

Klimawandel, qualitative Aspekte der Wasserwirtschaft und Nutzungsaspekte

Zusammenfassung: Für die Planung potentiell notwendiger Anpassungsmaßnahmen in der Wassergütwirtschaft auf den unterschiedlichsten Ebenen von der Gesetzgebung bis hin zu den NutzerInnen sind neben der Identifikation, in welchen Bereichen und Punkten generell Auswirkungen eines Klimawandels erwartet werden können, Abschätzungen über das Ausmaß der Veränderungen und Auswirkungen notwendig. Die in dieser Veröffentlichung dargestellten Ergebnisse werden als eine Zusammenfassung wesentlicher Gesichtspunkte verstanden, die im direkten Bezug zur Wassergütwirtschaft und damit zu möglichen anthropogenen (Kompensations-) Maßnahmen stehen. Als eine Konsequenz der Betrachtungen zeigt sich, dass integrierte Managementpläne, die sich an den bereits verankerten Gewässerbewirtschaftungsplänen orientieren, zukünftig speziell in Regionen mit erhöhter wasserwirtschaftlicher Vulnerabilität für die unterschiedlichsten Nutzungsaspekte an Bedeutung gewinnen werden. Eine konsequente Umsetzung der derzeitigen Strategien und Maßnahmen im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP), zeitliche und räumliche Priorisierung von Maßnahmen sowie die Erstellung von Wärmelastplänen werden als geeignet erachtet, die bis 2050 erwarteten Auswirkungen der Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen mit zu berücksichtigen.

Climate change, qualitative and use related aspects

Summary: For planning adaptation strategies at the various scales of water quality management, from legislation to the user, basic knowledge is necessary on where and to what extent climate change could interfere with the pattern of water use and water quality. This paper presents a summary of the main water demand and quality aspects that are directly related to water quality management and sanitary engineering. The paper concludes that integrated water resource management plans will get additional importance, especially in regions where the pressures on water

use and consumption are already visible today. A consequent further implementation of those plans together with the existing dynamic planning tools, management strategies and necessary prioritizations are considered suitable for addressing the challenges of climate change effects on water quality management and sanitary engineering in Austria until 2050.

1. Einleitung

Im Rahmen der Studie ZAMG/TU-Wien (2011), welche die Ausarbeitung von Anpassungsstrategien an Auswirkungen des Klimawandels für die österreichische Wasserwirtschaft beinhaltet, erfolgte auch eine Abschätzung zu qualitativen sowie nutzungsrelevanten Aspekten der Wasserwirtschaft. Die Studie baut auf den meteorologischen und hydrologischen im Mittel zu erwartenden Änderungen für den Zeitraum 2020–2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1976–2007 auf (Schöner et al. 2011, Blaschke et al. 2011).

Für die Planung potentiell notwendiger Anpassungsmaßnahmen in der Wassergütwirtschaft – auf den unterschiedlichsten Ebenen von der Gesetzgebung bis hin zu den NutzerInnen – sind neben der Identifikation, in welchen Bereichen und Punkten generell Auswirkungen eines Klimawandels erwartet werden können, Abschätzungen über das Ausmaß der Veränderungen und Auswirkungen notwendig. Planungshorizonte und damit ein effizienter Ressourceneinsatz und Rechtssicherheit erstrecken sich üblicher Weise über Dekaden, müssen deshalb bereits jetzt (und in der Vergangenheit) potentielle Veränderungen der Planungsgrundlagen über einen längeren Zeitraum berücksichtigt und somit einen dynamischen Anpassungsmechanismus und Sicherheitsfaktoren aufweisen. In diesem Beitrag werden jene Aspekte behandelt, welche Nutzungsaspekte und Wassergütwirtschaft als thematische Basis für Anpassungsstrategien betreffen.

Die in dieser Veröffentlichung dargestellten Ergebnisse werden als eine Zusammenfassung wesentlicher Gesichtspunkte verstanden, die im direkten Bezug zur Wasserwirtschaft und damit zu möglichen anthropogenen (Kompensations-) Maßnahmen stehen. Dies bedeutet, dass Auswirkungen auf die biologischen Qualitätskomponenten und Gewässerbiozöten ebenso wie direkte Auswirkungen auf die Landwirtschaft nicht behandelt werden. Natürlich stehen beide dieser beispielhaft angeführten Punkte in direktem Zusammenhang mit der Wasserwirtschaft. Dieser enge Zusammenhang ist jedoch nicht erst seit der Diskussion um die Auswirkungen des Klimawandels relevant, sondern kann speziell in Österreich auf eine aus dem traditionellen Gewässerschutz resultierende lange und erfolgreiche Zusammenarbeit zurückblicken. War diese Zusammenarbeit in der Vergangenheit und ist auch heute noch von Nährstoffthematik und Morphologie geprägt, so werden vermehrt auch die Änderung klimatischer Rahmenbedingungen inhaltlich aufgenommen werden und damit auch andere AkteurInnen der Wasserwirtschaft umfassen.

Projektionen über zukünftige Veränderungen klimatischer Rahmenbedingungen und deren direkte Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft gestalten sich schwierig. Die Komplexität der Thematik wird deutlich in LAWA (2009) ausgeführt (siehe Abb. 1). Während Aussagen über die mittlere Lufttemperaturentwicklung auf großräumiger Skala als gesichert angesehen werden, liegen Aussagen zur „Wasserqualität und Ökosystemfunktion“ am spekulativen Ende der Aussagenkette. Die Ursache dafür liegt darin begründet, dass die Komplexität ökologischer Zusammenhänge im Sinne von wechselwirkenden biotischen und abiotischen Ökofaktoren mit der Integrationsebene zunimmt. Dadurch übertragen sich Unsicherheiten einer niedrigen Integrationsebene auf höhere. Außerdem sind zentrale Zusammenhänge, die für das Verständnis von Ausprägungen und Prognosen notwendig wären, zurzeit nicht quantifizierbar und

2. Grundsätzliche Überlegungen

42 1-2/2011 © Springer-Verlag öwaw

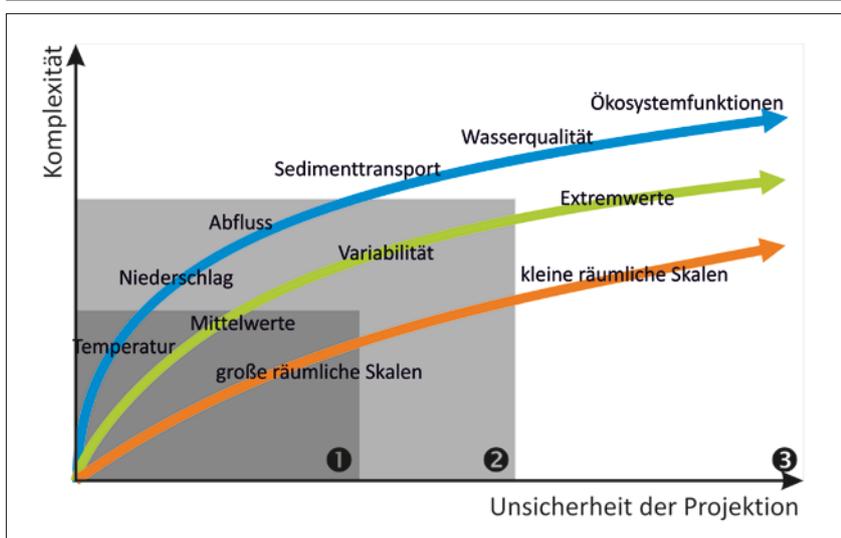


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Komplexität und Unsicherheit von Projektionen für unterschiedliche thematische, räumliche und zeitliche Integrationsebenen (verändert nach LAWA 2009). Bereiche, die nach dem heutigen Stand des Wissens (1) weitgehend gesicherte harte, (2) weiche oder (3) nur spekulative Aussagen zulassen

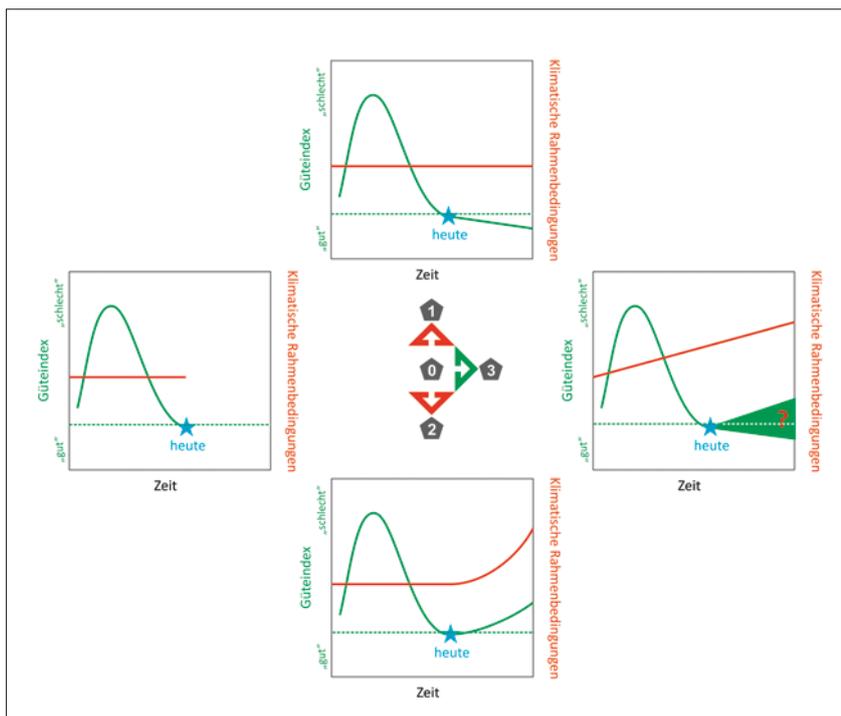


Abb. 2: Skizzenhafte Darstellung von Planung, Ausprägung und Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen (verändert nach Glen et al. 2010)

können bestenfalls anhand lokaler Fallbeispiele dokumentiert werden. Die Aussagen in diesem Beitrag können sich deshalb vorwiegend nur qualitativ und mit größerer Unschärfe (verglichen mit den anderen dargestellten Bereichen der Wasserwirtschaft) abgeleitet werden.

Ein weiterer Aspekt, der als Grundlage für zu diskutierende Anpassungsmaßnahmen nicht außer Acht gelassen werden darf, ist die Tatsache, dass Temperaturän-

derungen in den Gewässern nicht nur eine rezente oder zukünftige Entwicklung darstellen, sondern sich bereits über die in der Wasserwirtschaft üblichen Planungszeiträume in der Vergangenheit nachweisen lassen und somit bereits in den Planungsinstrumentarien indirekt mit berücksichtigt wurden und werden. Der Zusammenhang zwischen wassergütwirtschaftlicher Planung, ihrer Auswirkung auf die Gewässergüte und den klimatischen Rahmenbedin-

dingungen ist in *Abbildung 2* skizziert. Eine Betrachtung der historischen Situation (0) zeigt, dass Veränderungen des Klimas in der Planung bis dato weitgehend unberücksichtigt blieben, die anthropogen verursachten Gewässerbelastungen jedoch durch technische und organisatorische Maßnahmen beseitigt werden konnten. Die flächendeckende Umsetzung in Österreich macht sich am deutlichsten in der markanten Verbesserung der verschiedensten Güteindizes seit Mitte der 1980er Jahre bemerkbar. Eine Weiterführung der derzeitigen Strategie würde deshalb in Szenario (1) resultieren, das durch die konsequente Umsetzung gesetzlicher Rahmenbedingungen (Stichwort Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan - NGP) bereits auf Schiene ist. Eine weitere Verbesserung der Situation verläuft jedoch auf Grund der bereits guten Ist-Situation nicht so deutlich, wie dies Ende des vorigen Jahrhunderts der Fall war. Die Diskussion der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassergüte thematisiert nun die Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen mit potentiellen negativen Auswirkungen auf die Güteparameter (*Szenario (2) in Abb. 2*). Tatsächlich sind Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen auch historisch nachweisbar seit es Aufzeichnungen etwa der Gewässertemperatur gibt (*siehe z. B. Abb. 3*). Dies bedeutet, dass die bis heute erreichten Gütewerte als Ergebnis einer Überlagerung anthropogener (positiver und negativer) Einflüsse und Maßnahmen sowie bereits erfolgter klimatischer Veränderungen anzusehen sind (*siehe Szenario (3) in Abb. 2*). Die gesetzten Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässergüte, die ja auch den Ausgangspunkt für die anthropogene Wassernutzung darstellt, konnten somit bereits potentielle negative Güteauswirkungen der Veränderung klimatischer Rahmenbedingungen (*Szenario (2)*) mit kompensieren. Die zentrale Frage lautet nun, ob das derzeitige Instrumentarium auch zukünftig ausreicht, Anpassungen an den Klimawandel sicherzustellen, oder neue Strategien und Mechanismen eingesetzt werden müssen, um dies zu bewerkstelligen.

Die methodische Herangehensweise zur Abschätzung potentieller Auswirkungen des Klimawandels gestaltet sich nicht nur auf Grund der Komplexität und Integrationsebene der betrachteten Materie als schwierig, sondern auch weil Änderungen anthropogener Auswirkungen und Maßnahmen rascher erfolgen als die Veränderungen der klimatischen Rahmenbedin-

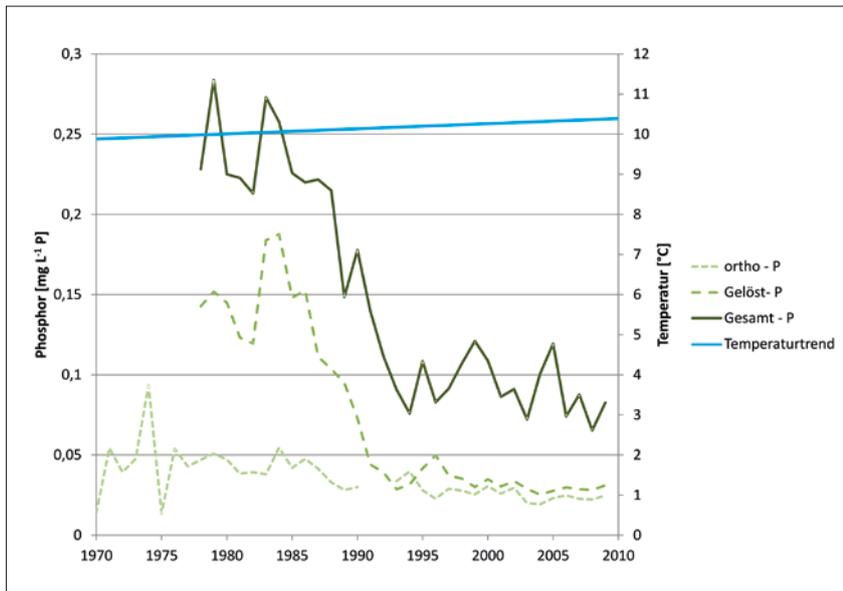


Abb.: Autor (Daten: Lebensministerium)

Abb. 3: Zeitliche Entwicklung der Phosphorimmissionen und Wassertemperaturtrend für die Donau oberhalb Wiens.

gungen. Zudem sind die Zusammenhänge zwischen Wasser-/Gewässergüte und den klimatischen Rahmenbedingungen von anthropogenen Einwirkungen überlagert. In *Abbildung 3* ist diese Situation für die Donau oberhalb Wiens exemplarisch dargestellt.

Aus *Abbildung 3* könnte ein statistisch hochsignifikanter Zusammenhang zwischen abnehmender Phosphorkonzentrationen und steigender Temperatur abgeleitet werden, wenn die anthropogenen Maßnahmen nicht berücksichtigt werden. Eine kausale Interpretation dieses Zusammenhangs ist jedoch keineswegs zulässig, da die Abnahme der Phosphor Konzentrationen nicht auf die Temperatur, sondern auf technisch-organisatorische Maßnahmen im Einzugsgebiet zurückzuführen sind. Eine sinnvolle Korrelation könnte nur für Gebiete ohne signifikante anthropogene Einflüsse (Referenzstellen nach WRRL) durchgeführt werden. Da das System der Referenzstellen jedoch aus der nationalen Umsetzung der EU-WRRL erst vergleichsweise jung ist und die notwendigen Datenreihen (mindestens 30 Jahre) für diese Stellen nicht und schon gar nicht über die unterschiedlichen Bioregionen des Bundesgebiets existieren, sind Trendanalysen für eine Bewertung der Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Gewässergüte und die Nutzung nicht möglich. Für eine qualitative Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Aspekte der Wasserwirtschaft (qualitative Aspekte und Nutzung) werden deshalb aus der Hydrologie ent-

lehnte Methoden („Delta Change“ Ansatz; „Trading Time for Space“) verwendet (Blaschke et al. 2011).

3. Auswirkungen auf qualitative Aspekte der Wasserwirtschaft

Generell ist zu erwarten, dass die Erhöhung der Lufttemperatur zu einer (weiteren) Erhöhung der Gewässertemperatur führt. Die Wassertemperatur wird durch Energiezufuhr (insbesondere fühlbare Wärme, Sonneneinstrahlung) und Energieverlust durch Verdunstung gesteuert. Wie auch die Daten zeigen (Blöschl et al. 2011a), wirkt sich ein Temperaturanstieg der Luft daher nur gedämpft auf die Wassertemperatur aus. Der Faktor für die Dämpfung liegt zwischen 0,5 und 0,9 °C Δ Wassertemperatur pro °C Lufttemperatur. Bis 2050 ist mit einer Erhöhung der mittleren Jahreslufttemperatur gegenüber heute um ca. 1 °C (bis maximal 1,5 °C) zu rechnen, die zu einer Erhöhung der Wassertemperatur im Sommer um etwa 0,7 bis 1,1 °C und im Winter um etwa 0,4 bis 0,5 °C führen dürfte (Blöschl et al. 2011a). In jedem Fall ist damit zu rechnen, dass die Jahr zu Jahr Variabilität der mittleren Jahrestemperatur und der maximalen Temperaturen deutlich größer sind als etwa dekadische Trends (*siehe Abb. 4*).

3.1. Einfluss auf Löslichkeit von Gasen

Generell sinkt mit zunehmender Wassertemperatur die Löslichkeit von Gasen. Dies trifft sowohl auf Sauerstoff als auch

auf Kohlendioxid zu. In Wasserkörpern kommt beiden Gasen eine wesentliche Bedeutung zu. Für Sauerstoff liegt sie vor Allem in seiner Bedeutung für aerobe Prozesse (Kohlenstoffatmung, Nitrifikation) und chemische Gleichgewichte (Rücklösung von immobilisierten Substanzen in Folge niedriger Redoxbedingungen – z. B. Mangan, Eisen) im Wasserkörper selbst sowie im assoziierten Interstitial und Sediment. Eine Anhebung der Wassertemperatur um 1 °C bewirkt eine Reduktion der Sauerstoffsättigungskonzentration um etwa 0,2 mg L⁻¹ Sauerstoff, was in Oberflächenwässern im „Guten Zustand“ kaum eine Verschlechterung bewirken kann. Kohlendioxid ist wesentlich für die Ausprägung des Kalk-Kohlensäureverhältnisses sowie für die Primärproduktion und beeinflusst damit auch den pH Wert im Gewässer.

3.2. Einfluss auf chemische Gleichgewichte

Alle chemischen Gleichgewichte sind unter anderem von der Umgebungstemperatur abhängig. Als einfachstes und zugleich relevantes Beispiel sei hier das Ammonium – Ammoniak Gleichgewicht erwähnt. Mit höherer Temperatur und höherem pH Wert (z. B. infolge vermehrter Primärproduktion) verschiebt sich bei gleicher molarer Ausgangskonzentration das chemische Gleichgewicht in Richtung zum undissoziierten toxischen Ammoniak (NH₃). Um diesen Einfluss zu berücksichtigen, sind in der Qualitätszielverordnung Chemie (QZV-Ch) in Abhängigkeit von Temperatur und pH Wert entsprechende unterschiedliche Ammoniumkonzentrationen als Immissionsgrenzwerte festgelegt.

Wegen der Relevanz der Ammoniak-Toxizität wurden die Ammoniumdaten des Fließgewässer-Monitoringnetzes 1991–2009 (FW-Messnetz) in Hinblick auf die Überschreitung der aus pH und Temperatur abgeleiteten Grenzwerte der QZV-Chemie in einem „delta change“ Ansatz ausgewertet. Unter Zugrundelegung einer Erhöhung der Wassertemperatur von +1,5 °C erfolgte eine Extrapolation der Situation 1991–2009 auf das Jahr 2050. Die +1,5 °C liegen deutlich über den abgeschätzten mittleren Temperaturerhöhungen für die Fließgewässer (Blöschl et al. 2011a). Sie wurden jedoch gewählt, um jene Rahmenbedingungen im Sommer verstärkt zu betrachten, bei denen eine Erhöhung eventuell stärker ausfällt. Aus dem bestehenden Datensatz von 44.500 Messwerten (FW Messnetz 1991–

2007) wurden 1.241 Überschreitungen des abgeleiteten Ammoniakgrenzwertes festgestellt. Wird die Ausgangstemperatur nun um 1,5 °C erhöht, ergibt die Modellrechnung mit denselben Ammoniummesswerten nunmehr 1.375 Überschreitungen, was einer Zunahme von etwa 10% entspricht. In diesem Zusammenhang muss jedoch erwähnt werden, dass etwa 50% der zusätzlichen Überschreitungen für Datensätze zwischen 1991 und 1998 an Messstellen errechnet wurden, die heute wesentlich geringere Immissionen aufweisen. Somit beeinflussen auch bei der Ammoniakthematik bereits umgesetzte Maßnahmen dieses Ergebnis, wie dies für die allgemeine Problematik der Korrelation mit Immissionswerten bereits diskutiert wurde. Die Auswertungen zeigen weiters, dass die zusätzlichen Überschreitungen nicht ausschließlich bei höheren Temperaturen, sondern tendenziell im mittleren und unteren Temperaturbereich unter 15 °C Wassertemperatur auftreten. Dies bedeutet, dass in jenen Gewässerbereichen in denen bereits jetzt die Konzentrationen nur knapp unter dem Grenzwert liegen, die Thematik der Ammoniak Toxizität schlagend wird und nicht zu erwarten ist, dass der Klimawandel bei Gewässern in „gutem Zustand“ diesbezüglich zu Problemen führen wird.

3.3. Einfluss auf Prozessgeschwindigkeiten

Chemische - und damit auch biochemische und biologische - Prozesse weisen in einem bei Betrachtungen der Veränderung der klimatischen Rahmenbedingungen relevanten Temperaturbereich eine temperaturabhängige Reaktionsgeschwindigkeit auf. Entsprechend der RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel, auch Van't Hoffsche Regel) führt eine Erhöhung der Reaktionstemperatur um 10 K zu etwa einer Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit. Eine Erhöhung der Wassertemperatur um 1 °C würde dem entsprechend zu einer Erhöhung der maximalen Wachstumsgeschwindigkeit von Organismen um etwa 7% führen, wenn das Wachstum nicht durch Mangel an anderen Stoffen (z.B. Nährstoffe) limitiert ist. Eine Relevanz dieser Situation für die Gewässergüte ergibt sich dann, wenn die Gewässer durch aerob abbaubare Verunreinigungen oder durch Eutrophierung belastet sind. Die Produktion von Algenmasse kann sich dort, wo sie nicht durch Phosphor limitiert ist, bei steigender Tempera-

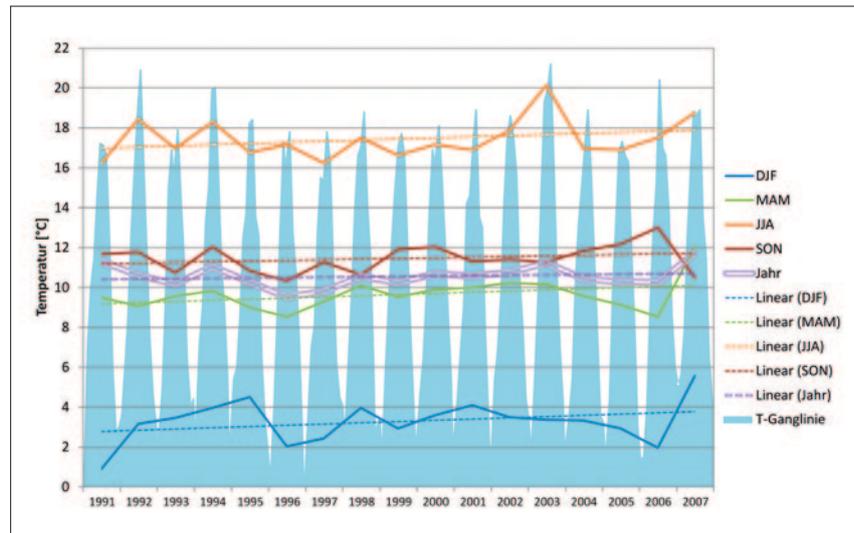


Abb. 4: Entwicklung der Wassertemperatur der Donau bei Spitz. Tagesmittelwerte als Temperaturganglinie, Quartalsmittelwerte für Winter (DJF), Frühjahr (MAM), Sommer (JJA) und Herbst (SON) sowie Trendentwicklung für den Zeitraum 1991 bis 2007.

tur erhöhen. Die zusätzlich gebildete Algenbiomasse führt durch Zellatmung und den heterotrophen Abbau andererseits im Gewässer zu einer zusätzlichen Sauerstoffzehrung, die den Sauerstoffgehalt erniedrigt. Dieser Effekt wird, wenn auch nur geringfügig, durch die sinkende Sättigungskonzentration verstärkt.

Organische Verunreinigungen werden bei steigender Temperatur ebenfalls mit höherer Geschwindigkeit, also auf kürzerer Fließstrecke und damit unter pro Fließmeter erhöhtem Sauerstoffverbrauch abgebaut. Zuzufolge der geringeren Sättigungskonzentration für Sauerstoff stellt sich das Gleichgewicht zwischen Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffzufuhr bei einem niedrigeren Sauerstoffgehalt ein.

Diese aufgrund der Klimaveränderung zu erwartende Veränderungen liegen innerhalb der natürlichen Schwankungen (tageszeitlich und saisonal). Überall dort, wo die Gewässergüte jedoch schon heute durch Sauerstoffmangel (meist im Sediment) oder Eutrophierung beeinflusst wird, ist zufolge des erwarteten Temperaturanstieges mit einer Verstärkung dieses Effekts zu rechnen. Grundsätzlich kann hier zusammengefasst werden, dass je geringer die Belastung eines Wasserkörpers mit Sauerstoff zehrenden Stoffen und das Algenwachstum ist, desto geringer werden auch die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung ausfallen.

3.4. Abfluss, Wasseraustausch

Neben den Auswirkungen der Temperatur weisen auch die Abflüsse in Fließgewäs-

sern sowie die Grundwasserneubildungsrate einen Einfluss auf die Qualität des Wasserkörpers auf. Eine Verminderung des Abflusses in Fließgewässern führt nicht nur zu niedrigeren Wasserständen sondern auch zu längeren hydraulischen Aufenthaltszeiten. Die längeren hydraulischen Aufenthaltszeiten spielen besonders bei retardierten Systemen (Stau, Restwasser, Seen, Interstitial, Sediment, Grundwasser) eine Rolle, weil dadurch an einem Punkt im Wasserkörper mehr Zeit für biologische und chemische Prozesse zur Verfügung steht und eine längere Interaktion zwischen Immission und den Prozessen erfolgen kann. Im Fließgewässer kann sich dadurch etwa die Primärproduktion in Staubereichen erhöhen. Grundsätzlich kann hier zusammengefasst werden, dass je geringer die organische und trophische Belastung eines Wasserkörpers ist, desto geringer werden auch die Auswirkungen eines verminderten Wasserdargebots ausfallen.

3.5. Verdünnung

Eine Reduktion des Wasserdargebots in Oberflächengewässern, aber auch im Grundwasser vermindert die Verdünnung von konstant eingetragenen Stoffflüssen, wie sie diffus oder punktuell anfallen und zum Beispiel in der Qualitätszielverordnung Chemie (QZV-Ch) als Parameter geregelt sind. Dies betrifft vorwiegend biologisch weitgehend stabile Verbindungen in sehr geringer Konzentration (Mikroverunreinigungen). Für diese Stoffe ist mit sinkendem Abfluss eine Zunahme der

Abb.: Autor: Lebensministerium

Immissionen zu erwarten. Wenn eine Abnahme des mittleren Abflusses um 5 % angenommen wird (Blaschke et al. 2011), führt dies bei konstant eingetragener Fracht auch zu einer Erhöhung der Immissionskonzentrationen um 5 %, was in den meisten Fällen im Bereich der Analysengenauigkeit liegen dürfte. Grundsätzlich kann hier zusammengefasst werden, dass je geringer die Belastung eines Wasserkörpers mit Verunreinigungen ist, desto geringer werden auch die Auswirkungen einer verminderten Verdünnung ausfallen.

3.6. Abwasserreinigung

Für die Bemessung von Einrichtungen der Siedlungsentwässerung sind anthropogene Veränderungen bedeutsamer als klimatisch bedingte. Flächenversiegelung, bedrohte Infrastruktur und Sicherheitsbedürfnis sind hier die zentralen Aspekte für Bemessung und Planung. Temperaturerhöhungen selbst sind für die Abwasserentsorgung wenig relevant, weil die Dimensionierung und Funktion technischer Anlagen durch Temperaturminima und hydraulische Maximaldurchflüsse bestimmt werden. Jede Veränderung der Niederschlagshöhe und -intensität sowie der zeitlichen Verteilung der Niederschläge über das Jahr hat auch eine Veränderung der Belastung der Gewässer durch Regenentlastung von Mischkanalnetzen sowie von Regenwasserabflüssen aus den Regenwasserkanälen von Trennsystemen zur Folge. Die Quantifizierung des Einflusses solcher Veränderungen zufolge eines Klimawandels auf die Gewässergüte ist nicht möglich, weil die Prognosemodelle keine gesicherten Aussagen über Veränderungen der Intensität von Regenereignissen und der zeitlichen Verteilung von Niederschlägen erlauben (Blöschl et al. 2011b), die für die Abschätzung von Veränderungen bei den entlasteten Frachten an Verunreinigungen für die Fließgewässer notwendig sind. Diese Unsicherheit in der Prognose betrifft auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Entlastungsereignissen bei Niedrigwasserführungen der betroffenen Gewässer, die eine Abschätzung der Häufigkeit akuter Schädigung von Regenüberlaufereignissen auf die empfangenden Gewässer erlauben. Dies gilt auch für jene Fließgewässer und Regenentlastungen, die in stehende Gewässer münden.

Die Betrachtungen von Auswirkung von Kläranlagen auf Gewässer erfolgt be-

reits heute nach dem kombinierten Emissions-Immissionsansatz unter Berücksichtigung des Zustandes des empfangenden Gewässers.

Anthropogen verursachte Änderungen im Entwässerungsgebiet und deren Auswirkungen werden weiterhin dominant gegenüber klimabedingten Änderungen bleiben. Änderungen in Bemessungsgrößen werden bereits heute durch statistische Auswertungen der Rahmenbedingungen nachgeführt, sodass bestehende Planungsansätze und Mechanismen potentielle Auswirkungen der Veränderung klimatischer Rahmenbedingungen zwar nicht explizit, aber konzeptionell mit berücksichtigen. Zudem verschafft die Weiterentwicklung des Standes der Technik einen zusätzlichen Puffer. So wäre etwa für Gewässer, in denen abnehmende Niederschläge erwartet werden können, eine über das heutige Maß hinausgehende P-Entfernung (z. B. auf 0,5 mg/l TP) auf Kläranlagen technisch einfach zu realisieren.

4. Auswirkungen auf Wasserkörper

Die Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen führt in unterschiedlichen Wasserkörpern zu unterschiedlichen und unterschiedlich relevanten Auswirkungen, die im Folgenden kurz dargestellt werden.

4.1. Fließgewässer

Bei Fließgewässern steht die Bedeutung als Lebensraum einer artenreichen, vielfältigen, möglichst naturnahen Biozönose sowie anthropogene Nutzungen (z. B. Badegewässer) im Mittelpunkt des Interesses. Für die Fließgewässergüte spielen nicht nur die als Wassergüte definierten Immissionskriterien, sondern auch strukturell morphologische Elemente eine zentrale Rolle. Barrierefreiheit für Fischentwicklung und -migrationen, Beschattung und Niederwasserabfluss sind hier ebenso entscheidend wie die Konzentrationen an Immissionsparametern. Gewässerbiozönosen sind an jeweils charakteristische Temperaturbedingungen angepasst und angewiesen. Höchsttemperaturen und mittlere Temperaturen haben hier ebenfalls eine hohe Bedeutung. Erhöhen sich die Wassertemperaturen über den Optimalbereich der etablierten Organismen, erfolgt keine autochthone Reproduktion mehr, beim Überschreiten des Toleranzbereichs kann sich der Organismus nicht mehr im System halten. Als Folge werden

sich andere, angepasste Organismen (z. B. autochthone Potamalarten oder allochthone Neofauna) etablieren und eine Veränderung der Biozönose bewirken, biozönotische Regionen werden sich verschieben. Eine Erhöhung der Wassertemperatur um 1 °C entspricht einer Verschiebung der Höhenlage der Bioregion um etwa 150 m (0,6 K pro 100 m). Bei der Definition von Referenzbedingungen (Sehr Guter Zustand) für biologische Qualitätskomponenten muss dies in Zukunft berücksichtigt werden, da es sich hierbei um eine von der Wasserwirtschaft nicht beeinflussbare Veränderung handelt.

4.2. Seen

Der Haupteinfluss des Klimawandels auf die Seen liegt einerseits in der Veränderung der Energiebilanz des Epilimnions andererseits in einer Erhöhung der produktiven Zeiten infolge höherer Temperaturen. Die Reaktion von Seen auf die Veränderung klimatischer Rahmenbedingungen hängt stark von der Charakteristik des Sees ab. Flache Seen mit Tiefen < 10 m weisen ein geringes Puffervermögen für die Veränderung klimatischer Rahmenbedingungen auf. Tiefe Seen besitzen in der Regel ein hohes Puffervermögen gegenüber Einflüssen und zeigen eine höhere interne Stabilität. Dabei spielt die Mixis eine entscheidende Rolle. Meromiktische Seen fungieren als Nährstofffallen, die erhebliche Mengen an Nährstoffen (N und P) in den tiefen undurchmischten Bereichen ablagern und somit dem Kreislauf entziehen. Bei holomiktischen Seen wiederum gelangen die sedimentierten Nährstoffe in Folge der Durchmischung in die Wassersäule und damit wieder in den Kreislauf. Ebenso wichtig wie der Nährstoffaustausch ist auch die Sauerstoffversorgung des Hypolimnions durch die Mischung der Seen. Durch die Herbstmixis gelangt sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die tiefen Bereiche des Sees und gewährleistet dort aerobe Bedingungen. Bleibt die bestehende seentypische Mischungscharakteristik erhalten, so ist für den Betrachtungszeitraum 2020–2050 mit keiner signifikanten Beeinträchtigung zu rechnen. Der Jahresmittelwert der Wassertemperatur im gesamten Wasserkörper wird sich durch den Klimawandel kaum ändern, die Sommerstratifizierung kann jedoch infolge der höheren Oberflächentemperaturen etwas länger bestehen bleiben.

Je nährstoffärmer der See, desto weniger Nährstoffe und infolge der Kohlen-

stofffixierung auch organischer Kohlenstoff stehen für den Kreislauf in Seen zur Verfügung und umso geringere Auswirkungen veränderter klimatischer Rahmenbedingungen sind zu erwarten.

4.3. Grundwasser

Bei den potentiellen Auswirkungen veränderter klimatischer Rahmenbedingungen auf das Grundwasser ist zwischen ufernahem, gewässergeprägtem Grundwasser und großen Porengrundwasserkörpern zu unterscheiden. Die Temperaturaspekte im Grundwasser werden im Beitrag „Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot von Grund- und Oberflächenwasser“ in diesem Heft behandelt.

Die Wassertemperatur im ufernahen Grundwasser folgt, bei Dotation aus dem Oberflächengewässer, dem Temperaturgang im Gewässer und ist von der Gewässerimmission sowie den Prozessen im Interstitial als Übergangsbereich zwischen Wassersäule und Grundwasser geprägt. Je höher die organische Immission und je intensiver Hydrolyseprozesse im Interstitial ablaufen, desto mehr Potential für weiterführende aerobe Stoffumwandlungsprozesse besteht im Grundwasser. Durch höhere Wassertemperaturen werden diese Prozesse beschleunigt, was insbesondere in den Sommermonaten von Bedeutung ist. Im äußersten Fall kann der zur Verfügung stehende Sauerstoff völlig aufgebraucht werden, sodass anoxische Bedingungen entstehen. Nach der Denitrifikation von potentiell enthaltenem Nitrat können in weiterer Folge anaerobe Zustände auftreten, die zu chemischen Rücklösungen von z. B. Phosphor, Mangan oder Eisen führen. Dies kann insbesondere bei einer direkten Nutzung z. B. für die Trinkwasserversorgung dazu führen, dass zusätzliche Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich werden. Je niedriger die organische Belastung und die sekundäre Verunreinigung durch Algenproduktion in den Fließgewässern ist, desto geringer wirken sich Temperaturerhöhungen und damit in Zusammenhang stehende niedrigere Sauerstoffausgangskonzentrationen auf die Grundwasserqualität aus. In diesem Zusammenhang können sich nicht nur höhere Sommertemperaturen, sondern auch steigende Wintertemperaturen negativ auf die Qualität der Grundwasserbegleitströme auswirken.

Große Porengrundwasserkörper zeigen in der Regel keine ausgeprägte Temperaturganglinie und weisen gleichmäßigere Bedingungen bei niedrigeren

Temperaturen auf, sodass die Prozesse nicht in dieser Intensität auftreten, wie sie bei ufernahem Grundwasser beobachtet werden. Die Vulnerabilität ist hier besonders durch Oberflächeneinträge (organische Spurenstoffe, Nährstoffe) gegeben, was durch die Nitratthematik im Grundwasser, die primär anthropogenen Veränderungen unterliegt, dokumentiert wird. Der Einfluß veränderter klimatischer Rahmenbedingungen für den betrachteten Zeitraum 2020–2050 ist hier gering.

5. Auswirkung auf wesentliche Nutzungsaspekte

Eine zentrale Aufgabe der Wasserwirtschaft ist es, ausreichend Wasser in ausreichender Qualität für die unterschiedlichsten Nutzungen und die Befriedigung der Bedürfnisse zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund sind Überlegungen, wie sich Klimaszenarien auf Wasserbedarf, -Nutzung und -Versorgung auswirken, von zentraler Bedeutung. Wie bereits im Kapitel „grundsätzliche Überlegungen“ ausgeführt, sind jedoch entsprechende Prognosen aufgrund kurzfristig wirkender Einflüsse aus menschlichen Verhaltensänderungen, wirtschaftlicher Rahmenbedingungen und gesetzlichem Rahmen nicht möglich und auch nur bedingt sinnvoll. Es ist jedoch möglich, potentielle, kausal mit einzelnen Faktoren der Klimaänderung im Zusammenhang stehende Einflüsse darzustellen um daraus ein Monitoringkonzept abzuleiten, das es erlaubt bei Bedarf technische, organisatorische und legislative Maßnahmen auf eine solide Datenbasis zu stellen. Bei allen Überlegungen für die Entwicklung von Maßnahmen ist es wichtig zu unterscheiden, ob die Nutzung des Wassers die Qualität verändert – nicht aber den Durchfluss bzw. die Wasserverfügbarkeit (Trinkwasser, Kühlwasser, Prozesswasser, etc.), oder ob das genutzte Wasser durch Verdunstung und/oder Evapotranspiration (Landwirtschaft, Gartenbewässerung etc.) verbraucht wird und somit lokal und regional „verloren“ geht.

5.1. Kommunale Wasserversorgung

In den letzten 30 Jahren ist der durchschnittliche tägliche Verbrauch in Österreich von 150 auf 130l/Tag gesunken. Die Gründe für diesen sinkenden Trend sind in einer Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung im schonenden Umgang mit Wasser zu suchen, die etwa zum Einsatz moderner Wasser sparender Weißware

wie Geschirrspülern und Waschmaschinen, im Einbau wassersparender Spüleinrichtungen auf Toiletten geführt haben. Hierbei müssen regionale und demografische Aspekte mit berücksichtigt werden, die zu lokalen Unterschieden im tatsächlichen Wasserverbrauch führen. Während bei einzelnen Nutzungsbereichen wie Trinken, Kochen, Wäschewasch, Körperpflege oder Toiletenspülungen von einem bundesweit ähnlichen Bedarf auszugehen ist, kann es beim Outdoorbedarf wie Gartenbewässerung, Poolbefüllung oder Autowaschen zu regionalen Unterschieden kommen. Der Outdoorverbrauch stellt auch jenen Anteil am Wasserverbrauch dar, der am deutlichsten mit der Temperatur gekoppelt ist, und somit erwartet werden kann, dass dieser klimabedingt zukünftig ansteigen wird. Unter der Annahme, dass der Anteil des Outdoorbedarfs (Poolbefüllung, Gartenbewässerung und Autowäsche) derzeit bei etwa 10 % des Gesamtbedarfs liegt, würde eine Verdoppelung dieses Bereichs zu einer Erhöhung des Gesamtbedarfs von etwa 10 % führen und somit dennoch unter jenen 150l/Tag liegen, die zum Zeitpunkt der Bemessung der Versorgung als durchschnittlicher Verbrauchswert herangezogen worden sind. Die Bemessung erfolgt für den maximalen stündlichen Bedarf am verbrauchsreichsten Tag, wobei die Spitzenfaktoren aus historischen Verbrauchsdaten statistisch abgeleitet werden. Ob und wie sich die Überlagerung von steigendem mittlerem Bedarf für den Outdoorbereich mit dem sinkenden Trend des mittleren Wasserbedarfs überlagern wird entzieht sich der Prognose, da die menschlichen Handlungs- und Verhaltensweisen nicht vorhersagbar sind. Die grundsätzlichen Überlegungen über die realisierten Bemessungsansätze mit ihren langfristigen Planungshorizonten sowie der heute gegenüber den Bemessungswerten niedrigere Verbrauch lassen den Schluss zu, dass für den Betrachtungszeitraum 2030–2050 weder eine generelle Änderung der Bemessungsansätze noch ein genereller klimabedingter Engpass bei der Versorgung abgeleitet werden kann.

Wesentlicher als die Zunahme des Wasserverbrauchs würden sich eine kleinräumige klimabedingte Verminderung von Niederschlägen sowie sinkende Grundwasserneubildungsraten und Quellschüttungen im Sommer auf die Verfügbarkeit für die Trinkwasserversorgung auswirken. Ein generelles Absinken

auf Bundesebene ist für den gegenständlichen Zeitraum nicht zu erwarten (Blaschke et al. 2011). Je kleinräumiger die Versorgungseinheiten strukturiert sind und somit die Abhängigkeit von lokalen auch kleinräumigen Auswirkungen, je geringer die Redundanzen für Rohwasserentnahme und je weniger Infrastruktur in Form von überregionalen Verbundleitungen zur Verfügung stehen, um lokale und regionale Defizite zu kompensieren, desto höhere Auswirkungen sind zu erwarten. Speziell in Gebieten mit schwach ausgeprägten nicht zusammenhängenden Grundwasserkörpern wie im Kristallin oder Flysch ist dies zu berücksichtigen. Dies betrifft nicht nur die quantitativen, sondern auch qualitative Aspekte, wenn Extremereignisse die Rohwasserquellen negativ beeinflussen (z. B. hygienische Beeinflussungen durch Starkregeneinflüsse oder Überflutung von Brunnen; Redoxbedingungen). Diese Überlegungen werden durch die Auswertungen des Extremjahres 2003 in der Schweiz (BAFU 2004) unterstützt. Die Vernetzung der vor allem kleinen ländlichen Versorgungseinheiten untereinander und mit größeren Versorgern stellt hier einen wesentlichen Beitrag zur Gewährleistung einer zukünftigen Versorgungssicherheit dar.

Auf Grund der Verfügbarkeit von Wasser in Österreich und der prozentuellen Nutzung der erneuerbaren Wassermengen ist auch zukünftig nicht von einem generellen Mangel an Rohwasser für die Wasserversorgung auszugehen. Es besteht jedoch der Bedarf, eine Sensitivitätsanalyse der vorhandenen Infrastruktur in Hinblick auf die Versorgungssicherheit durchzuführen und daraus lokalen oder regionalen Handlungsbedarf abzuleiten.

In Hinblick auf die Trinkwasserqualität sind temperaturbedingte Auswirkungen auf der Rohwasserseite und bei der Verteilung grundsätzlich denkbar, jedoch nicht abschätzbar. Hygienische Beeinflussungen können durch mit derzeitigem Wissensstand nicht abschätzbare Starkregeneinflüsse oder Überflutung von Brunnen auftreten. Höhere Grundwassertemperaturen können Hydrolyseprozesse und chemische sowie biologische Prozesse im Aquifer beschleunigen, die sich auf die Redoxsituation, den Gehalt an Wasserinhaltsstoffen allgemein oder auch die Rücklösung von Eisen und Mangan auswirken. Hierbei muss jedoch festgehalten werden, dass die 2020–2050 auf den Klimawandel zurückzuführenden Temperaturszenarien auch im Grundwas-

ser weit unter den natürlicher Weise auftretenden jahreszeitlichen Schwankungen und auch geringer als die jährlichen Variationen ausfallen und deshalb von untergeordneter Bedeutung sein werden, wenn auch hier Extremsituationen – wie auch derzeit schon – nicht auszuschließen sind. Höhere Temperaturen bei gleichzeitiger längerer Aufenthaltszeit des Wassers in den Versorgungsleitungen (etwa in Folge eines niedrigen Wasserverbrauchs) haben das Potential, eine Biofilmbildung in den Rohrleitungen zu begünstigen, was sich auf die hygienische Qualität des Wassers auswirken könnte. Generell ist aber nicht von kritischen Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität und damit einem höheren Aufbereitungsaufwand auszugehen, die sich mit den Auswirkungen eines Klimawandels in Zusammenhang bringen lassen.

Unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Wasserversorgung in Österreich muss ein übermäßiges Wassersparen im kommunalen Bereich kritisch betrachtet werden. Ein niedriger Wasserverbrauch kann sich auf die hygienische Qualität des Wassers negativ auswirken. Sinkender Trinkwasserverbrauch verstärkt die Ausbildung von Ablagerungen in Kanalnetzen, die zu Korrosions- und Geruchsproblemen führen können. Wassersparen im Haushalt (Indoor Verwendung) ist deshalb keine sinnvolle Klimaanpassungsstrategie, sondern kann im Gegenteil zu Problemen bei der Ver- und Entsorgung führen. Ebenso ist eine Nutzung von alternativen Rohwässern im Haushaltsbereich (Stichwort Regenwassernutzung für Indoor Verwendung) aus hygienischen Gründen problematisch und keine sinnvolle Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

5.2. Wasserversorgung der Industrie

Der mit 60 % angegebene Anteil der Industrie am Gesamtwasserbedarf in Österreich rührt hauptsächlich aus der Kühlwasserthematik her, die in diese Zahlen eingerechnet ist, und in nur geringerem Umfang aus der Nutzung als Prozesswasser. Die Thematik „Prozesswässer“ wurde in den letzten Jahren zunehmend durch einen Trend zu vermehrter Kreislaufführung in der Industrie geprägt, um die benötigten Frischwassermengen auf ein Minimum zu reduzieren. Autowaschanlagen seien hier nur als ein Beispiel genannt. Prozesswässer (auch Waschwässer) stellen in erster Linie ein Thema dar, das ausschließlich von regionaler Bedeutung ist und somit nur

kleinräumig beurteilt werden kann. Zudem ist nicht zu erwarten, dass es in Folge des Klimawandels zu steigenden Wasserentnahmen für Prozesswässer kommt. Nicht prognostizierbare wirtschaftliche Aspekte sind hier die treibenden Faktoren für Trends und Schwankungen.

Als ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit dem industriellen Wasserbedarf kann der Betrieb von Kleinkraftwerken sowie anderer Betriebe mit direkter Wassernutzung und der Notwendigkeit einer Restwasserdotation angesehen werden. In Regionen, in denen eine Abnahme der Niederwasserabflüsse zu erwarten ist (Blöschl et al. 2011b), ist mit zukünftigen Auswirkungen auf die Nutzung zu rechnen, wenn der natürliche Abfluss im Bereich oder unterhalb der geforderten Restwasserdotation liegt. Aussagen über konkrete Auswirkungen können nur im Einzelfall abgeschätzt werden, eine quantitative Aussage über das Bundesgebiet ist nicht möglich.

5.3. Kühlwässer

Die Funktion und auch der Wirkungsgrad von Kraftwerken und Industrieanlagen sind von der Effizienz des Abtransportes von Niedertemperaturwärme abhängig. Energetisch ist dieser Abtransport über Kühlwasser der günstigste, solange damit keine unzulässige Erwärmung der Gewässer einher geht. Zulässige Aufwärmspanne, Maximaltemperatur des eingeleiteten Kühlwassers und des Gewässers selbst werden als Kriterien für Bewilligungsbescheide herangezogen, wobei die technische Umsetzung der Einleitung und die Bioregion des betroffenen Gewässerkörpers ebenfalls Berücksichtigung finden. Durch die erwartete Zunahme der Gewässertemperaturen wird bei gleichbleibenden Einleitkriterien die Ableitung von Wärmefrachten aus Gewerbe, Industrie und Kraftwerken zumindest in kritischen Zeiträumen (lange sommerliche Trockenperioden) deshalb reduziert werden müssen.

Das Ausmaß der Beeinträchtigung wird anhand eines „delta change“ Ansatzes exemplarisch abgeschätzt, wo für den Szenarienzeitraum 2020–2050 eine durchschnittliche Gewässererwärmung von +1,5°C angenommen wird, was über den erwarteten mittleren Temperaturzunahmen liegt. Die Temperaturerhöhung wird auf eine Einleitung von Kühlwässern eines kalorischen Kraftwerks an einem größeren Gewässer unter Zugrundelegung realer Rahmenbedingungen des Zeitraums

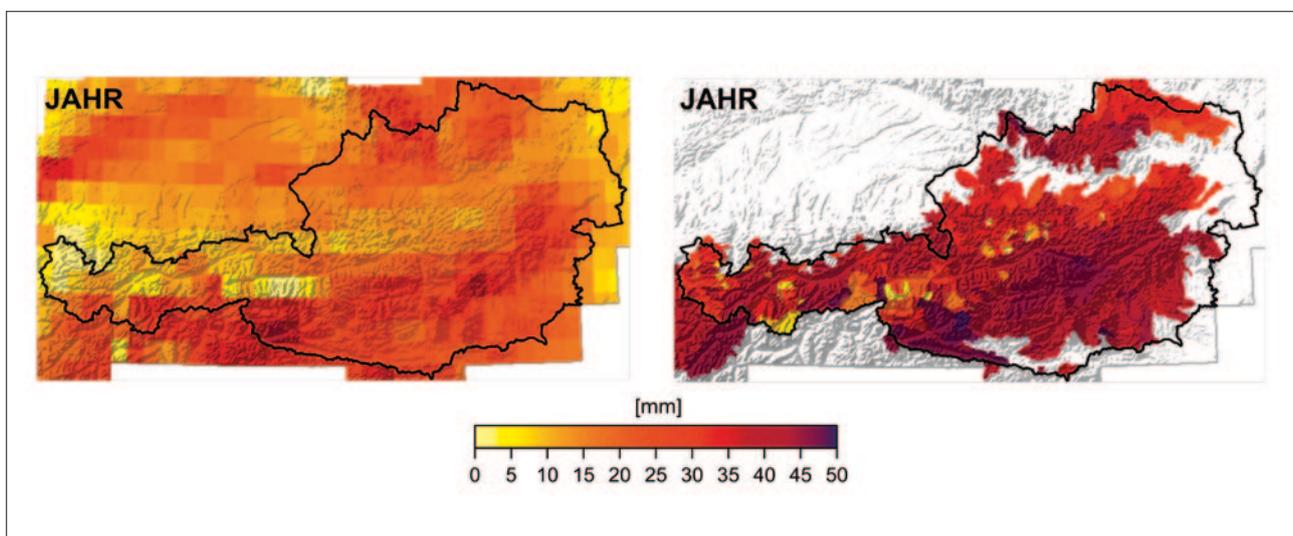


Abb. 5: Zunahme der Jahresverdunstung (Aktuelle Evapotranspiration) für den Zeitraum 2020–2050 gegenüber Referenzzeitraum 1976–2006. Links: Werte aus dem CLM Modellauf. Rechts: Werte aus der hydrologischen Simulation.

1991 bis 2003 umgelegt. Für die Einleitung wurde folgende Annahme getroffen: „Die Temperatur des Abwassers darf an der Einleitstelle +30 °C nicht überschreiten. Der Vorfluter darf um nicht mehr als 3 °C und nicht über +25 °C erwärmt werden.“ Das kalorische „Modellkraftwerk“ weist 4 typische Wärmelastszenarien auf, von denen die Wärmeemissionen des „ungünstigsten“ Szenarios (ohne Wärmeauskoppelung und Vollastbetrieb) für die Modellierung herangezogen werden. Die Kraftwerksleistung wurde im Modell soweit angepasst bzw. ausgeschöpft, dass die Einleitkriterien an den Tagen der Periode 1991–2003 eingehalten werden (Temperaturwert: 12 Uhr mittags; Summe 4.470 Datensätze). In einem zweiten Schritt wurden die Wassertemperaturen dieser Periode entsprechend dem Delta Change Ansatz um 1,5 °C erhöht und die Berechnungen wiederholt.

Die Ergebnisse zeigen, dass in der Referenzperiode an 80,3 % der Tage (entspricht durchschnittlich 293 Tagen pro Jahr) Vollast gefahren werden kann, ohne die Einleitkriterien zu überschreiten. In 0,5 % der Fälle muss die Kraftwerksleistung auf unter 50 % gedrosselt werden. Beim Szenario ist der Vollastfall in 77,5 % der Fälle (entspricht durchschnittlich 283 Tagen im Jahr) möglich, in 0,6 % der Fälle (entspricht durchschnittlich 2 Tagen im Jahr) muss der Betrieb unter 50 % gedrosselt werden.

Weiters wird angemerkt, dass es sich die Berechnung unter der Annahme einer vollständigen Durchmischung erfolgte, was in der Praxis auch angestrebt wird. Ob eine Volldurchmischung (speziell bei grö-

ßeren Gewässern) jedoch immer die beste Lösung darstellt, sollte im Rahmen der Klimadiskussion überdacht werden. Die Umsetzung rasch vollaufmischer Einleitungen gewährleistet zwar niedrigere absolute Temperaturen, jedoch wird über den gesamten Gewässerquerschnitt eine thermische Barriere aufgebaut. Bei Einleitungsformen, die zu einer Stratifizierung führen, werden zwar höhere Absoluttemperaturen an der Oberfläche beobachtet, jedoch finden z. B. Fische unter diesen Bedingungen durchgehendere unbeeinflusste Bereiche an der Sohle für die Migration vor. Auch die benthischen Lebewesen dürften von einer derartigen Situation mit niedrigeren Sohltemperaturen profitieren, das Uferfiltrat könnte weniger thermisch belastet sein.

5.4. Landwirtschaftliche Bewässerung

In diesem Kapitel sollen nicht die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft erörtert werden, sondern der Zusammenhang zwischen landwirtschaftlicher Wassernutzung und Wasserwirtschaft betrachtet werden. Bezüglich des Zusammenhangs Klimawandel und Landwirtschaft sei auf Eitzinger et al. (2009) verwiesen. Neben grundsätzlichen Ausführungen zur Reaktion von Pflanzen und Tieren auf Klimafaktoren sowie Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft wird dort auch direkt auf die Bedeutung der Ressource Wasser eingegangen.

Der Hauptgrund für eine landwirtschaftliche Wassernutzung liegt in der Bewässerung bei Trockenheit zur Ertragssicherung und/oder Ertragserhöhung. Der

landwirtschaftliche Wasserbedarf liegt im Mittel über Österreich bei 5 % des gesamten jährlichen Bedarfs bzw. 0,15 % der erneuerbaren Wasserressourcen und ist damit vergleichsweise gering, dieser Wasserbedarf in der betroffenen Region im Gegensatz zu den sonstigen Nutzungen aber „verloren“ geht. Die Bewässerung ist in Österreich auf wenige Regionen beschränkt. Dort allerdings kann der erhöhte Wasserbedarf durch den Klimawandel sehr wohl von Bedeutung sein.

Für die Landwirtschaft speziell von Bedeutung sind die Niederschläge im Frühjahr (März, April, Mai) und in den Sommermonaten Juni, Juli, August sowie die Verdunstung in diesem Zeitraum. Aufgrund der abgesicherten Zunahme der Lufttemperaturen (CLM Modell für Zeitraum 2020–2050, siehe Schöner et al. 2011) ist räumlich in unterschiedlichem Ausmaß jedenfalls eine Zunahme der Verdunstung und der Transpiration der Pflanzen zu erwarten. In den relevanten landwirtschaftlich genutzten Gebieten Österreichs vom Weinviertel über das Burgenland in die Ost-Steiermark wird eine Zunahme der mittleren Evapotranspiration im Bereich von 30–40 mm erwartet. In Oberösterreich liegt die Zunahme mit einem Wert von 20–30 mm etwas niedriger (siehe Abb. 5).

Weiters stellen für den Bewässerungsbedarf Boden- und Untergrundbeschaffenheit (Speicherung des Niederschlags als Bodenfeuchte), Feldlage (Hang oder Tallage) sowie Wind und Niederschlagsverteilung zusätzliche Randbedingungen dar, sodass in Hinblick auf einen zusätzlichen Bewässerungsbedarf infolge erwar-

TABELLE 1

„Delta change“ Ansatz für den Bewässerungsbedarf von Zuckerrübe im Einzugsgebiet des Rußbach als Beispiel (Angaben in mm). Vergleich der Modellergebnisse für den Referenzzustand 1976–2006 und dem Szenarienzeitraum 2020–2050.

	Wasserbedarf Pflanze	Verfügbarer Niederschlag	Zusätzlicher Wasserbedarf	Aus Bodenfeuchte	Aus Bewässerung
1967–2006	558	291	267	167	100
2020–2050	578	287	291	141	150

teter klimatischer Veränderungen nur qualitative Betrachtungen angestellt werden können.

Eine Abschätzung des Bewässerungsbedarf erfolgt mit zwei unterschiedlichen Ansätzen, um die Bandbreite der methodischen Unsicherheiten darzustellen. Im „trading space for time“ Ansatzes wird eine typische Feldfrucht (Zuckerrübe), für die sehr gute Daten über die vorgenommene Bewässerung vorliegen, behandelt. Mittels der Software Cropwat (Version 8.0 der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)) wird der Pflanzenwasserbedarf mit entsprechenden Klimadaten auf Basis einer täglichen Bodenwasserbilanz modelliert und mit vorhandenen Messdaten kalibriert. Die Berechnung erfolgte als Mittelwert für die Rübenaanbauggebiete 2008 in Österreich und weist unter Berücksichtigung des Hektarertrags einen Wasserbedarf von etwa 270 m³/t Rübe aus. Der überwiegende Anteil von etwa 260 m³/t stammt dabei aus Niederschlägen, etwa 10 m³/t muss über Bewässerung zugeführt werden. Für denselben Zeitraum (2008) liegen auch die notwendigen Eingangsdaten für eine Berechnung des Pflanzenwasserbedarfs in einer anderen Region vor (trading space for time), die gegenüber der Situation in Österreich eine etwa um 3 °C höhere Lufttemperatur aufweist, wobei der Hektarertrag mit jenem in Österreich vergleichbar ist. Die Erhöhung der Lufttemperatur um 3 °C liegt über dem CLM

Szenario für 2020–2050 und werden als „worst case“ zur Abschätzung von Größenordnungen betrachtet. Der Pflanzenwasserbedarf würde sich diesem Ansatz folgend für die Zuckerrübe von etwa 270 auf etwa 300 m³/t erhöhen. Bei unveränderten Niederschlägen (und Pflanzenverfügbarkeit) erhöht sich somit der Bewässerungsbedarf von 10 auf 40 m³/t Rübe.

In einem zweiten Ansatz („delta change“ Ansatz) werden die Ergebnisse der Temperatur und Niederschlagsmodellierung der hydrologischen Simulation (Blaschke et al. 2011) für den Zeitraum 2020–2050 in der Modelliersoftware Cropwat für die Abschätzung eines mittleren Bewässerungsbedarfs in einem Modelleinzugsgebiet verwendet und mit den Ergebnissen des Referenzzeitraums 1976–2006 verglichen (Tab. 1).

Ein Vergleich des Wasserbedarfs für die beiden Zeiträume zeigt den zusätzlichen Pflanzenwasserbedarf infolge der gestiegenen Evapotranspiration, welche auch zu einer Reduktion der nutzbaren Bodenfeuchte führt. Bei den effektiven, pflanzenverfügbaren Niederschlägen wird in dieser Projektion von keiner Veränderung ausgegangen, sodass infolge der gestiegenen Evapotranspiration (ohne Änderung der Niederschläge) mit einer Zunahme des Bewässerungsbedarfs von 100 auf 150 mm zu rechnen wäre.

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse der beiden Methoden sowie eine Umrechnung auf dieselben Einheiten sind auf-

grund der unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Integrationen der Rohdaten sowie verwendeten Klimaszenarien nicht sinnvoll. Der erforderliche Bewässerungsbedarf ergibt sich neben dem höheren Pflanzenwasserbedarf auch aus der zukünftig Entwicklung und Verfügbarkeit der Niederschläge:

- **Niederschlagshöhe nimmt ab**
Verminderte Niederschläge und erhöhte Evapotranspiration müssen kompensiert werden (Beispiel siehe „trading space for time“ Ansatz)
- **Niederschlagshöhe bleibt unverändert**
Die infolge der höheren Temperaturen gestiegene Evapotranspiration muss kompensiert werden (siehe „delta change“ Ansatz).
- **Niederschlagshöhe nimmt zu**
Die infolge der höheren Temperaturen gestiegene Evapotranspiration wird durch erhöhte Niederschläge, die auch pflanzenwirksam werden, mehr oder weniger kompensiert. Dieses Szenario entspricht am ehesten den CLM Szenarien für den Niederschlag für den Betrachtungszeitraum 2021–2050 (Schöner et al. 2011), lässt sich jedoch wegen der Kleinräumigkeit betroffener Gebiete derzeit nicht quantitativ räumlich zuordnen.

Eine Zunahme des Bewässerungsbedarfs muss aus Oberflächen- oder Grundwasser gedeckt werden. Da die Bewässerung in den Sommermonaten (JJA) erfolgt, fällt die Bewässerungsperiode mit den Perioden einer möglichen Verminderung der Niederwasserabflüsse zusammen und verschärft somit die Abflusssituation in den Gewässern bzw. die Grundwasserneubildungsrate im Osten und Südosten des Landes.

Wegen der großen Unsicherheiten können jedoch derartige Berechnungen nur zu weichen und regional nicht eindeutig zuordenbaren Aussagen über die Veränderung des Bewässerungsbedarfes für die Landwirtschaft führen.

LITERATUR

BAFU (2004) Bundesamt für Umwelt – Schweiz, Publikationen zum Hitzesommer 2003
Blaschke AP, Merz R, Parajka J, Salinas JL, Blöschl G (2011) Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot von Grund- und Oberflächenwasser. Österr. Wasser- und Abfallw. Dieses Heft
Blöschl G, Schöner W, Kroiß H, Blaschke AP, Böhm R, Haslinger K, Kreuzinger N, Merz R, Parajka J, Salinas JL, Viglione A (2011a) Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft - Ziele und Schluss-

folgerungen der Studie für Bund und Länder. Österr. Wasser- und Abfallw. Dieses Heft
Blöschl G, Viglione A, Merz R, Parajka J, Salinas JL, Schöner W (2011b) Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasser und Niedrigwasser. Österr. Wasser- und Abfallw. Dieses Heft
Eitzinger J, Kersebaum KC, Formayer H (2009) Landwirtschaft im Klimawandel, AgriMedia Verlag, ISBN 978-3-86037-378-1
Glen G (ed.) (2010) The Impact of Climate Change on European Lakes, Springer Verlag, ISBN 978-90-481-2944-7

LAWA (2009) Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser in Deutschland, Entwurf eines LAWAStrategiepapiers „Klimawandel - Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft“ gem. TOP 7.1 der 135. LAWAVollversammlung in Saarbrücken März 2008
Schöner W, Böhm R, Haslinger K (2011) Klimaänderung in Österreich - hydrologisch relevante Klimaelemente. Österr. Wasser- und Abfallw. Dieses Heft
ZAMG/TU-Wien Studie (2011) Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft. Endbericht. Lebensministerium

Zusammenfassend kann die Zunahme des Bewässerungswasserbedarfs für die Landwirtschaft aufgrund des Klimawandels dort zu Problemen führen, wo schon heute die Wasserbilanz ausgeglichen oder negativ ist und wo schon heute Bewässerung betrieben wird. Weil die beobachteten Schwankungen des Bewässerungsbedarfs von Jahr zu Jahr höher sind, als der im Mittel für 2021–2050 anzunehmende klimabedingte Einfluss, ist die Analyse der Vergangenheit, insbesondere der Sommer 2003 geeignet, diesbezüglich kritische Regionen zu erkennen.

6. Zusammenfassung und Konsequenzen

Eine zeitunabhängige Bedienung der unterschiedlichsten Wassernutzungsansprüche mit Wasser in ausreichender Qualität und Quantität stellt eine zentrale Aufgabe der Wasserwirtschaft und der dafür verantwortlichen Stellen dar. Trotz des grundsätzlich hohen Wasserdargebots in Österreich kam es schon in der Vergangenheit regional durchaus zu Engpässen und Herausforderungen. Die evolutionäre Entwicklung von Bemessungsansätzen im Umgang mit Wasserdargebot und Bedarf, konzeptionelle Vorgangsweisen und Techniken sowie legislative Rahmenbedingungen haben in Österreich die Versorgungssicherheit für alle Nutzungsaspekte auf ein sehr hohes Niveau geführt. Durch die Veränderung der klimatischen Rahmenbedingungen ist zwar von keinem flächendeckenden Problem in der Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit auszugehen, lokal können sich bestehende Probleme jedoch verschärfen oder unzureichende Re-

dundanzen bemerkbar machen. Die anthropogen verursachten Veränderungen haben schon bisher zu rascheren Anpassungsmaßnahmen geführt, als die Auswirkungen der Klimaänderungen. Die Planungs- und Bemessungsansätze müssen somit auch unabhängig von den Einflüssen eines Klimawandels dynamische Instrumente bleiben, mit denen man auch auf kurz- und mittelfristige Veränderungen reagieren kann. Diese Ansätze haben sich bewährt und sind geeignet, Veränderungen zu berücksichtigen – unabhängig davon ob sie anthropogen oder klimatisch verursacht werden. Dennoch wird das Mitdenken klimatischer Rahmenbedingungen zukünftig einen höheren Stellenwert einnehmen und Bemessungsansätze sowie Planungs- und Entscheidungsgrundlagen werden – ähnlich dem zyklischen Ansatz der Wasserrahmenrichtlinie, jedoch auf Grund des zugrundeliegenden Investitionszeitraums in längeren Intervallen – regelmäßig evaluiert werden müssen.

Integrierte Managementpläne, die sich an den bereits verankerten Gewässerbewirtschaftungsplänen orientieren, werden zukünftig speziell in Regionen mit erhöhter wasserwirtschaftlicher Vulnerabilität für die unterschiedlichsten Nutzungsaspekte an Bedeutung gewinnen. Priorisierungen und Umsetzungsstrategien werden auch unter den Gesichtspunkten potentieller Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen angestellt werden. All dies bedeutet nicht die Erarbeitung neuer Strategien, da die notwendigen Mechanismen bereits etabliert sind und auch jetzt schon zur Behebung bestehender Defizite eingesetzt werden. Eine konse-

quente Umsetzung der derzeitigen Strategien und Maßnahmen im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP), zeitliche und räumliche Priorisierung von Maßnahmen sowie der Erstellung von Wärmelastplänen werden als ausreichend erachtet, die bis 2050 erwarteten Auswirkungen der Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen mit zu berücksichtigen.

Für die Dokumentation klimatischer Veränderungen und für zukünftige wasserwirtschaftliche Entscheidungen ist eine solide Datenbasis erforderlich, sodass ein Monitoring vermehrt auf den Einfluss des Klimas auf quantitative und qualitative Fragestellungen adaptiert werden muss und NutzerInnen zur besseren Dokumentation ihres Wasserbedarfs angehalten werden sollten. Speziell für Nutzungsfragen ist eine Auswertung der Situation Sommer 2003 und Winter 2006/2007 geeignet, Defizite und Vulnerabilitäten zu identifizieren, um daraus Lösungswege abzuleiten und rechtzeitig umzusetzen.

Danksagung

Die ZAMG/TU Wien-Studie wurde im Auftrag des BMLFUW Sektion VII und der wasserwirtschaftlichen Abteilungen der Ämter aller Landesregierungen Österreichs durchgeführt. ■

Korrespondenz:
Norbert Kreuzinger
Helmut Kroiß
Technische Universität Wien
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
E-Mail: norbert.kreuzinger@tuwien.ac.at