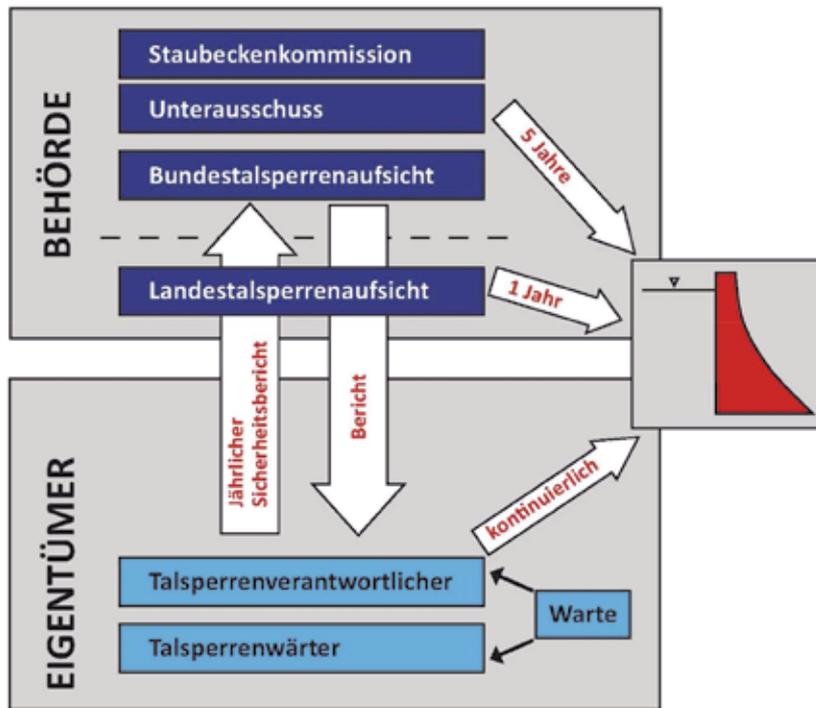


Abb. 1 Überwachungsebenen

wärterInnen ein sehr wesentliches Element der Talsperrenüberwachung. Diese Position erfordert auch eine entsprechende Aus- und Weiterbildung und nicht zuletzt auch Wertschätzung im Unternehmen.

Die Talsperrenaufsicht des Landes (2. Überwachungsebene) nimmt sowohl an den Jahresbegehungen des/der Talsperrenverantwortlichen als auch an den 5-Jahres-Überprüfungen durch den Unterausschuss der Staubeckenkommission teil. Bei einer Gefahrensituation wäre die Talsperrenaufsicht des Landes zu verständigen und der/die Talsperrenverantwortliche hätte mit ihr insbesondere die Maßnahmen im Rahmen des Flutwellenalarmplans abzustimmen.

Die Talsperrenüberwachung des Bundes (3. Überwachungsebene) prüft die Jahresberichte des/der Talsperrenverantwortlichen und überprüft alle fünf Jahre die Anlagen vor Ort (5-Jahres-Überprüfungen). Diese Überprüfungen werden vom sogenannten Unterausschuss für Talsperrenüberwachung der Staubeckenkommission durchgeführt. Dieser besteht aus fachlich einschlägig befassen VertreterInnen des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und externen, unabhängigen ExpertInnen für Geologie und Dammbau bzw. Betonsperren.

### Bedeutung der Aus- und Weiterbildung

Die Grundlage für die Wahrnehmung verschiedener Aufgaben im Talsperrenbereich bildet, wie auch in allen anderen Fachgebieten, eine solide Berufsausbildung [6]. Für den/die Talsperrenverantwortliche/n ist dies im Allgemeinen ein Universitätsabschluss im Baufach, für

den/die Sperrenwärter/in eine abgeschlossene Ausbildung als Facharbeiter/in. Neben diesen Grundkenntnissen sind allerdings für die einzelnen Aufgaben noch vertiefte Fachkenntnisse erforderlich, die im Allgemeinen in der üblichen Berufsausbildung kaum vermittelt werden. Weiters erfordert die Betreuung von bestehenden Anlagen auch spezielle Anlagenkenntnisse.

Die besonderen Kenntnisse der Anlagen sind wohl nur im jeweiligen Unternehmen zu erwerben. Zu berücksichtigen ist dabei, dass Talsperren eine sehr lange Lebensdauer aufweisen und mit ihnen mehr als eine IngenieurInnengeneration befasst sein wird. Damit spielen vor allem die Anlagendokumentation (Talsperrenbuch) und die Weitergabe des Wissens eine wesentliche Rolle. Bei der Bestellung von Talsperrenverantwortlichen wird verlangt, dass diese mindestens 3 Jahre mit der betreffenden Anlage befasst sein mussten.

Für die Vermittlung des notwendigen, vertieften Fachwissens werden vom österreichischen Nationalkomitee für Talsperren [7] einschlägige Kurse angeboten und zwar:

- Kurse für Talsperrenverantwortliche mit einer Dauer von 5 Tagen mit Vorträgen zu Themen wie z. B. Betonsperren, Dämmen, Sicherheitsphilosophie, Überwachung, Sicherheitsbeurteilung, rechtliche Grundlagen und Notmaßnahmen. Ergänzt werden die Vorträge durch praktische Übungen an einer Betonsperre und einem Schüttdamm.
- Kurse für SperrenwärterInnen mit einem Grundkurs (Theorieteil) und einem Praxiskurs von jeweils 2,5 Tagen Dauer.
- Eintägiger Kurs für Betriebspersonal (Wartepersonal).
- Kurse für Talsperrenverantwortliche von kleinen Stauanlagen – in Zusammenarbeit mit dem ÖWAV.

Das in Österreich praktizierte Vorgehen für die Gewährleistung der Talsperrensicherheit zeichnet sich durch die Tätigkeit der Staubeckenkommission in enger Zusammenarbeit mit der bundesweit tätigen Obersten Wasserrechtsbehörde sowie den Talsperrenverantwortlichen aus.

An der Prüfung von Projekten in der Staubeckenkommission sind alle relevanten Fachgebiete vertreten. Dadurch wird gewährleistet, dass anstehende Fragen und Problemstellungen umfassend behandelt werden können. Durch die Diskussion der technischen Fragen erfolgt auch ein bedeutender Erfahrungsaustausch zwischen den ProjektwerberInnen und den Mitgliedern der Kommission sowie den Mitgliedern untereinander.

Durch die verpflichtende Bestellung von Talsperrenverantwortlichen, die eine dem Vorstand des Stauanlagenbetreibers direkt zugeordnete Führungsposition innehaben müssen, werden neben einer klaren Zuordnung von Verantwortung und Befugnis die Betreiber veranlasst, den Talsperren besonderes Augenmerk zu widmen. Durch die festgelegte Einarbeitungszeit ist auch ein hinreichender Übergreif von einem ausscheidenden Mitarbeiter zu seinem/seiner Nachfolger/in gewährleistet. Dies erfordert im Unternehmen auch eine entsprechende Ressourcenplanung [8].

## **Hochwasserrisikomanagement Steiermark – HORST**

Im Rahmen einer Kooperation der in *Abb. 2* dargestellten Arbeitstreffen und Beteiligten wurden – beauftragt von der Abteilung 14 „Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit“ – eine

Analyse und Studie über den Ist-Zustand des Hochwasserrisikomanagements in der Steiermark erstellt und Empfehlungen für künftige Strategien und Arbeitsschwerpunkte ausgearbeitet [9].

## Abfolge der Workshops

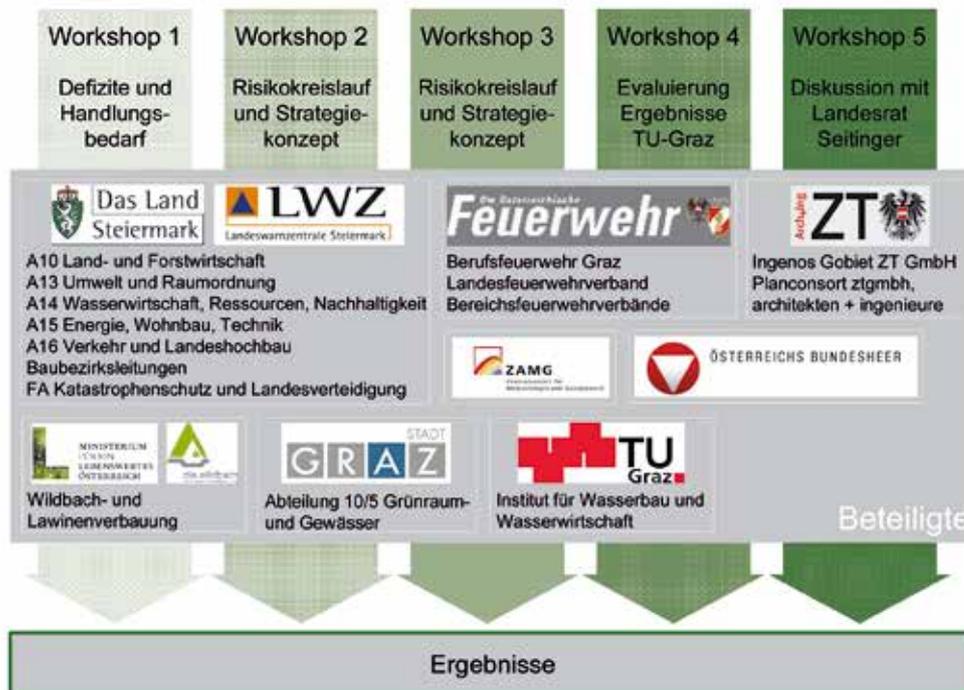


Abb. 2 Workshop und an der Untersuchung Beteiligte

Das aus den Diskussionsrunden entwickelte, kondensierte Konzept besteht aus 4 Strategien, welchen konkret 10 Maßnahmen zugeordnet sind (Abb. 3). Um Hochwasserprognosen zu optimieren, sind die Warn- und Prognosesysteme zu verbessern. Dies ist durch den Ausbau der Überwachung von Gewässern (Pegelmessnetz und Videoüberwachung) möglich. Wichtig ist zudem die Vereinheitlichung und Optimierung der Alarm- und Einsatzpläne, basierend auf Berechnungen, um damit mögliche Überflutungen besser bekämpfen zu können. Dynamische Abflussberechnungen mit Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung haben gegenüber stationären Untersuchungen einen wesentlichen Mehrwert bei der Leitung und Lenkung von Einsatzkräften. Zur effizienteren Vermeidung der Hochwassergefahren bedarf es eines engagierten Flächenmanagements. Raumordnungsmaßnahmen, wie die Erhaltung bestehender und die Erschließung neuer Retentionsräume, sowie die Reduktion von Flächenversiegelung sind dazu notwendig. Im Bedarfsfall darf auch eine Rückwidmung von Bauland im Hochrisikogebiet nicht ausgeschlossen werden.

Besonders zu berücksichtigen ist, dass bei starken Niederschlägen nicht nur die Überflutung an sich eine Gefahr darstellt, sondern auch Hangwasser, Erosionen und Rutschungen große Schäden verursachen können. Eine Darstellung der Gefährdungssituation und die Entwicklung von Maßnahmenprogrammen (z. B. Rutschhangkataster und Hangwasserkarten) stellen dazu ein geeignetes Werkzeug dar.

Der technische Hochwasserschutz bietet dabei oft die einzige Möglichkeit, Menschen, Umwelt und/oder Sachwerte zu schützen. Die Realisierung geplanter schutzwasserbaulicher Maßnahmen unter Berücksichtigung der Verbesserung der ökologischen Situation soll daher in jedem Fall umgesetzt werden. Ist es nicht möglich, Siedlungsraum mit besonderer Hochwassergefährdung z. B. durch Rückhaltebecken oder Flussbaumaßnahmen zu schützen, stellt der mobile Hochwasserschutz eine mögliche Variante dar. Weiters sollte der Ausbau des Objektschutzes an öffentlichen und privaten Gebäuden erfolgen, da dadurch der Schaden an Eigentum vor allem bei niedrigen Überflutungshöhen erheblich gesenkt werden kann.

## Strategien und deren Maßnahmen



**Abb. 3** Strategiekonzept HORST – Hochwasserrisikomanagement in der Steiermark

Zusätzlich zu den realisierten Schutzmaßnahmen der öffentlichen Hand ist es von erheblicher Bedeutung, die Bevölkerung in Bezug auf Naturgefahren zu sensibilisieren. Informationsbroschüren und eine „Hochwasser-Website“ mit gesammelten Fakten, Hinweisen und Ratschlägen, sind für die Bewusstseinsbildung sicherlich hilfreich. Besonders soll dabei auf Versicherungsmöglichkeiten und Angebote zu Selbstschutzmaßnahmen (Stichwort: Hochwassercheck) hingewiesen werden. Ergänzend zu den Informationen sind anschauliche Hinweise wie z. B. Pegelmarken oder Lehrpfade eine gute Möglichkeit, das Bewusstsein für die Hochwassergefahr zu stärken. Die vermehrte Einbindung der Hochwasserthematik in der fachlichen Ausbildung und Schulungen für Land- und Forstwirtschaft sollten ebenso intensiviert werden. Schlussendlich muss auch die Forschung in Bezug auf Naturgefahren unterstützt werden, um zusätzlich Erkenntnisse z. B. in Bezug auf Retention, die Hangwasserproblematik, Rutschhänge oder den Sedimenthaushalt zu gewinnen. Erfolgt zudem eine Standardisierung der Dokumentation und Umsetzung neuer Erkenntnisse in der Adaption der Maßnahmenprogramme, können auch aus bewältigten Hochwasserereignissen wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Damit kann

ein wichtiger Beitrag zur Erhöhung der Resilienz unserer Gesellschaft für die Zukunft geleistet werden.

## Literatur

- [1] Zenz G., Harb G., Proyer M. (2010): Chancen und Potenziale der Wasserkraft – South East European Hydropower, 11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.2.2010, Universität Graz.
- [2] Zenz, G., Oberhuber, P., Czerny, H. (2013): Spezifische Ausbildung als wesentlicher Beitrag für den sicheren Talsperrenbetrieb, Deutsches Talsperrensymposium, DTK-Magdeburg.
- [3] Zenz, G., Oberhuber, P., Czerny, H. (2012): The great significance of dam safety in Austria, *Geomechanics and Tunneling* 5 (2012), No. 5.
- [4] Widmann, R. (2001): Gedanken zur Beurteilung der Sicherheit von Talsperren, *Wasser-Energie-Luft*, Jg. 93 (2001), Heft 7/8.
- [5] Melbinger, R. (1991): Die Genehmigung und Überwachung der Talsperren in Österreich, *Österreichische Wasserwirtschaft*, Jg. 43 (1991), Heft 5/6.
- [6] Zenz, G., Knoblauch, H., Schneider, J. (2013): Experience and education as keys for future dam governance, in Proceedings of ICOLD European Club Symposium, Venice, Italy, April 2013.
- [7] ATCOLD – Österreichisches Nationalkomitee für Talsperren – <http://www.atcold.at>
- [8] TU Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (2015): Kolloquium „Sichere Talsperren und Speicherbauwerke“, 19. März 2015.
- [9] Hornich R., Zenz G., Hammer A., Reischl M. (2014): HORST – HochwasserRisikomanagement-Steiermark, *Wasserland Steiermark*, Heft 2.

### Univ.-Prof. DI Dr. Gerald Zenz

Technische Universität Graz

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

8010 Graz, Stremayrgasse 10/II

gerald.zenz@tugraz.at



zukunft  
SEIT 1909  
denken

# Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Tel. +43-1-535 57 20, Fax +43-1-535 40 64, buero@oewav.at, [www.oewav.at](http://www.oewav.at)

Das österreichische **Kompetenz-Zentrum**  
für **Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft.**

## Veranstaltungen

- Österreichische Abfallwirtschaftstagung
- Österreichische Wasserwirtschaftstagung
- Österreichische Umweltrechtstage
- Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
- Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abwasser-, Abfallbehandlungs- und Hochwasserschutzanlagen
- Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften
- Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse in den Bereichen Gewässerpflege, kleine Stau- und Sperrenanlagen, Hochwasserschutz- und Beschneigungsanlagen
- Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
- Exkursionen

## Fachgruppen und Arbeitsausschüsse

- Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen, Merkblättern und Leitfäden
- Erarbeitung von Positions- und Ausschusspapieren sowie Stellungnahmen zu Gesetzesvorhaben

## Beratung und Information

- Auskünfte und individuelle Beratung
- Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Öffentlichkeitsarbeit

## Veröffentlichungen

- Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW)
- ÖWAV-Homepage ([www.oewav.at](http://www.oewav.at))
- ÖWAV-News (HTML-Newsletter)
- Tätigkeitsbericht des ÖWAV
- Schriftenreihe des ÖWAV (Wasser- und Abfallrechtliche Judikatur in Leitsatzform)
- Veröffentlichungen zu Tagungen und Seminaren des ÖWAV
- Regelblätter\*), Arbeitsbehelfe\*) und Merkblätter des ÖWAV, Positions- und Ausschusspapiere
- Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen\*)
- ÖWAV-WKO-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
- KA-Betriebsinfo<sup>1)</sup>
- Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer<sup>1)</sup>

## Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA

## Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EUREAU (gem. mit ÖVGW)
- International Solid Waste Association – ISWA
- International Water Association – IWA (gem. mit ÖVGW)

\*) in Kommission bei Austrian Standards plus Publishing, Wien

<sup>1)</sup> Mitherausgeber



zukunft  
SEIT 1909  
denken

ISBN 978-3-902978-46-2