

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft der Schweiz

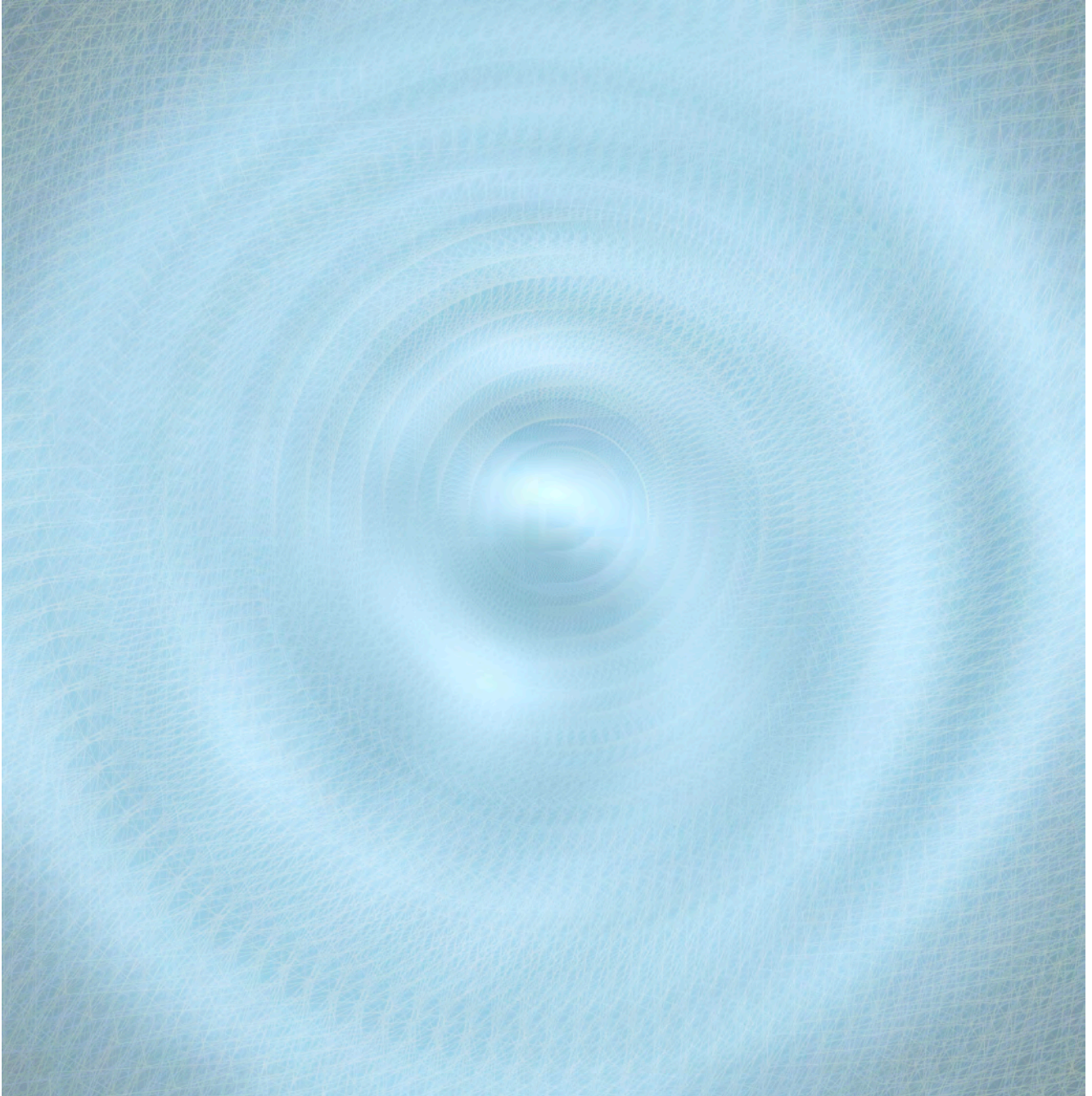
KLAUS LANZ (HRSG.)



IM AUFTRAG DES BUNDESAMTES FÜR UMWELT BAFU – JUNI 2020

EINE STUDIE IM RAHMEN DES NCCS THEMENSCHWERPUNKTES “HYDROLOGISCHE
GRUNDLAGEN ZUM KLIMAWANDEL” DES NATIONAL CENTRE FOR CLIMATE SERVICES

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft der Schweiz



Herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie **SGHL** und der Schweizerischen Hydrologischen Kommission **CHy** der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz **SCNAT**

Klaus Lanz

Mit Beiträgen von

Emmanuel Reynard

Martin Caliano

Marianne Milano und **Tobias Wechsler**

Eine Studie

im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes

Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel

Hydro-CH2018

des National Centre For Climate Services

Herausgeberin

Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie **SGHL**

Schweizerische Hydrologische Kommission **CHy**

der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz **SCNAT**

Autor

Klaus Lanz international water affairs, Evilard

Mit Beiträgen von

Emmanuel Reynard

Martin Calianno

Marianne Milano

Tobias Wechsler

© Titelbild, Gestaltungskonzept, Layout, Infografik

Susanne Dubs Designerin FH, Magglingen

März 2021

Druck: Saxoprint AG

Bezug des Bandes:

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz **SCNAT**

Schweizerische Hydrologische Kommission **CHy**

Haus der Akademien

Postfach

3001 Bern

chy.scnat.ch

Zitiervorschlag

Lanz, K. et al. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft der Schweiz

Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 43, Bern

Die Herausgabe dieser Publikation wurde unterstützt von der

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz **SCNAT**

Hinweis

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU verfasst

Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

ISBN 978-3-9524235-5-4

ISSN 1421-1130

Inhalt

	Zusammenfassung/ Résumé/ Riassunto	5
Kapitel 1	Trinkwasserversorgung	9
Kapitel 2	Industrielle und gewerbliche Wassernutzung	41
Kapitel 3	Landwirtschaftliche Bewässerung	65
Kapitel 4	Thermische Nutzung	111
Kapitel 5	Wasser und Tourismus	145
Kapitel 6	Wasserkraft	191
Kapitel 7	Gewässerschutz und Fischerei	233
Kapitel 8	Siedlungsentwässerung	267
Kapitel 9	Bewirtschaftung der Grenzgewässer	295
Kapitel 10	Hochwasserschutz	343

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie ist im Auftrag des BAFU im Rahmen des Projekts Hydro-CH2018 in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Experten entstanden. Als Basis dienen das publizierte Wissen und die NCCS-Klimaszenarien CH2018. Ziel war es, einen fundierten Überblick über die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzungen der Schweizer Gewässer sowie auf Gewässerschutz und Hochwasserschutz vorzulegen.

Neben den klimatischen Veränderungen werden auch sozioökonomische Entwicklungen berücksichtigt. Ein weiterer Fokus sind wasserwirtschaftliche Zielkonflikte und Synergien, woraus wichtige Erkenntnisse für ein integriertes Wassermanagement abgeleitet werden können.

Der Klimawandel wird die hydrologischen Grundkonstanten der Alpen fundamental verändern. Prägend dabei sind weniger die Veränderungen im Niederschlag als die Folgewirkungen einer wärmeren Atmosphäre. Die alpinen Winterwasserspeicher Eis und Schnee werden schwinden, der Abfluss sich infolge zurückgehender Schnee- und Gletscherschmelze vom Sommer in den Winter verschieben. Im Sommer und Herbst werden sich der Abfluss der Fließgewässer und der Wasseraustausch der Seen vermindern. Die Abhängigkeit vom aktuellen Niederschlagsgeschehen wird grösser, längere sommerliche Trockenphasen werden nicht mehr aus dem Schneespeicher überbrückt. Das bekommen alle Nutzer zu spüren, und in einigen Sektoren hat die Anpassung bereits aktiv begonnen. Der hydrologische Wandel wird auch die Gewässer und ihre Ökologie erfassen, neben potenziell zunehmenden gesellschaftlichen Ansprüchen an die Gewässer eine zusätzliche Herausforderung für den Gewässerschutz.

Eine zentrale Herausforderung bleiben Flächenkonflikte. Die Entwicklung des Landes hat auf die Gewässerräume wenig Rücksicht genommen: der Ausbau von Siedlungen, Verkehrswegen und Industriearealen hat Flächen besetzt, die als Hochwasserkorridore, aquatische Lebensräume und Trinkwasserschutz zonen unerlässlich sind. Auch die Landwirtschaft ist den Gewässern – vor allem in den dicht besiedelten Landesteilen – vielerorts zu nahe gekommen.

Diese Nähe und die hohe Produktionsintensität der Landwirtschaft – mit synthetischen Pflanzenschutzmitteln und substanziellen Futtermittelimporten – sind in der kleinräumigen Schweiz unvereinbar mit dem Ziel intakter Flüsse und Seen und unbelasteter Trinkwasserressourcen. Mit der Umstellung auf eine flächendeckend agroökologisch orientierte Wirtschaftsweise könnte die Schweiz weltweit zum Pionierland einer gewässer- und umweltverträglichen Landwirtschaft werden.

In anderen Bereichen der Wasserpolitik nimmt die Schweiz international bereits eine Führungsposition ein. In die Aufrüstung der 130 wichtigsten Kläranlagen werden bis 2040 rund eine Milliarde Franken investiert, für die Sanierung der ökologischen Nebenwirkungen der Wasserkraft bis 2030 steht eine weitere Milliarde Franken bereit. Und schliesslich ist das Jahrhundertprojekt der Revitalisierung von 4 000 km Fließgewässern angelaufen, das bis 2090 vollendet sein soll.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt erfordern weit vorausschauende wasserpolitische Weichenstellungen. Durch die sozioökonomische Entwicklung könnten die Gewässer durch vermehrte Entnahmen, Qualitätsprobleme und Flächenkonflikte zusätzlich belastet werden. Die vorliegende Studie schafft Grundlagen für Überlegungen, wie der Umgang mit Wasser und Gewässern in Zeiten des Klimawandels weiterentwickelt werden kann.

Résumé

Cette étude a été commandée par l'OFEV dans le cadre du projet Hydro-CH2018 et a été réalisée en collaboration avec des scientifiques et des experts. L'étude est basée sur la littérature scientifique et les scénarios climatiques CH2018 du NCCS. L'objectif était de présenter une vue d'ensemble documentée des impacts potentiels du changement climatique sur l'utilisation des eaux suisses et sur la protection des eaux ainsi que sur la gestion des crues.

Outre le changement climatique, les évolutions socio-économiques sont également prises en compte. Un accent supplémentaire est mis sur les conflits d'objectifs et les synergies en matière de gestion de l'eau, dont on peut tirer des conclusions importantes pour sa gestion future.

Le changement climatique va modifier fondamentalement les constantes hydrologiques de base des Alpes. Cela sera déterminé moins par les changements des précipitations que par les conséquences d'une atmosphère plus chaude. Les réservoirs d'eau de glace et de neige de l'hiver alpin vont disparaître, et les eaux de ruissellement se déplaceront de l'été vers l'hiver en raison de la diminution de la neige et de la fonte des glaciers. En été et en automne, le ruissellement des cours d'eau et le brassage des eaux des lacs diminueront. La dépendance à l'égard du régime actuel des précipitations va s'accroître, et les longues périodes de sécheresse en été ne seront plus compensées par le réservoir de neige. Tous les utilisateurs en ressentent les effets et dans certains secteurs l'adaptation a déjà activement commencé. Les changements hydrologiques affecteront également les eaux et leur écologie, ce qui, en plus des sollicitations potentiellement croissantes de la société sur les eaux, constituera un défi supplémentaire pour la protection des eaux.

Les conflits territoriaux restent un défi central. Le développement du pays a peu tenu compte des espaces réservés aux eaux : l'expansion des villes, des voies de transport et des sites industriels a occupé des zones indispensables en tant que couloirs d'inondation, habitats aquatiques et zones de protection de l'eau potable. Dans de nombreux endroits, surtout dans les régions densément peuplées du pays, même l'agriculture est trop proche des ressources hydrologiques.

Cette proximité et la forte intensité de production de l'agriculture - avec des pesticides de synthèse et de substantielles importations d'aliments pour animaux - sont, dans l'espace restreint de la Suisse, en conflit avec l'objectif de rivières et de lacs intacts et de ressources en eau potable non polluées. Avec la conversion à une économie plus orientée vers l'agroécologie, la Suisse pourrait devenir un pays pionnier en matière d'eau et d'agriculture respectueuse de l'environnement.

Dans d'autres domaines de la politique de l'eau, la Suisse occupe déjà une position de leader au niveau international. Environ 1 milliard de francs suisses seront investis d'ici 2040 dans la modernisation des 130 plus importantes stations d'épuration des eaux usées, et 1 milliard de francs supplémentaires sont disponibles d'ici 2030 pour remédier aux effets écologiques collatéraux de l'hydroélectricité. Enfin, le projet du siècle - la revitalisation de 4000 km de cours d'eau - a été lancé et devrait être achevé d'ici 2090.

Les effets du changement climatique sur le bilan hydrique nécessitent des décisions politiques clairvoyantes en matière d'eau. Le développement socio-économique pourrait exercer une pression supplémentaire sur les eaux en raison de l'augmentation des prélèvements, des problèmes de qualité et des conflits de territoire. La présente étude fournit une base de réflexion sur la manière de développer davantage la gestion de l'eau en période de changement climatique.

Riassunto

Questo studio è stato commissionato dall'UFAM nell'ambito del progetto Hydro-CH2018 ed è stato realizzato in collaborazione con scienziati ed esperti. Le conoscenze pubblicate e gli scenari climatici del NCCS CH2018 sono serviti come base. L'obiettivo era quello di presentare una visione d'insieme fondata dei potenziali effetti dei cambiamenti climatici sull'utilizzo delle acque svizzere e sulla protezione delle acque e la gestione delle piene.

Oltre ai cambiamenti climatici, si tiene conto anche degli sviluppi socioeconomici. Un ulteriore punto focale è rappresentato dai conflitti di obiettivi e dalle sinergie nella gestione dell'acqua, da cui si possono trarre importanti conclusioni per la sua gestione futura.

Il cambiamento climatico cambierà radicalmente le costanti idrologiche di base delle Alpi. Questo sarà determinato meno dai cambiamenti delle precipitazioni che dalle conseguenze di un'atmosfera più calda. I bacini alpini di riserve idriche invernali di ghiaccio e neve scompariranno e il deflusso si sposterà dall'estate all'inverno a causa del calo della neve e dello scioglimento dei ghiacciai. In estate e in autunno diminuirà il deflusso dei corsi d'acqua e lo scambio d'acqua dei laghi. La dipendenza dagli attuali schemi delle precipitazioni aumenterà, e periodi più lunghi di siccità in estate non saranno più coperti dal serbatoio di neve. Tutti gli utenti ne sentono gli effetti e in alcuni settori l'adattamento è già iniziato attivamente. Il cambiamento idrologico influenzerà anche i corpi idrici e la loro ecologia, e rappresenterà un'ulteriore sfida per la protezione dell'acqua, oltre alle richieste sociali potenzialmente crescenti per i corpi idrici.

I conflitti territoriali rimangono una sfida centrale. Lo sviluppo del Paese ha tenuto poco conto dei corpi idrici: l'espansione degli insediamenti, delle vie di trasporto e dei siti industriali ha occupato aree indispensabili come corridoi di inondazione, habitat acquatici e zone di protezione dell'acqua potabile. In molti luoghi, soprattutto nelle zone densamente popolate del paese, anche l'agricoltura si è avvicinata troppo alle acque.

Questa vicinanza e l'elevata intensità produttiva dell'agricoltura - con i pesticidi di sintesi e le consistenti importazioni di alimenti per animali - sono in conflitto nella Svizzera di piccole dimensioni con l'obiettivo di fiumi e laghi intatti e di risorse di acqua potabile non inquinate. Con la conversione ad un'economia più orientata all'agro-ecologia, la Svizzera potrebbe diventare un Paese pioniere nel settore dell'acqua e dell'agricoltura ecologica.

In altri settori della politica idrica, la Svizzera occupa già una posizione di primo piano a livello internazionale. Entro il 2040 circa 1 miliardo di franchi sarà investito nel potenziamento dei 130 più importanti impianti di depurazione delle acque di scarico, mentre un altro miliardo di franchi è disponibile per il risanamento degli effetti collaterali ecologici dell'energia idroelettrica entro il 2030. E infine, il progetto del secolo - la rivitalizzazione di 4000 km di corsi d'acqua - è stato avviato e dovrebbe essere completato entro il 2090.

Gli effetti del cambiamento climatico sul bilancio idrico richiedono decisioni lungimiranti in materia di politica idrica. Lo sviluppo socio-economico potrebbe esercitare un'ulteriore pressione sui corpi idrici a causa dell'aumento delle estrazioni, dei problemi di qualità e dei conflitti territoriali. Il presente studio fornisce una base per considerazioni su come sviluppare ulteriormente la gestione dell'acqua e dei corpi idrici in tempi di cambiamento climatico.



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Martin Barben, Frédéric Guhl, Fabia Hüsler, Michael Schärer, Petra Schmockler-Fackel

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto © Klaus Lanz

Fachliche Begleitung **Matthias Freiburghaus** SVGW **Urs von Gunten** Eawag

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Gestaltungskonzept, Layout, Infografik **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

1 Trinkwasserversorgung

Inhaltsverzeichnis

- 1.1 Wassernutzung durch die öffentliche Wasserversorgung
- 1.2 Herkunft des Wassers heute

- 1.3 Die Zukunft
 - 1.3.1 Wirkung des Klimawandels auf die Ressourcen
 - 1.3.2 Sozioökonomische Veränderungen

- 1.4 Zielkonflikte und Synergien
 - 1.4.1 Mit anderen Nutzungen
 - 1.4.2 Mit dem Gewässerschutz

- 1.5 Potenzielle Lösungsansätze

- 1.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- 1.7 Literatur

Trinkwasser in genügender Menge und einwandfreier Qualität für die Zukunft zu sichern, bleibt in der Schweiz eine grosse Herausforderung

Eine qualitativ einwandfreie, zuverlässige und wirtschaftliche Trinkwasserversorgung ist Voraussetzung für einen hohen Gesundheits- und Lebensstandard der Gesellschaft. Der Versorgungsauftrag obliegt den Gemeinden, 2018 stellten sie über 950 Mio. m³ Wasser von Trinkwasserqualität bereit. Abgesehen von entlegenen Weilern ist die gesamte Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen. Als Vorkommen dienten 2018 zu 39.2% Grundwasser und Uferfiltrat, zu 36.1% Quellen und zu 20.8% Seen (zusätzlich 3.8% künstlich angereichertes Flusswasser). Alle diese Ressourcen werden durch den Klimawandel beeinflusst: Quellen, aber auch Grundwasser können in längeren Trockenphasen an Ergiebigkeit einbüßen, Seen durch höhere Temperaturen und eine stabilere Schichtung beeinträchtigt werden. Zugleich sind die Wasservorkommen im Mittelland und den grossen Alpentälern infolge der intensiven Landschaftsnutzung durch Mikroverunreinigungen und Nährstoffe gefährdet. Es ist daher keine geringe Herausforderung, Trinkwasserressourcen in genügender Menge und einwandfreier Qualität für die Zukunft zu sichern. Nötig sind vorausschauende regionale oder kantonale Wasserversorgungsstrategien und vor allem die Lösung von Zielkonflikten mit sonstigen Wassernutzungen und mit Verursachern von Schadstoffeinträgen.

Résumé chapitre 1 approvisionnement en eau potable

Un approvisionnement en eau potable de qualité, fiable et économique est une condition préalable à un niveau de santé et de vie élevé de la société. Le mandat d'approvisionnement incombe aux municipalités ; en 2018, elles ont fourni plus de 950 millions de m³ d'eau de qualité potable. En dehors des hameaux éloignés, toute la population est raccordée au réseau public d'eau. En 2018 les ressources en eau étaient composées par 39,2% d'eaux souterraines et du filtrat de rive, 36,1% par des sources et 20,8% par des lacs (plus 3,8% d'eaux souterraines enrichies artificiellement). Toutes ces ressources sont affectées par le changement climatique : les sources, mais aussi les eaux souterraines peuvent perdre de leur rendement pendant les périodes de sécheresse plus longues, les lacs peuvent être affectés par des températures plus élevées et une stratification plus stable. En même temps, les ressources en eau du plateau et des grandes vallées alpines sont menacées par les micropolluants et les substances nutritives résultant de l'utilisation intensive du paysage. Ce n'est donc pas un mince défi que de garantir des ressources en eau potable en quantité suffisante et de qualité

impeccable pour l'avenir. Des stratégies régionales ou cantonales sur l'approvisionnement en eau à long terme seront nécessaires ainsi que et, surtout, la résolution de conflits d'objectifs avec d'autres utilisations de l'eau et avec les responsables des pollutions.

Riassunto capitolo 1 approvvigionamento di acqua potabile

Un approvvigionamento di acqua potabile di alta qualità, affidabile ed economico è un requisito per un standard di salute e di vita elevato della società. Il mandato d'approvvigionamento spetta ai comuni, che nel 2018 hanno fornito oltre 950 milioni di m³ di acqua potabile. Oltre alle frazioni remote, l'intera popolazione è collegata alla rete idrica pubblica. Nel 2018 le risorse d'acqua erano composte da 39,2% di acque sotterranee e di filtrazione golenale, 36,1% dalle sorgenti e 20,8% dai laghi (più 3,8% di acque sotterranee arricchite artificialmente). Tutte queste risorse sono influenzate dal cambiamento climatico: le sorgenti, ma anche le acque sotterranee possono perdere il loro rendimento durante i periodi di siccità più lunghi, i laghi possono essere influenzati da temperature più elevate e da una stratificazione più stabile. Allo stesso tempo, le risorse idriche dell'altopiano centrale e delle grandi valli alpine sono minacciate da microinquinanti e sostanze nutritive a causa dell'uso intensivo del paesaggio. Non è quindi una sfida da poco assicurare le risorse di acqua potabile in quantità sufficiente e di qualità impeccabile per il futuro. Sono necessarie strategie di approvvigionamento idrico regionali o cantonali lungimiranti e, soprattutto, la risoluzione di conflitti di obiettivi con altri usi dell'acqua e con i responsabili d'inquinamento.

1 Trinkwasserversorgung

1.1 Wassernutzung durch die öffentliche Wasserversorgung

Struktur der Wasserversorgung

Das Wasserversorgungssystem der Schweiz ist durch seine historische Entwicklung geprägt und spiegelt in Teilen noch heute die Gegebenheiten des frühen 20. Jahrhunderts wider. Ein Wasseranschluss für jeden Haushalt, heute selbstverständliche und nicht wegzudenkende Grundnorm schweizerischen Alltags, ist in den Städten seit kaum 150 Jahren, auf dem Land seit weniger als 100 Jahren Realität. Zuvor war mehrfach tägliches Wasserholen am öffentlichen Brunnen die Norm.

Der Anschluss der Liegenschaften an die zentrale Versorgung war mit erheblichen Kosten verbunden. Haupttreiber für die Verlängerung der Leitungssysteme zu den Liegenschaften war vielerorts nicht der Komfortgewinn einer Zapfstelle in der Küche, sondern – angesichts verheerender Dorfbrände – die Sicherung von Löschwasser in genügender Menge und mit dem nötigen Druck. Auch heute noch ist die Bereitstellung von Löschwasser ein Hauptkriterium für die Dimensionierung der Trinkwasserinfrastruktur.

Hauptlieferant für das Trinkwasser waren zunächst Quellen. Im Berggebiet, im Hügelland von Voralpen und Jura, aber auch in vielen Mittellandgemeinden stellten sie mit ihrem frischen, klaren, freiwillig zutage tretenden Wasser das Rückgrat der Wasserversorgungen. Sogar grössere Städte wie Luzern konnten ihren Bedarf aus ergiebigen Quellen in Stadtnähe decken – ohne Aufbereitung, ohne Strombedarf für Pumpen. Der Abfluss von Quellen ist allerdings jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, und wo diese ausgeprägt sind – wie im Jura – sind im Sommer und Herbst Engpässe möglich. Lange Zeit kam es aber wegen eines relativ bescheidenen Pro-Kopf-Verbrauchs nur lokal und kurzzeitig zu ernsthaftem Mangel.

Das rasche Wachstum vieler Städte und Gemeinden und der mit dem Lebensstandard steigende Pro-Kopf-Verbrauch von Wasser brachten viele Quellwasserversorgungen an ihre Grenzen. Neben Städten wie Zürich, die schon frühzeitig Grundwasservorkommen erschlossen hatten, wurden vor allem im Mittelland zunehmend Grundwasserfassungen erstellt. Fündig wurden die Gemeinden in den ergiebigen Vorkommen im Lockergestein der grossen Flusstäler, wo meist in unmittelbarer Nachbarschaft der Siedlungsflächen Brunnen gebohrt wurden. Kommunen mit Seeanstoss dagegen begannen in der Wachstumsphase der 1960er und 1970er Jahre, ihre traditionellen Quellwasserversorgungen durch die Nutzung von Seewasser zu alimentieren.



Abb. 01-01

Auch heute noch sind Quellen unverzichtbar:
 4 100 Quellgebiete sichern rund 36% des Trinkwassers in der Schweiz (SVGW 2020)
 (Bild: Quellfassung Bachhalten Grindelwald
 Quelle: Gemeinde Grindelwald)

Abb. 01-02

Die Dreigleisigkeit von Quell-, Grund- und Seewasserversorgung ist – abgesehen von regionalen Besonderheiten etwa in Grenznähe – noch heute prägend für die Schweizer Wasserwirtschaft. Allerdings ist die Qualität von Quell- und Grundwasser in den vergangenen 30 Jahren durch die zunehmend intensivere Landschaftsnutzung unter Druck geraten. Auf diese Gefährdung reagierte die Politik mit erhöhten Schutzanforderungen für Trinkwasservorkommen (planerischer Grundwasserschutz nach Artikel 29-32 GSchV mit Schutzzonen für alle Fassungen). Viele Quellen und Grundwasservorkommen genügen diesem höheren Standard nicht mehr. In ländlichen Gebieten gefährden landwirtschaftliche Einflüsse (Nitrat, Pflanzenschutzmittel) die Qualität der Trinkwasserressourcen, während die siedlungsnahen Grundwasserfassungen oft durch Überbauung, Gewerbe, Industrie und den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur beeinträchtigt werden.

Zudem setzte sich die Erkenntnis durch, dass eine moderne Versorgung mit Trinkwasser nicht auf einer einzigen Ressource beruhen, sondern über zwei unabhängige Vorkommen verfügen sollte («zwei Standbeine») (BAFU 2014a). Dieser doppelten Herausforderung – wirksamer Schutz der Trinkwasserressourcen und zwei unabhängige Bezugsorte – können die wenigsten Kommunen auf dem eigenen Gemeindegebiet gerecht werden. Seit einigen Jahren findet daher eine tiefgreifende Neustrukturierung der Wasserversorgung statt. Die lange Zeit autonome, isolierte Wasserbeschaffung individueller Gemeinden bewegt sich in Richtung Vernetzung und Nutzung grosser, gut geschützter Vorkommen. Gefährdete Fassungen können aus der Versorgung herausgenommen werden, Qualität, Versorgungssicherheit und Resilienz der Systeme erhöhen sich.

Verbunden ist diese Neugestaltung auch mit der Aufhebung gefährdeter Grundwasserfassungen. Dadurch werden ökonomisch wertvolle ortsnahe Flächen, die bisherigen Schutzzonen, für andere Nutzungen frei. Dieser Zusatznutzen darf aber nicht dazu führen, dass Gemeinden ortsnahe, gut

Verdrängung von Grundwasserfassungen durch den Ausbau von Siedlungen und Verkehrswegen: Die ursprünglich auf der grünen Wiese erstellten Grundwasserpumpwerke in Niedergösgen und Schönenwerd liegen heute im Siedlungsgebiet (Hug et al. 2017, SMR25 © Swisstopo)



1962



heute

geschützte Fassungen aufheben, um deren Schutzzonen überbauen oder anderweitig nutzen zu können. Alle für die heutige und zukünftige Versorgung notwendigen Grundwasservorkommen müssen verbindlich und konsequent geschützt werden.

Die für die Versorgung mit Trinkwasser nötige Infrastruktur umfasst heute ein Rohrnetz von rund 90 000 km, wovon 59 000 km öffentliche Leitungen und 31 000 km Hausanschlussleitungen sind. Rund 5 300 Reservoirs können rund 4.5 Millionen m³ Trinkwasser speichern, hinzu kommen etwa 343 000 Hydranten (SVGW 2020). Der Wiederbeschaffungswert aller öffentlichen Anlagen (ohne Hausanschlüsse) wird mit CHF 59 Mrd. beziffert, entsprechend etwa CHF 6 100 pro Einwohner. Zur Erneuerung und zum Erhalt der öffentlichen Trinkwasserinfrastruktur wurden in der Schweiz 2018 rund CHF 887 Mio. investiert, der überwiegende Teil davon (78.4%) in das Rohrleitungssystem (SVGW 2020). Diese Summe entspricht 1.7% des Wiederbeschaffungswertes und damit einem Erneuerungszyklus von circa 60 Jahren. Die Höhe der Investitionen in die Hausanschlüsse ist nicht bekannt, dürfte aber ebenfalls einige hundert Millionen Schweizer Franken betragen.

Trinkwasserversorgung in Notlagen

Die lebensnotwendige Versorgung mit Trinkwasser muss jederzeit gewährleistet sein, auch wenn die gewöhnliche Versorgung bei «Naturereignissen, Störfällen, Sabotage oder kriegerischen Handlungen erheblich gefährdet, erheblich eingeschränkt oder verunmöglicht ist» (Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Notlagen, VTN, Art. 3). Kantone und Gemeinden erstellen dazu Konzepte, wie die gewöhnliche Versorgung so lange wie möglich aufrechterhalten und Störungen rasch behoben werden können. Oberstes Ziel ist es, dass «das zum Überleben notwendige Trinkwasser jederzeit vorhanden ist» (Art. 1 VTN).

Die jeweiligen Massnahmen unterscheiden sich nach Grösse der Gemeinde, Herkunft des verwendeten Trinkwassers und Art der Notlage bzw. Störung. In Frage kommen die Umschaltung auf eine andere Wasserbezugsquelle, die Wasserlieferung von Nachbargemeinden über eine Notverbindung bis hin zur Versorgung mit Tankwagen. Für jede Gemeinde und jede denkbare Störung ist ein Notfalldispositiv zu erstellen. Die Kantone koordinieren die Massnahmen und unterstützen die Gemeinden ggf. mit technischem Material wie Wasserbehältern oder Verteilstationen.

Wassermengen der öffentlichen Wasserversorgung

Wieviel Trinkwasser in der Schweiz bereitgestellt wird, geht aus der alljährlich erstellten Wasserstatistik des SVGW hervor. Sie beruht auf den Angaben der Mitgliedsunternehmen des Verbandes (2018: 653 Wasserversorgungen) und erfasst aktuell 69% der Bevölkerung. Zusätzlich liefern einige Kantone (AI, AR, GL, GR, SG, SZ, TG, ZH) und das Fürstentum Liechtenstein aggregierte Daten zur Wasserversorgung. Diese ermöglichen eine Hochrechnung auf die gesamtschweizerischen Verhältnisse. 2018 speisten die Wasserversorgungen demnach 953 Millionen m³ Trinkwasser in die Netze ein. Davon wurden 54.4% an die Haushalte (inkl. Kleingewerbe) und 25.3% an Industrie und Gewerbe abgegeben, 4.9% dienten öffentlichen Zwecken oder flossen durch kommunale Laufbrunnen. Der Selbstverbrauch der Wasserversorgungen wird auf 2% der Gesamtmenge beziffert. Die Netzverluste beliefen sich auf 13% oder 124 Millionen m³ (SVGW 2020).

Der relative Anteil der Wasserlieferung an Industrie und Gewerbe ist in den vergangenen 20 Jahren zurückgegangen: waren es 1997 noch durchschnittlich 49.2% des abgegebenen Wassers, sank der Anteil bis 2013 auf 41.9% (Industrie, Gewerbe, Kleingewerbe) (Freiburghaus 2015). Dies wird einerseits auf eine sukzessive Entwicklung in Richtung Dienstleistungsgesellschaft zurückgeführt, wodurch wasserintensive Fertigungsprozesse zunehmend ins Ausland verlagert werden. Zum zweiten dürfte der Einsatz wassersparender Armaturen (WCs, Durchflussbegrenzer) in Bürogebäuden zum Rückgang des Wasserverbrauchs beitragen haben (Freiburghaus 2015). Denkbar ist auch, dass Grossverbraucher auf Eigenwasserförderung umgestellt haben, um Bezugskosten zu sparen (siehe Kapitel 2).

Zeitgleich hat sich auch die Wasserabgabe an die Haushalte zurückgebildet, und zwar von 162 Liter pro Kopf und Tag im Jahr 1997 auf 142 Liter 2014 (Freiburghaus 2015). Bei diesem Rückgang spielt der Einsatz wassersparender Duschköpfe, Lavabo-Armaturen und WC-Spülungen sowie effizienterer Waschmaschinen und Geschirrspüler eine Rolle. Eingehende Untersuchungen machen allerdings wahrscheinlich, dass auch andere Faktoren beteiligt sind (Freiburghaus 2015 siehe Tabelle 01-01).

Tabelle 01-01

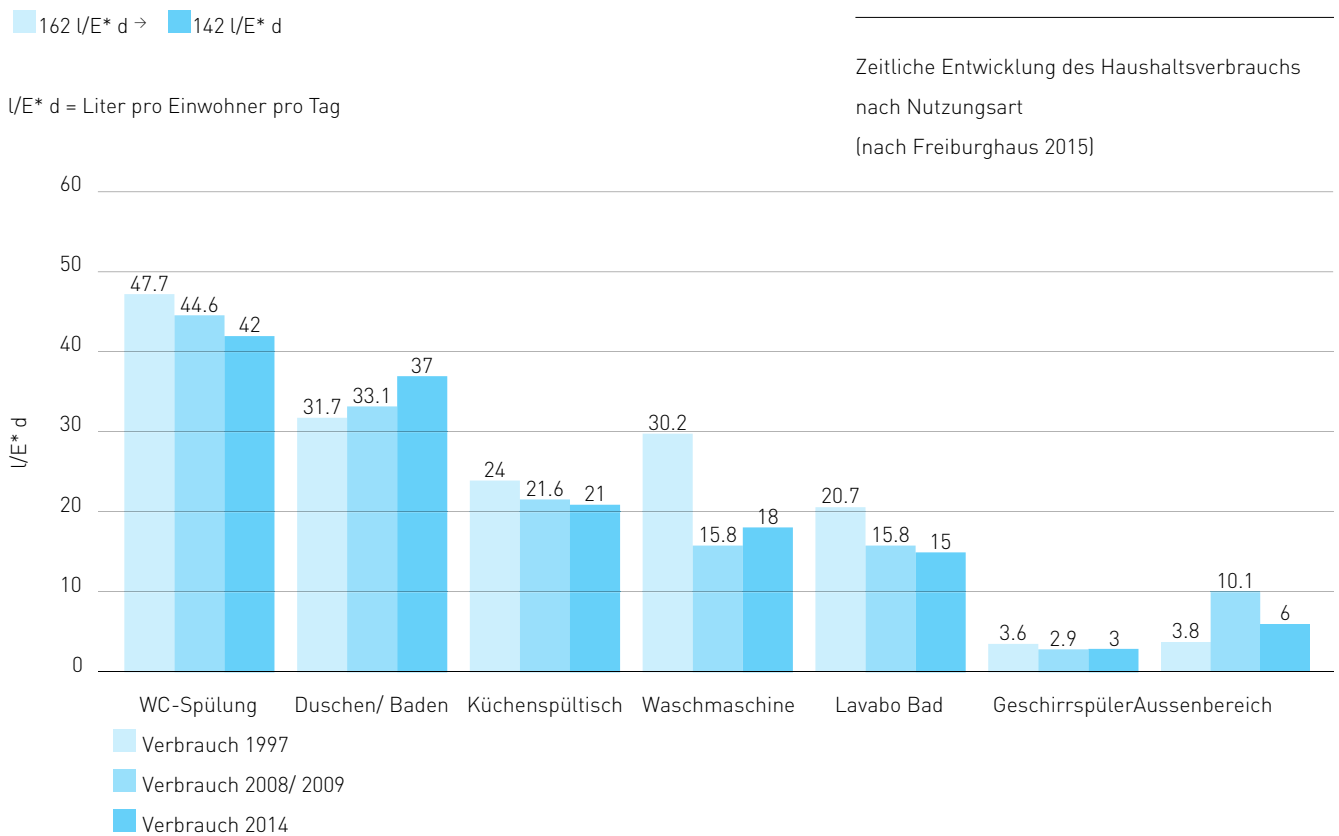
Faktoren mit Einfluss auf den
häuslichen Wasserverbrauch

Einflussfaktor	Auswirkungen	+/-
Verdichtetes Bauen weniger Gartenanteil pro Wohnung	Je höher der Anteil der Bevölkerung in Mehrfamilienhäusern, desto geringer der Verbrauch	↓ ↓
Kleinere Haushalte mehr Einpersonenhaushalte	Studie St. Gallen: 48 Liter Grundbedarf pro Wohnung, zuzüglich 110 Liter pro Bewohner Leicht höherer Verbrauch	↑
Mehr Einweggeschirr Einwegputztücher, Fertigmahlzeiten	Verminderter Bedarf an Wasch-, Spül- und Putzwasser	↓
Abkehr von traditionellen Familien- und Tagesmustern, mehr Krippen und Horte	Verlagerung der Wassernutzung an den Tagesaufenthalt, z.B. Kinderkrippen und Horte, Arbeitsort (Kantine, Restaurant)	↓
Steigender Anteil von Seniorenhaushalten	Alterung der Bevölkerung: ältere Menschen gehen laut Erhebungen sparsamer mit dem Wasser um (ZH 2008: 107 l pro Kopf und Tag)	↓
Wassersparen als umweltgerechtes Verhalten	Rückgang des Verbrauchs, allerdings weniger bei jungen Menschen	↓
Verbrauchsabhängige Wasserkostenabrechnung	Wird in Mehrfamilienhäusern eine verursachergerechte Abrechnung vorgenommen, sinkt der Verbrauch	↓
Hygienebedürfnisse	Zunahme von Personen, die täglich duschen, mehrere Badezimmer pro Wohnung (Lanter 2009)	↑

Verwendung von Trinkwasser

In den Haushalten ist mit 42 Litern pro Kopf und Tag weiterhin die WC-Spülung der grösste Verbrauchsposten, gefolgt von Duschen/ Baden (37 Liter), Küchenspüle (21 Liter), Waschmaschine (18 Liter), Lavabo Bad (15 Liter) und Geschirrspüler (3 Liter) (siehe Abb. 01-03). Der Verbrauch im Aussenbereich hängt stark von der Wohnform und von der zur Wohnung gehörenden Aussenfläche ab: während die Aussenutzung bei Etagenwohnungen meist fehlt, kann sie bei Häusern und Wohnungen mit Umschwung vor allem im Sommer den überwiegenden Anteil ausmachen (siehe 1.3.2).

Abb. 01-03



Im europäischen Vergleich liegt der Pro-Kopf-Tagesverbrauch in der Schweiz im oberen Mittelfeld (siehe Tabelle 01-02). Mögliche Erklärungen hierfür sind der in der Schweiz topografisch bedingt relativ hohe Netzdruck (d.h. höherer Durchfluss pro Zeiteinheit) und vergleichsweise niedrige Wasserpreise. Nicht zu unterschätzen dürfte sein, dass im Unterschied zur Schweiz z.B. in Deutschland häusliches Wassersparen seit Jahrzehnten als vorbildliches Umweltverhalten propagiert wird. In Belgien ist der Verbrauch auch deshalb geringer, weil bei Neubauten die Sammlung und Nutzung von Regenwasser obligatorisch ist.

Tabelle 01-02

Land	Tagesverbrauch pro Einwohner l/E* d	+/-
Schweden Statistics Sweden 2017	157	↓
Frankreich 2013 Datalab 2017	143	↓
Schweiz 2014 Freiburgerhaus 2015	142	↓
Hamburg 2013 Destatis o. J.	138	↓
Deutschland 2013 Destatis o. J.	121	↓
Ungarn 2012 HIT A 2013	100 – 110	↓
Belgien 2016 Aquawal 2017	90	↓
Sachsen 2013 Destatis o. J.	86	↓

Pro-Kopf-Wasserverbrauch nach Ländern

l/E* d = Liter pro Einwohner pro Tag

In ländlichen Gebieten wird Wasser aus der öffentlichen Wasserversorgung auch für die landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt (siehe Kapitel 3). Meist werden damit Spezialkulturen wie Beeren oder Weinreben versorgt, deren Wasserbedarf kaum über den eines grösseren Privatgartens hinausgeht. Für eine dauerhafte Bewässerung grösserer Flächen sind die Netze nicht ausgelegt, sie muss daher aus anderen Vorkommen erfolgen. Mitunter kommt es in längeren Trockenphasen, wenn die Nachfrage der Haushalte erhöht ist, zu Engpässen, und die Gemeinden schränken die landwirtschaftlichen Entnahmen ein.

Eine weitere Brauchwassernutzung aus dem Trinkwassernetz ist die Beschneidung von Skipisten und Langlaufloipen. Historisch wurden in vielen Wintersportorten zunächst mit Wasser aus den Quellen der Trinkwasserversorgung beschneit. Zwar wurden infolge der Ausweitung der Beschneidungsflächen zusätzliche Quellen oder Bergbäche einbezogen, doch oft sind die Netze weiterhin verbunden, so dass auch auf Trinkwasser zurückgegriffen werden kann. Die Beschneidung erfordert im Frühwinter (November, Dezember) grosse Wassermengen, wenn die Quellen eine geringe Schüttung aufweisen, andererseits aber nur wenige Touristen anwesend sind. Konfliktsituationen treten vor allem dann auf, wenn Nachbeschneidungen in der Hochsaison stattfinden (Lanz 2016).

Tourismus: Verbrauchsmuster stellen hohe Anforderungen

Das saisonale Kommen und Gehen von Touristen in relativ kurzen Zeiträumen stellt die Trinkwasserversorgung vor enorme Herausforderungen. Innerhalb weniger Tage muss die Infrastruktur das Mehrfache des Jahresdurchschnittsverbrauchs bereitstellen können. Dies bedeutet, dass entweder grosse Wasserspeicher oder eine hohe Förderkapazität vorgehalten werden müssen. Zudem müssen die Zuleitungen auf einen Spitzenverbrauch ausgelegt sein, der nur wenige Tage im Jahr nachgefragt wird. In der Nebensaison fliesst wenig Wasser durch die Leitungen und es besteht die Gefahr von stagnierendem Wasser, Rostschäden und Verkeimungen. Die Wasserversorgung von Tourismusdestinationen wird eingehend in Kapitel 5 besprochen.

Schliesslich gehört die Bereitstellung von Löschwasser zu den Kernaufgaben der Wasserversorgung. Dazu müssen einerseits entsprechende Wasserreserven vorgehalten werden (Löschwasserreserve), aber auch die Netze so ausgelegt werden, dass an den Hydranten jederzeit genügend Wasser mit ausreichendem Druck entnommen werden kann.

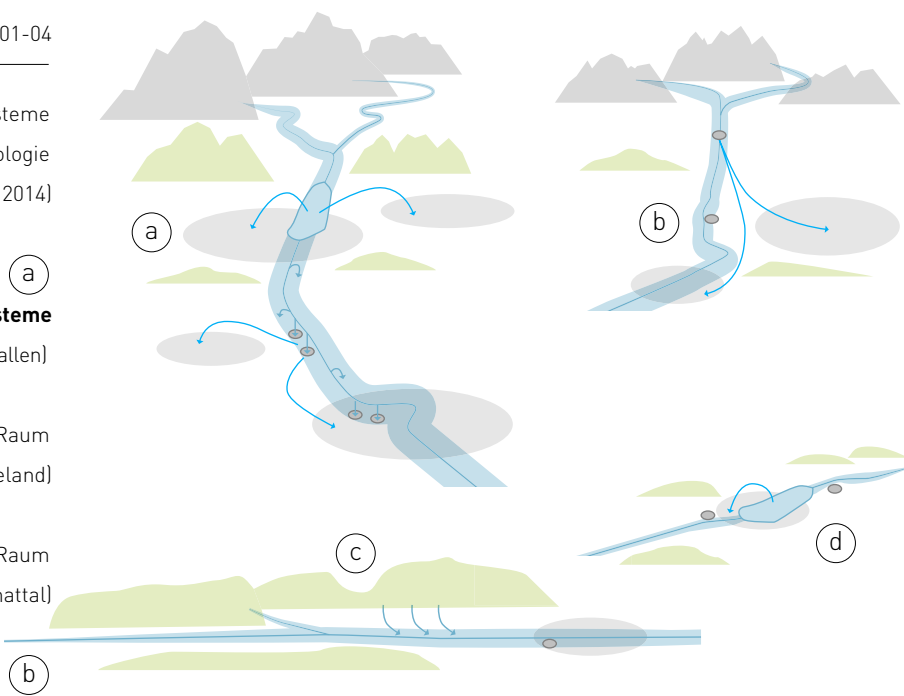
Aufgabe der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist es, Haushalte, öffentliche Einrichtungen und das lokale Gewerbe zuverlässig mit genügenden Mengen einwandfreien Trinkwassers zu beliefern sowie Löschwasser vorzuhalten. Dies soll kostendeckend mithilfe der erhobenen Wassergebühren bewältigt werden. Nicht zu den Kernaufgaben gehört die Lieferung von Brauchwasser an Grossabnehmer wie Industrie, Bewässerungslandwirtschaft oder Beschneidung. Ein Ausbau der Kapazitäten (Wassergewinnung, Infrastruktur) zugunsten von Grossabnehmern kann hohe zusätzliche Investitions- und Unterhaltskosten verursachen und sollte verursachergerecht, d.h. nicht aus dem Budget der Wasserversorgungen bestritten werden.

1.2 Herkunft des Wassers heute

Auch über die Herkunft des in der Schweiz am Hahnen gezapften Wassers gibt die Trinkwasserstatistik des SVGW Auskunft (svgw 2020). 2018 stammte demnach 36.1% des bereitgestellten Trinkwassers aus Quellen, 39.2% aus Grundwasser und Uferfiltrat, 20.8% aus Seen und 3.8% aus der künstlichen Anreicherung von Flusswasser. Tendenziell geht der Anteil an Quellwasser in den letzten Jahren leicht zurück und wird durch Grund- und Seewasser ersetzt.

Abb. 01-04

Wasserbeschaffungssysteme
in Abhängigkeit von der lokalen Hydrologie
(nach Hoffmann et al. 2014)



Alpin-beeinflusste Systeme

Nutzung von Seewasser (Zürich, Lausanne, Genf, St. Gallen)

Pumpbrunnen im ländlichen Raum
und Transfer von Wasser (Bern, Seeland)

Pumpbrunnen im urbanen Raum
Nutzung von Flussinfiltrat (Limmattal)

Voralpin-beeinflusste Systeme

Pumpbrunnen im voralpinen Raum und Transfer von Wasser
(Bern, Winterthur, Luzern)

Pumpbrunnen im ländlichen oder periurbanen Raum
(Burgdorf, Zofingen)

Jura-beeinflusste Systeme

Pumpbrunnen im periurbanen Raum (Olten)

Mittelländische Systeme

Nutzung von kleinen Seen im Mittelland (Sursee)

Pumpbrunnen in kleinen Grundwasserleitern

Ob es sich bei Grundwasser um aus versickertem Meteorwasser entstandene Vorkommen, um Uferfiltrat (flussgespeistes Grundwasser) oder um künstlich angereichertes Grundwasser handelt, ist ausschlaggebend für dessen Qualität und Verfügbarkeit. Die verschiedenen Grundwasserarten unterscheiden sich in ihrer Mineralisierung (Härte, Säuregrad), aber auch in ihrer Gefährdung durch Schadstoffe sowie in der Anfälligkeit gegen klimawandelbedingte Trockenheit und Hitze (siehe 1.3.1). Je grösser der Einfluss von Oberflächenwasser, desto stärker ist das jeweilige Grundwasser diesen Fluktuationen und Gefährdungen ausgesetzt – im Fall der künstlichen Anreicherung praktisch zu 100%. Die Differenzierung von echtem Grundwasser und Uferfiltrat ist nicht immer trennscharf möglich, doch wird der Anteil des von Flusswasser direkt beeinflussten Grundwassers an der Trinkwasserversorgung auf etwa 25% geschätzt (Diem et al. 2013).

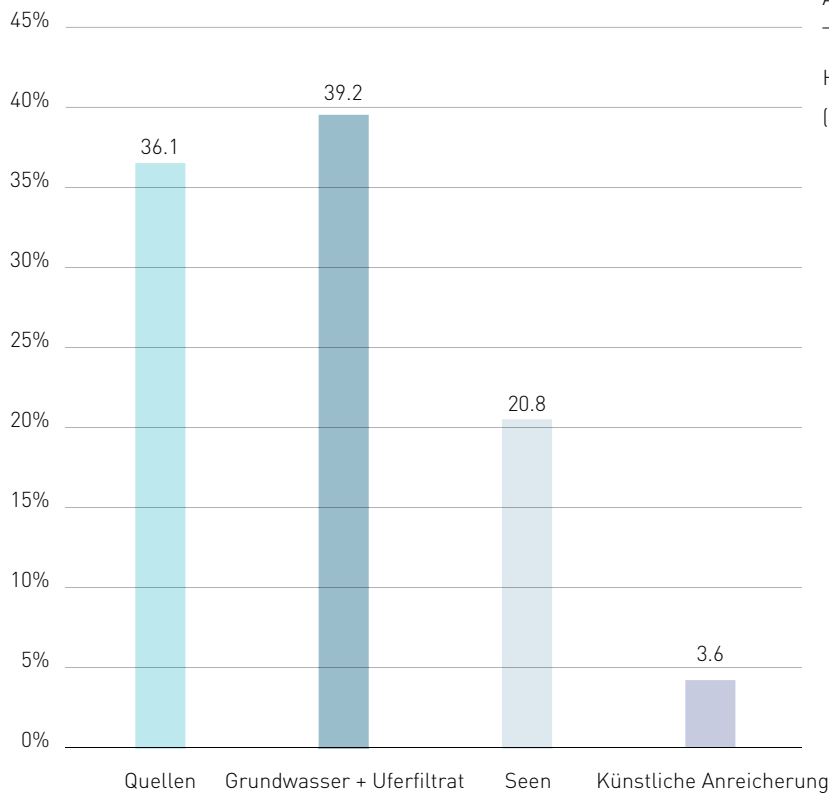


Abb. 01-05

Herkunft des Trinkwassers in der Schweiz 2018
(SVGW 2020)

1.3 Die Zukunft

1.3.1 Wirkung des Klimawandels auf die Ressourcen

Je besser ein Wasservorkommen von der Atmosphäre abgeschirmt ist, desto träger und weniger ausgeprägt reagiert es auf den Klimawandel. Dies gilt für Temperatur und Abflüsse gleichermaßen. In tiefen Grundwasservorkommen, die nur in geringem und langsamem Austausch mit Oberflächenwasser stehen, lässt sich der Einfluss des Klimawandels kaum nachweisen (Kurylyk et al. 2013). Dagegen bildet untiefes Grundwasser in Lockergesteinsformationen, wie es häufig für die Trinkwasserversorgung herangezogen wird, leicht verzögert und abgedämpft die Verhältnisse in den Fließgewässern ab: saisonal schwankende Temperatur (Figura et al. 2013), sinkende Pegel bei vermindertem Oberflächenabfluss und Niederschlag.

Grundwasser

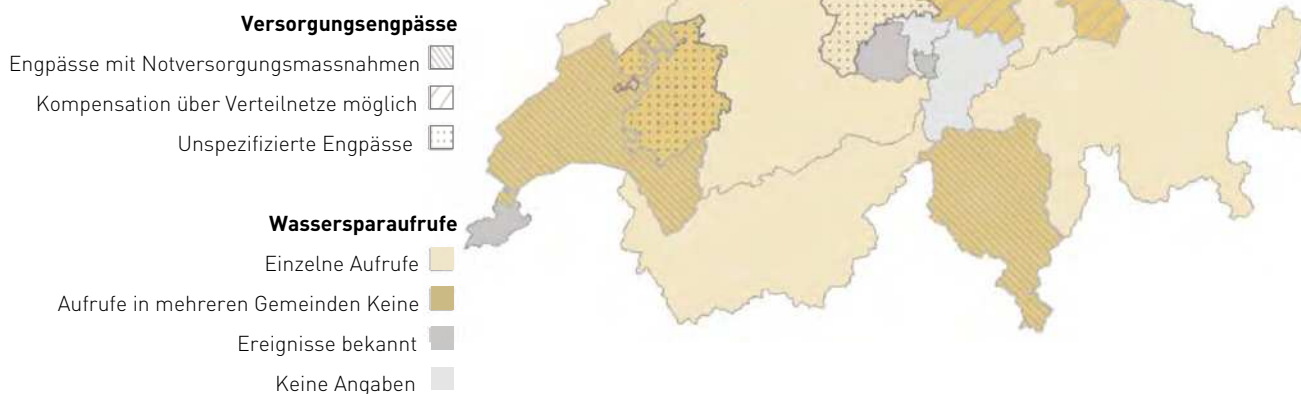
Da mit dem Klimawandel eine ausgeprägte Verschiebung der Abflüsse vom Sommer in den Winter erwartet wird, ist besonders bei Mittellandflüssen häufiger mit einem Abflussminimum im Spätsommer zu rechnen (Hunkeler et al. 2014). Dies beeinflusst auch die mit den Flüssen im Austausch stehenden Grundwasservorkommen und führt zu einem Rückgang der Grundwasserverfügbarkeit. Was lange als hypothetisches Szenario betrachtet worden war, bestätigte sich im trockenen und heißen

Sommer 2018. Die Grundwasserpegel im Lockergestein des zentralen und östlichen Mittellands sanken im Sommer und Herbst spürbar, obwohl sie nach ergiebigen Schneefällen im vorangehenden Winter noch im April gut gefüllt waren (BAFU et al. Hrsg. 2019). Vereinzelt musste die Förderung von Pumpwerken gedrosselt werden (BAFU et al. Hrsg. 2019). Ausgeprägt war auch der Rückgang vieler Quellen im Mittelland, am Alpenordrand und südlich der Alpen. Manche für die Trinkwasserversorgung genutzten Quellen versiegten sogar ganz (BAFU et al. Hrsg. 2019).

Die Reaktion von Grundwasserleitern auf den Klimawandel und auf längere Trockenphasen hängt von mehreren Faktoren ab (Infiltration von Flusswasser, Durchlässigkeit der Flusssohle, Ausmass von direkter Versickerung und Randzuflüssen, Exfiltration, Speicherkapazität). Prognosen über die zukünftige Verfügbarkeit von Grundwasser erfordern eine langjährige Beobachtung der Wasserstände und eingehende Untersuchungen der lokalen Bedingungen. Trotz der grossen Bedeutung von Grundwasser liegen die nötigen Daten und Messreihen nicht für alle bedeutenden Vorkommen vor (Hunkeler et al. 2014). Dies gilt auch für Quellen, die in der Schweiz 36% der Wasserversorgung bereitstellen. Im Sommer 2018 erwies sich die Verletzlichkeit der Wasserversorgungen mancherorts als grösser als erwartet (Abb. 01-06), es kam verbreitet zu Wassersparaufrufen und sogar zu Versorgungsengpässen (BAFU et al. Hrsg. 2019).

Abb. 01-06

Wassersparaufrufe und konkrete Versorgungsengpässe der öffentlichen und privaten Wasserversorgung im Sommer und Herbst 2018. (BAFU et al. Hrsg. 2019, SwissTLMRegio © Swisstopo)

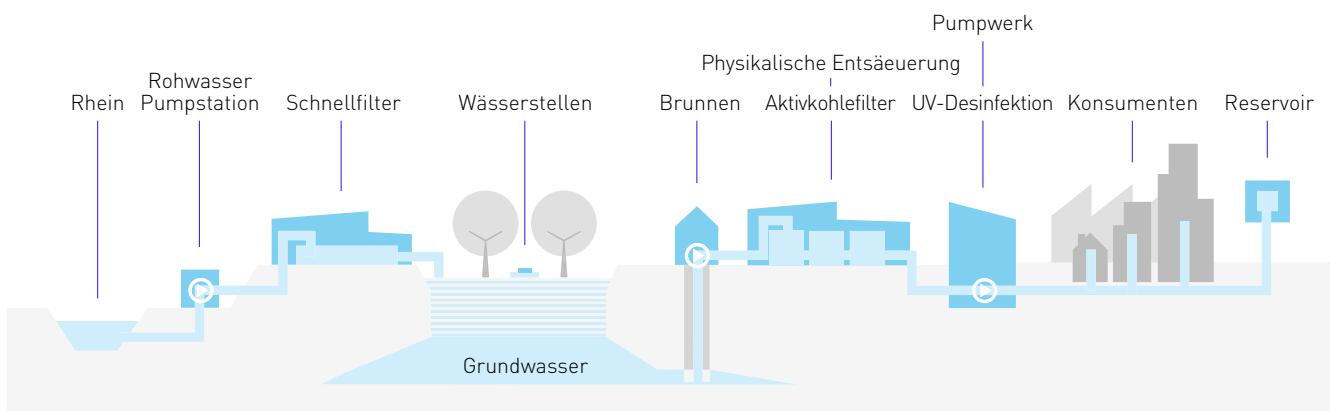


Der Klimawandel kann sich auch auf die Qualität von Trinkwasservorkommen auswirken. Viele Grundwasserfassungen sind durch Oberflächenwasser beeinflusst, und durch den Sog der Pumpen wird zusätzliches Flusswasser zu den Entnahmestellen befördert. Geht der Abfluss eines Fließgewässers zurück, nimmt in gleichem Mass die Konzentration der Inhaltsstoffe zu – auch im hydraulisch verbundenen Grundwasser (Diem et al. 2013).

Besonders betroffen sind Wasserversorgungen, die Flusswasser zur Anreicherung von Grundwasservorkommen künstlich versickern. So hängt die Wasserversorgung der Stadt Basel in hohem Mass von der fließenden Welle des Rheins ab. Obwohl das mit Rheinwasser angereicherte Grundwasser mit Aktivkohlefiltern aufbereitet wird, wurde Ende 2019 eine krebserregende Industriechemikalie im Basler Trinkwasser nachgewiesen, die aus dem Abwasser eines lokalen Unternehmens stammte. Die Nutzung von Rheinwasser musste eingestellt werden, der Verursacher die Chemikalie aus seinem Abwasser entfernen (SRF 2019).

Abb. 01-07

Schema der Trinkwassergewinnung aus Rheinwasser der IWB Basel
[Quelle: iwv]



Seen

Seen sind höheren Temperaturen und der Verschiebung der Abflüsse vom Sommer- ins Winterhalbjahr unmittelbar ausgesetzt. Bei unregulierten Seen reagiert der Pegel zeitnah auf fehlenden Niederschlag und zurückgehende Abflüsse: an Walensee und Bodensee stellten sich im Sommer 2018 bereits im Juni ausgeprägte Tiefstände ein. Bei regulierten Seen zeigen sich Änderungen zunächst nur in der Durchflussgeschwindigkeit und in der Erneuerungsrate des Wasserkörpers. Kommen hohe Temperaturen (mit hoher Verdunstung) und geringe Zuflüsse zusammen, lässt sich aber auch bei regulierten Seen der Pegel nicht mehr halten. So fielen 2018 die Wasserstände von Zürich-, Greifen- und Vierwaldstätter bereits ab Juli auf rekordtiefe Werte, der Zugersee erreichte im August sogar einen historischen

Tiefststand (BAFU et al. Hrsg. 2019). Die Entnahme von Trinkwasser aus den Seen war allerdings zu keinem Zeitpunkt in Frage gestellt. Doch tragen auch Trinkwasserentnahmen zu einem Absinken der Seepiegel bei, im Fall des Zürichsees um etwa einen halben Zentimeter pro Tag.

Die Temperatur der Seen steigt insbesondere im oberflächennahen Wasser, wodurch die Stabilität der Temperaturschichtung zunimmt. Im Zürichsee hat sich durch den Anstieg der Temperatur die Sommerstratifikationsperiode seit den 1950er Jahren um 2-3 Wochen verlängert (Livingstone 2003). Auf die Trinkwasserversorgung hat dies derzeit noch wenig Einfluss, da deren Entnahmen im Tiefenwasser stattfinden, wo sich die Temperatur kaum ändert.

1.3.2. Sozioökonomische Veränderungen

Flächenkonkurrenzen

Angesichts der Entwicklung der letzten 25 Jahre dürfte die Sicherung von Flächen für Grundwasserschutzzonen weiterhin eine grosse Herausforderung für die Wasserversorgung bleiben. Besonders in den intensiv genutzten Flussebenen des Mittellands und der grossen Alpentäler üben der Ausbau von Siedlungen, Industriearealen und Verkehrsinfrastruktur Druck auf bestehende und potenzielle Schutzzonen aus. Wie Umfragen unter den Wasserversorgern zeigen, mussten zahlreiche Fassungen in der Vergangenheit aufgegeben werden oder stehen vor der Schliessung, weil die gesetzlich vorgeschriebenen Schutzzonen nicht freigehalten wurden (Reist et al. 2019).

Selbst in Regionen mit reichlichen Grundwasservorkommen wie im solothurnischen Aaretal gibt es heute kaum noch Standorte, an denen die Voraussetzungen für neue ergiebige Trinkwasserfassungen gegeben sind (Hug et al. 2017). Sollte das Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung wie erwartet anhalten, könnten weitere Schutzzonen unter Druck geraten. Die Sicherung der erforderlichen Flächen ist eigentlich eine Aufgabe der Raumplanung, doch geniesst der Schutz des Grundwassers als wichtigste Trinkwasserressource darin bisher wenig Priorität. Die nötigen planerischen Instrumente im Bereich Grundwasserschutz (z.B. Gewässerschutzkarten) liegen vor und können ohne Probleme in die Richtpläne übernommen werden.

Ungewisse Entwicklung von Verbrauchsmustern

Alle derzeitigen Verbrauchsprognosen gehen von einer konstanten oder sogar sinkenden häuslichen Wassernachfrage aus (Freiburghaus 2015). Auch die auf Jahrzehnte in die Zukunft reichenden Versorgungskonzepte der Kantone schliessen eine wesentliche Zunahme des Wasserkonsums aus

– sowohl bei der jährlichen Gesamtmenge als auch beim Tagesspitzenverbrauch. Allerdings zeigt die jüngste SVGW-Trinkwasserstatistik, dass die Nachfrage nach Trinkwasser in den Haushalten in heissen Sommern deutlich zunehmen kann: so lagen die Tagesspitzenverbräuche 2018 um rund 9% höher als im feuchteren Sommer 2016 und um 54% über dem Tagesverbrauch im Jahresmittel (SVGW 2020). Die Ursachen dieser Verbrauchsspitzen sind nicht abschliessend geklärt. In Frage kommen die Bewässerung von Gärten und landwirtschaftlichen Kulturen, das Befüllen von Pools und temporären Badebecken und ein vermehrter Bedarf für kühlende Duschbäder.

Diese Vermutungen werden durch vertiefte Studien zum häuslichen Wasserverbrauch in Österreich bestätigt (Neunteufel et al. 2016). Tagesspitzenverbräuche können durch Wassererneuerung in Pools und Gartenbewässerung das Vierfache des Durchschnittsverbrauchs betragen. Dabei werden zwei Verbrauchsspitzen beobachtet: im Mai für die Erstbefüllung von Pools, im Hochsommer vor allem für die Gartenbewässerung und die Auffrischung von Pools. Je grösser das zum Haushalt gehörende Grundstück ist, desto höher liegt der Wasserverbrauch.

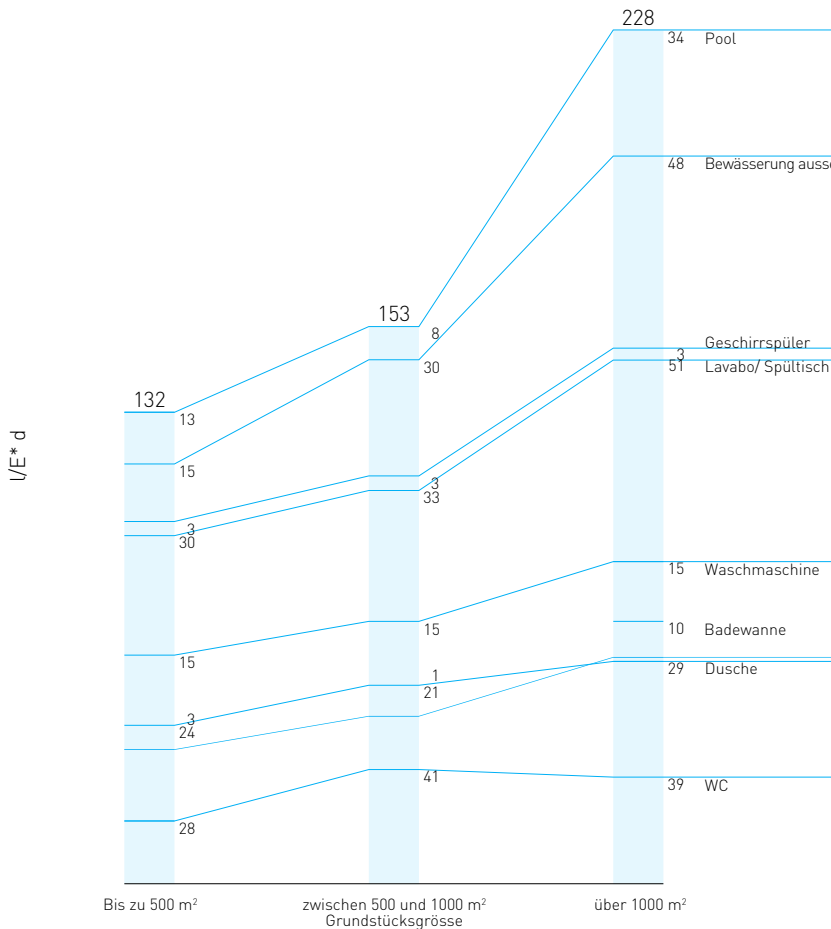


Abb. 01-08

Einfluss der Grundstücksgrösse auf den Pro-Kopf-Verbrauch (Neunteufel et al. 2016)

Dargestellt sind Durchschnittswerte aller Reihen- und Einfamilienhäuser mit bekannter Gartengrösse und gänzlich ohne zusätzlicher Eigenversorgung durch Brunnen oder auch Regenwassernutzung.

l/E* d = Liter pro Einwohner pro Tag

Phasen mit markant höherer Nachfrage können bei längerer Hitze und Trockenheit einige Wochen anhalten. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Leistungsfähigkeit der Wasserinfrastrukturen und der Wasservorkommen ausreicht, zumal jederzeit auch eine Löschwasserreserve vorgehalten werden muss. Hierfür ist insbesondere die Vernetzung von Trinkwasserversorgungen nützlich, um jeder Gemeinde eine zweite Wasserbezugsmöglichkeit zu sichern.

Entwicklung qualitativer Beeinträchtigungen

Qualitative Beeinträchtigungen der Gewässer wirken sich früher oder später auch auf die Qualität der Trinkwasservorkommen aus (siehe 1.3.1). Bei Seen und angereichertem Grundwasser ist eine mehrstufige Aufbereitung ohnehin unvermeidlich. Auch Grundwasser ist nicht mehr überall frei von Schadstoffen: viele als Trinkwasser genutzte Grundwasservorkommen werden infolge des Austauschs mit Fließgewässern oder Versickerung durch Keime und Schadstoffe aus Siedlungen und Landwirtschaft beeinflusst (Diem 2013). Ein Teil des für die Trinkwasserversorgung genutzten Grundwassers (derzeit 44%) wird daher vor Einspeisung in die Netze vorsorglich aufbereitet. Bei 37% genügt eine einfache Aufbereitung (UV-Desinfektion oder einfache chemische Aufbereitung bzw. Filtration). Der Anteil des mehrstufig aufbereiteten Grundwassers ist seit 2005 – vermutlich wegen der Aufgabe belasteter Fassungen – von 9% auf 7% zurückgegangen (SVGW 2017).

Um den negativen Einfluss von Siedlungsabwässern zu reduzieren, sollen bis 2040 rund 130 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mit zusätzlichen Reinigungsstufen ausgerüstet werden (Artikel 52a GSchV). Besonderer Schwerpunkt sind Flüsse mit hohem Abwasseranteil und Kläranlagen, in deren Abstrom sich flussnahe Trinkwasserfassungen befinden. Dadurch wird die Konzentration an abwasserbürtigen Mikroverunreinigungen an den Grundwasserfassungen markant gesenkt (siehe Kapitel 8).

Nicht erfasst vom Ausbau der ARA's werden allerdings die Rückstände von Düngern und Pflanzenschutzmitteln in den Gewässern. Die Konzentrationen dieser überwiegend durch die Landwirtschaft ausgebrachten Stoffe und ihrer Folgeprodukte bewegen sich in Bereichen, die eine ordnungsgemäße Trinkwassergewinnung aus dem Grundwasser vielerorts erschweren oder unmöglich machen (Frei 2017). Laut BAFU konnten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe oder ihre Abbauprodukte 2014 im Ackerbaugesamt an 65% der Grundwassermessstellen oberhalb 0.1 µg/l nachgewiesen werden (BAFU Hrsg. 2019).

2019 zeigten Zusatzuntersuchungen des Verbands der Kantonschemiker der Schweiz (VKCS), dass sich sogar im Trinkwasser in rund zwei Dritteln der Proben Wirkstoffe oder Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln nachweisen lassen (VKCS 2019). Besonders kritisch wird bewertet, dass ein vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) als gesundheitlich relevant eingestuftes Abbauprodukt des Fungizids Chlorothalonil verbreitet oberhalb des gesetzlichen Höchstwerts von 0.1 µg/l im Trinkwasser vorhanden ist. Dieser Befund wird auch durch die Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA bestätigt (BAFU 2019). Das Wasser zahlreicher, teils regional unverzichtbarer Fassungen muss daher durch andere Ressourcen ersetzt oder mit unbelastetem Wasser gemischt werden. Viele Gemeinden stehen durch die neuen Befunde vor grossen Problemen, denn vielfach können sie keine alternativen Wasservorkommen erschliessen bzw. befinden sich diese ebenfalls im Ackerbaugesbiet und erweisen sich als belastet (Bärtschi 2019).

Der Ackerbau spielt auch bei Nitrateinträgen ins Grundwasser weiterhin eine entscheidende Rolle: 40% der Messstellen mit Hauptbodennutzung Ackerbau überschritten 2014 den Anforderungswert für Grundwasser der GSchV von 25 mg/l, 12% gar den Wert von 40 mg/l, dem Höchstwert für Trinkwasser (BAFU Hrsg. 2019).

Es hängt im Wesentlichen von der Agrarpolitik ab, wie die Landwirtschaft in Zukunft auf Flüsse und Grundwasser einwirken wird. Eine weitere Intensivierung des Anbaus könnte das Problem verschärfen, eine Stärkung des biologischen Anbaus oder gesetzgeberische Massnahmen zur Einschränkung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatz die Gewässer und somit die Trinkwasserversorgung entlasten. Breiter Konsens ist inzwischen, dass der Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln in Privatgärten deutlich eingeschränkt oder ganz verboten werden sollte (VSA 2017).

1.4 Zielkonflikte und Synergien

1.4.1 Mit anderen Nutzungen

Kommt es zu Konflikten zwischen Trinkwasserfassungen und anderen Wasserentnahmen, überwiegt normalerweise das öffentliche Interesse der Trinkwasserversorgung. Dennoch gibt es Fälle, in denen die Wasserversorgung durch andere Wasserentnahmen beeinträchtigt wird. Diese Fälle werden in den entsprechenden Kapiteln behandelt (Kapitel 3 Bewässerung, Kapitel 4 Thermische Nutzung, Kapitel 5 Tourismus).

1.4.2 Mit dem Gewässerschutz

Die Zielsetzungen des Gewässerschutzes in punkto Wasserqualität – Schadstoffvermeidung und Schadstoffbegrenzung – kommen stets auch der Trinkwasserversorgung zugute. Je besser die Gewässerqualität, desto eher kann einwandfreies Trinkwasser ohne Aufbereitung bereitgestellt werden.

Zielkonflikte mit Revitalisierungsprojekten

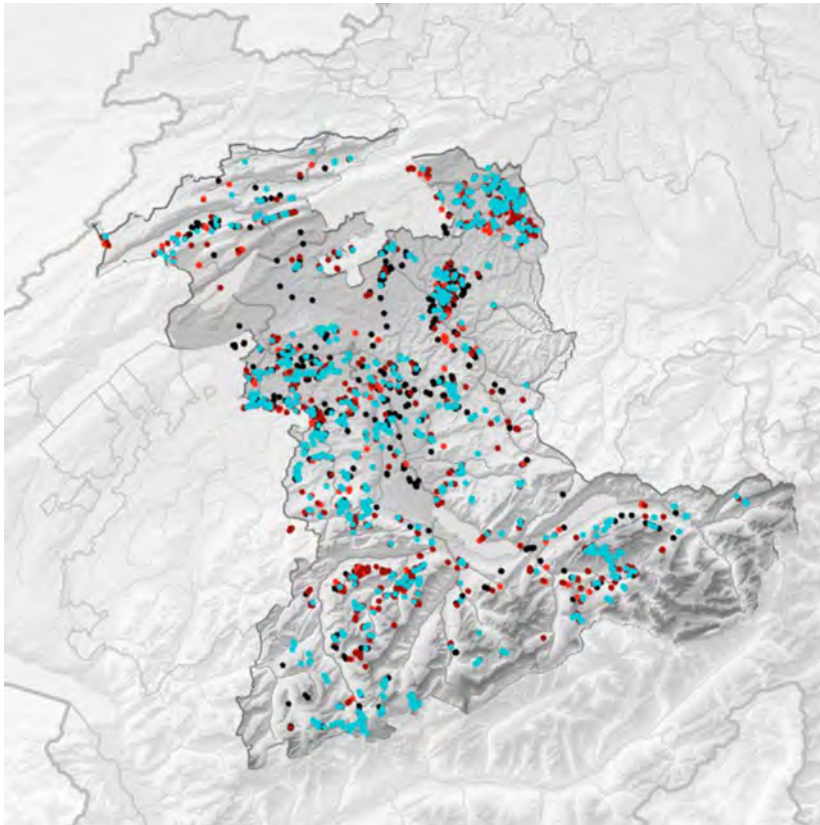
Bei den hydromorphologischen Zielen des Gewässerschutzes sind Zielkonflikte mit der Trinkwasserversorgung nicht auszuschliessen (Lanz 2017). Dies ist dann der Fall, wenn der Perimeter einer Revitalisierung in die Schutzzone einer bestehenden Wasserfassung eingreift. Mitunter kann keine der beiden Aktivitäten, weder die Trinkwassergewinnung noch die Revitalisierung, auf einen anderen Standort ausweichen. In vielen Fällen ist aber eine Lösung möglich, die für beide Ziele eine Verbesserung bedeutet. Entweder kann die Wasserfassung modifiziert oder verlegt, in anderen Fällen der Perimeter der Revitalisierung angepasst werden (für Beispiele siehe Plattform Renaturierung (Wasser-Agenda 21 o. J.).

Zielkonflikte zwischen Revitalisierung und Trinkwasserfassungen können langwierige Verfahren auslösen. Sie lassen sich am besten bewältigen, indem Lösungen möglichst frühzeitig in einem regionalen Rahmen und mit langfristiger Perspektive gesucht werden. Häufig muss bei Revitalisierungen die lokale Nutzungsaufteilung gänzlich neugestaltet werden, um die nötigen Flächen bereitzustellen. Im Rahmen solcher Raumordnungsprozesse lassen sich oft alternative Standorte für Trinkwasserfassungen finden (Lanz 2017). Mitunter sind auch technische Lösungen möglich (Huggenberger 2014).

Synergien bei regionalen Wasserversorgungsplanungen

Nicht selten kommt es bei regionalen Wasserversorgungsprojekten zur Aufgabe lokaler Quellen, weil ihre Qualität nicht ausreichend geschützt werden kann oder der Betrieb unverhältnismässig teuer ist (Hug et al. 2017). Da jede Trinkwasserquelle einst ein kleines Gewässer mit entsprechendem Feuchtbiotop speiste, bietet der Rückbau von Quelfassungen die Möglichkeit für Revitalisierungen. Der Kanton Bern hat mit einer Bestandsaufnahme seiner Quellen begonnen (siehe Abb. 01-09) und plant, bis 2022 mindestens 15 Quellen zu revitalisieren (AWA 2017).

Abb. 01-09



Zustand der Quell-Lebensräume im Kanton Bern
(Stand 2019) (AWA 2017, DHM25/200 © Swisstopo)

- natürlich
- beeinträchtigt
- gemeldet
- zerstört

1.5 Potenzielle Lösungsansätze

In den letzten Jahren ist die schweizerische Trinkwasserversorgung eingehend auf ihre Zukunftsfähigkeit und insbesondere ihre Vulnerabilität gegenüber Klimawandel und möglichen sozioökonomischen Veränderungen untersucht worden (BAFU 2014a, Hoffmann et al. 2014). Dabei wurde Handlungsbedarf in folgenden Bereichen identifiziert:

- Die Versorgung mit Trinkwasser wird mancherorts durch andere Wassernutzungen, aber auch durch Flächenansprüche konkurrenziert. Diese Situation erfordert eine gesamthafte Wasserressourcenplanung unter Einbezug aller Gewässernutzungen. Die dafür nötigen Planungsinstrumente hat der Bund mit drei Grundsatzpublikationen bereitgestellt:
 - Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz («Modul 1», Chaix et al. 2016)
 - Praxisanleitung zur vorausschauenden Bewirtschaftung von Wasserressourcen («Modul 2», Wehse et al. 2017)
 - Expertenbericht zum Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz («Modul 3», Dübendorfer et al. 2016)

- Die gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Wassernutzungen (Trinkwasser, Landwirtschaft, Wärmen und Kühlen, Abwasserbeseitigung, etc.) ist den jeweiligen Akteuren oft wenig bewusst. Daher sollte ein gesamthaftes wasserwirtschaftliches Denken in Kommunikation und Fachausbildung stärker verankert werden. Dabei spielt das vom Bund mitgetragene Akteursnetzwerk Wasser-Agenda 21 eine zentrale Rolle (www.wa21.ch).
- Das BAFU-Projekt «Trinkwasserversorgung 2025» hielt fest, dass zur langfristigen Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit zusätzliche Massnahmen erforderlich sind (BAFU 2014a). Grundvoraussetzung ist der Schutz der Trinkwasservorkommen gemäss GSchG und GSchV, um die Aufgabe weiterer Fassungen zu verhindern. Zudem sollte jede Wasserversorgung über zwei hydrologisch möglichst unabhängige Wasserbezugsorte verfügen («zwei Standbeine»), so dass bei Ausfall des einen auf das zweite zurückgegriffen werden kann. Dieses Ziel ist häufig durch eine blossе Vernetzung bestehender Versorgungsgebiete zu erreichen, in anderen Fällen ist die Erschliessung zusätzlicher Vorkommen nötig.

Diese Erkenntnisse und Zielsetzungen fanden Aufnahme in die wasserwirtschaftlichen Massnahmen des Aktionsplans 2014-2019 des Bundesrates «Anpassung an den Klimawandel» (BAFU 2014b). Sie haben in der Wasserversorgung zahlreiche vertiefte Analysen und teils eine Überprüfung kantonaler Wasserstrategien ausgelöst. Mehrere regional angelegte Restrukturierungsprojekte sind in der Umsetzung (Kantone SO, BL, SZ, Lanz 2017, Hug et al. 2017) oder in Planung (Aquaregio o. J.).

Verbleibende Aufgaben

Nicht in allen Fällen lässt sich durch Vernetzung ein hydrologisch unabhängiges zweites Standbein organisieren. Dies gilt vor allem in ländlichen Karstgebieten und in grenznahen Bereichen. Regionen wie z.B. die Städte Basel und Genf, bei denen sich die hydrologisch günstigsten Gewinnungsgebiete im Ausland befinden, sind überwiegend auf Oberflächengewässer als Trinkwasserressource angewiesen (Basel: Rhein, Genf: Genfersee), ein zweites Standbein von genügender Kapazität ist nicht verfügbar. In solchen Fällen wäre – abgesehen von einem Bezug aus dem Ausland – zu prüfen, ob die Erschliessung von Tiefengrundwasser sinnvoll ist. Dieses ist in der Schweiz vielerorts vorhanden (Sinreich et al. 2012). Inwieweit es als zweites Standbein oder zumindest für eine Notversorgung in Frage kommt, bleibt zu prüfen.

Im Interesse einer hochwertigen, auf gut geschützten Vorkommen basierenden Versorgung sollten in Zukunft keine Grundwasserschutzzonen mehr durch anderweitige Flächennutzungen verdrängt werden. In der gesamten Schweiz sollten regionale Wasserversorgungsplanungen erarbeitet werden. Die für die Versorgung der Bevölkerung unverzichtbaren Grundwasserfassungen und -vorkommen müssen konsequent geschützt, bei Planungsprozessen frühzeitig berücksichtigt werden und in der Raumplanung verankert werden.

Besondere Herausforderungen stellen sich in Karstgebieten, da sich das dortige Grund- und Quellwasser durch Schutzzonen in Fassungsnahe wegen des heterogenen Untergrunds nicht optimal schützen lässt. An der Wassermenge mangelt es meist nicht, im Karst stehen ergiebige Quellen zur Verfügung. Ein Verzicht auf solche ergiebigen ortsnahen Quellen würde die Zuleitung von Grund- oder Seewasser über längere Distanzen erfordern. Allerdings ist für Karstwasser meist eine mehrstufige Aufbereitung nötig, wie sie auch bei der Trinkwassergewinnung aus Seen üblich ist. Kann keine gesetzeskonforme Schutzzone für eine Karstquelle ausgeschieden werden, ist deren Nutzung nicht gestattet – selbst dann nicht, wenn das Wasser aufbereitet wird. Hier wäre zu klären, ob bei ergiebigen Karstquellen trotz unzureichend geschütztem Zuströmbereich eine Ausnahme von dieser Regel gemacht werden kann. Ein erster Schritt in diese Richtung wurde 2016 mit der Einführung der Schutzzonen Sh und Sm gemacht (Anh. 4, 125 GSchV).

Es ist nicht Aufgabe der Wasserversorgungen, zur Deckung jeglicher Wasseransprüche in Hitzeperioden die Infrastruktur um jeden Preis auszubauen. Wirtschaftlicher und nachhaltiger ist es, in solchen Phasen auf Anpassungen der Verbrauchsmuster hinzuwirken, etwa durch eine zeitliche Staffelung von Poolbefüllungen oder eine Reduzierung der Gartenbewässerung. Zugleich könnte es sinnvoll sein, in Zukunft Gartenbesitzer vorsorglich auf Gartenbepflanzungen aufmerksam zu machen, deren Wasserbedarf im Einklang mit einem trockeneren und wärmeren Klima ist.

Weiterhin bleibt die Sicherung einer guten Qualität der für die Trinkwasserversorgung genutzten Gewässer eine Daueraufgabe. Während Schadstoffeinträge durch die Siedlungsentwässerung mit zusätzlichen Reinigungsstufen für Kläranlagen deutlich herabgesetzt werden können, sind bei den diffusen Einträgen Verbesserungen anzustreben. Dies betrifft zum einen direkt in Flüsse und Seen gelangende Abflüsse von befestigten Flächen wie Dächern, Strassen, Plätzen oder Eisenbahntrassees (siehe Kapitel 8).

Zum anderen gilt es die Anstrengungen zu verstärken, Düngemittel, Gülle und Pflanzenschutzmittel von ober- und unterirdischen Gewässern fernzuhalten. Die zunehmenden Erkenntnisse über die Anwesenheit erheblicher Konzentrationen gesundheitlich relevanter Pestizid-Abbauprodukte im Grund- und Trinkwasser werfen insbesondere ein neues Licht auf die Zulassungspraxis für Pflanzenschutzmittel. Es scheint geboten, Wirkstoffe vom Markt zu nehmen, deren Metaboliten sich im Grundwasser anreichern können oder für die keine praktikablen Messverfahren verfügbar sind.

Ein zusätzlicher Fokus sollte bei der Trinkwassersicherheit auf den Veterinär-Pharmazeutika liegen. Noch immer sind in der Tierzucht Antibiotikagaben in teils hohen Dosen üblich, und sogar unerlässliche Reserve-Antibiotika kommen zum Einsatz. Diese werden direkt von den Tieren oder via Gülle in die Gewässer eingetragen, was massgeblich zur Entstehung und Verbreitung antibiotikaresistenter Keime beiträgt. Welche Rolle der Trinkwasserpfad bei der Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen spielt, kann derzeit noch nicht abschliessend beantwortet werden (Bürgmann et al. 2017).

Schliesslich ist das langfristige Funktionieren der Trinkwasserversorgung von einer ausreichenden Finanzierung der Infrastrukturen abhängig. Bei einer Lebensdauer der Anlagen von 50-100 Jahren müssen Jahr für Jahr 1-2% des Wiederbeschaffungswertes von heute rund CHF 59 Mrd. in den Unterhalt investiert werden. Es liegt in der Verantwortung der Gemeinden, diese Mittel zuverlässig bereitzustellen und einzusetzen – auch wenn es nicht immer einfach ist, der Bevölkerung den unmittelbaren Nutzen eines kostendeckenden Trinkwassertarifs zu vermitteln.

1.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- Potenzial nachhaltige Nutzung ergiebiger Karstwasservorkommen (Erschliessung durch Stollen oder Bohrungen)
- Raumplanung: Erarbeitung von Instrumenten für eine angemessene Berücksichtigung und langfristige Sicherung der für die Trinkwasserversorgung nötigen Fassungen
- Weitere Verbesserung des Wissens um die Klima- und Trockenheitsresilienz der für die Trinkwasserversorgung genutzten Vorkommen, insbesondere Grundwasser und Quellen
- Aktualisierung der Relevanz von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen: Verfügbarkeit von praktikablen Nachweisverfahren und Nachweis der Nichtanreicherung im Grundwasser auch für deren Abbauprodukte
- Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen via Trinkwasser klären

1.7 Literatur

Aquaregio (o. J.)

[Versorgungsgebiet Aquaregio AG – Projektstand](#)

Aquawal (2017)

[Statistiques 2017 de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées en Wallonie](#)

AWA (2017)

Quell-Lebensräume – Inventar und Revitalisierungspotenzial im Kanton Bern

[AWA-Fakten, Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern](#)

Bern, 24 Seiten

Bärtschi. H. (2019)

[«Wir fühlen uns im Stich gelassen»: Solothurner Wasserversorger fordern vom Bund Chlorothalonil-Verbot.](#)

Solothurner Zeitung vom 15.11.2019

BAFU (2014a)

[Grundlagen für die Wasserversorgung 2025](#)

Bern, 116 Seiten

BAFU (2014b)

Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz

[Aktionsplan 2014-2019](#)

Bern

BAFU (2019)

[Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA – Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser 2017](#)

Factsheet

BAFU (Hrsg. 2019)

[Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz](#)

[Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016](#)

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901: 138 Seiten

BAFU et al. (Hrsg. 2019)

[Hitze und Trockenheit im Sommer 2018 Auswirkungen auf Mensch und Umwelt](#)

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909: 91 Seiten

Bürgmann, H. et al. (2017)

Antibiotikaresistenzen im Trinkwasser?

Aqua & Gas No. 10, Seiten 60 – 66

Chaix, O. et al. (2016)

[Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit](#)

Bericht im Auftrag des BAFU

Datalab (2017)

[Les prélèvements d'eau douce en France : les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans](#)

Republique Française, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (Hrsg.), Paris

Destatis (o. J.)

[Öffentliche Wasserversorgung in Deutschland von 2013](#)

Diem, S. et al. (2013)

NOM degradation during river infiltration: Effects of the climate variables temperature and discharge
Water Research 47 (17), Seiten 6585 – 6595

Dübendorfer, C. et al. (2016)

[Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen](#)

Bericht im Auftrag des BAFU

Figura, S. et al. (2013) Klima und Grundwasser.

Rückblicke und Vorhersagen von Temperatur und Sauerstoff mittels historischer Aufzeichnungen
Aqua & Gas No. 7/8, Seiten 28 – 33

Frei, H. (2017)

[Unsere Trinkwasserqualität ist bedroht](#)

Interview mit Roman Wiget, Seeländische Wasserversorgung
Bieler Tagblatt vom 06.07.2017

Freiburghaus, M. (2015)

Wasserverbrauch: Sinkender Wasserabsatz im Schweizer Haushalt
Aqua & Gas No. 3, Seiten 72 – 79

HITA (2013)

[The Hungarian Water and Sanitation Industry in the 21st century](#)

Hungarian Investment and Trade Agency (Hrsg.)

Hoffmann, S. et al. (2014)

[Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz](#)

Synthesebericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61. Bern

Hug, R. et al. (2017)

[Gutes Wasser für morgen – regionale Wasserversorgungsplanung im Kanton Solothurn am Beispiel Olten Gösgen](#)

Aqua & Gas No. 6, Seiten 44 – 51

Huggenberger, P. (2014)

[Ökologie und Wasserversorgung in urbanen Gebieten](#)

Wasserversorgung und Uferfiltration – ein System unter Druck?

Tagungsband zum Eawag Infotag 2014, Dübendorf, Seiten 20 – 23

Hunkeler, D. et al. (2014)

Klimaeinflüsse auf Grundwassermengen

Aqua+Gas No. 11, Seiten 42 – 49

Kurylyk, B. L. et al. (2013)

Potential surface temperature and shallow groundwater temperature response to climate change: an example from a small forested catchment in east-central New Brunswick (Canada)

Hydrology and Earth System Sciences 17 (7), Seiten 2701 – 2716

Lanter, P. (2009)

Statistische Zahlen zum Wasserverbrauch in Haushalten Verbrauchsabhängige Wasserkostenabrechnung

Schweizerischer Verband für Wärme- und Wasserkostenabrechnung SVW (Hrsg.)

Lanz, K. (2016)

[Wasser im Engadin – Ökologie, Nutzung, Konflikte](#)

Studie im Auftrag des WWF Schweiz, Zürich, 94 Seiten

Lanz, K. (2017)

[Lösungsansätze zu Zielkonflikten in der Wasserwirtschaft](#)

Faktenblätter der Wasser-Agenda 21, Dübendorf

Livingstone, D. M. (2003)

Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake

Climatic Change, No. 57(1), Seiten 205 – 222

Neunteufel, R. et al. (2016)

[Wasserversorgung im Jahre 2015 – Erfahrungen und Ausblick](#)

Studie im Auftrag des Österreichischen Vereins des Gas- und Wasserfachs ÖGW

Reist, V. et al. (2019)

[Nutzungskonflikte bei Trinkwasserfassungen – Umfragen unter SVGW-Wasserversorgern](#)

Aqua & Gas No. 6, Seiten 44 – 49

Sinreich, M. et al. (2012)

[Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten](#)

Aqua & Gas, No. 9, Seiten 16 – 29

SRF (2019)

[Krebserregender Stoff schon seit Jahren im Basler Trinkwasser](#)

Schweiz Aktuell vom 03.12.2019

Statistics Sweden (2017)

[Vattenanvändningen i Sverige 2015](#)

SVGW (2017)

Trinkwasserbehandlung in der Schweiz 2005-2015

Bericht zuhanden des BAFU, Zürich

SVGW (2020)

Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz, Betriebsjahr 2016, Information W 15 001

Zürich, 87 Seiten

VKCS (2019)

[Pflanzenschutzmittel in Trinkwasser](#)

(Kampagnenbericht), 12 Seiten

VSA (2017)

[Positionspapier des VSA zum Einsatz von Pestiziden](#)

Wasser-Agenda 21 (o. J.)

[Webseite Plattform Renaturierung](#)

Wehse, H. et al. (2017)

[Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen](#)

Bericht im Auftrag des BAFU

Kapitel 2 **Industrielle und gewerbliche Wassernutzung**



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
**Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018**
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Michael Schärer, Petra Schmocker-Fackel, Saskia Zimmermann-Steffens

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto © Infrapark Baselland AG

Fachliche Begleitung **Pascal Wunderlin** Eawag

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Gestaltungskonzept, Layout, Infografik **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

2 Industrielle und gewerbliche Wassernutzung

Inhaltsverzeichnis

- 2.1 Eigenversorgung in der Schweiz
- 2.2 Industrielles und gewerbliches Abwasser
- 2.3 Auswirkungen der industriellen und gewerblichen Nutzung
 - 2.3.1 Mengenmässige Auswirkungen
 - 2.3.2 Qualitative Auswirkungen durch Abwasser
- 2.4 Die Zukunft
 - 2.4.1 Einfluss des Klimawandels
 - 2.4.2 Einfluss sozioökonomischer Veränderungen
- 2.5 Zielkonflikte und Synergien
 - 2.5.1 Mit anderen Nutzungen
 - 2.5.2 Mit den Zielen des Gewässerschutzes
- 2.6 Potenzielle Lösungsansätze
 - 2.6.1 Wasserbezug für Industrie und Gewerbe
 - 2.6.2 Industrielles und gewerbliches Abwasser
- 2.7 Wissenslücken/ Forschungsbedarf
- 2.8 Literatur

Die Wassernutzung von Industrie und Gewerbe liegt in der Schweiz um rund 25% über dem Gesamtverbrauch der Haushalte

Die Verfügbarkeit grosser Mengen an Brauch- und Kühlwasser ist ein wichtiger Standortfaktor für Industrie und Gewerbe. Rund 73% ihres Wasserbedarfs beziehen die Unternehmen aus eigenen Fassungen (Eigenversorgung), für den Rest nutzen sie die öffentliche Wasserversorgung. Die Nutzung durch Industrie und Gewerbe ist bedeutend, gesamthaft liegt sie etwa 25% über dem Gesamtverbrauch der privaten Haushalte. Nach der Nutzung gelangt das Abwasser von Industrie und Gewerbe in öffentliche ARAs oder über betriebliche Kläranlagen in die Flüsse, wobei sich persistente Inhaltsstoffe in den Gewässerökosystemen anreichern können. Der Klimawandel dürfte für Industrie und Gewerbe kaum Wassermengenprobleme verursachen, denn es gibt noch erhebliches Potenzial für eine effizientere Wasserverwendung. Handlungsbedarf besteht aber wegen der zurückgehenden Wassermengen in Fließgewässern bei industriell-gewerblichem Abwasser. Um negative Auswirkungen auf Gewässerökologie und Trinkwassernutzung auszuschliessen, sind eine weitergehende Abwasserreinigung bzw. eine Abkopplung kritischer Produktionseinheiten vom Abwasserstrom (Kreislaufführung, Containment) unvermeidlich.

Résumé chapitre 2 utilisation industrielle et commerciale de l'eau

La disponibilité de grandes quantités d'eau pour l'approvisionnement et de refroidissement est un facteur d'emplacement important pour l'industrie et les activités commerciales et artisanales. Les entreprises obtiennent environ 73 % de leurs besoins en eau de leurs propres captages (auto-approvisionnement). Pour le reste, elles utilisent le réseau public d'approvisionnement en eau. L'utilisation par l'industrie et le commerce est importante ; au total, elle est supérieure d'environ 25 % à la consommation des ménages privés. Après utilisation, les eaux usées de l'industrie et du commerce sont rejetées dans les stations d'épuration publiques ou dans les rivières via les stations d'épuration des entreprises, où des substances persistantes peuvent s'accumuler dans les écosystèmes aquatiques. Il est peu probable que le changement climatique entraîne des problèmes de quantité d'eau pour l'industrie et le commerce, car il existe encore un potentiel considérable d'utilisation plus efficace de l'eau. Toutefois, il est nécessaire d'agir sur les eaux usées industrielles et commerciales en raison de la diminution des débits dans les cours d'eau. Afin d'exclure les impacts négatifs sur l'écologie de l'eau et sur l'utilisation de l'eau potable, un traitement supplémentaire des eaux

usées, resp. le découplage entre les unités de production critiques et les écoulements d'eaux usées (recyclage, confinement) est inévitable.

Riassunto capitolo 2 uso industriale e commerciale dell'acqua

La disponibilità di grandi quantità di acqua di servizio e di raffreddamento è un importante fattore di ubicazione per l'industria e il commercio. Le aziende ottengono circa il 73% del loro fabbisogno idrico dai propri bacini di raccolta (auto-approvigionamento), per il resto utilizzano la rete idrica pubblica. L'utilizzo da parte dell'industria e del commercio è significativo; nel complesso è circa il 25% superiore al consumo totale delle famiglie. Dopo l'uso, le acque reflue dell'industria e del commercio vengono scaricate negli impianti di depurazione pubblici o nei fiumi attraverso gli impianti di trattamento delle acque reflue aziendali, dove le sostanze persistenti possono accumularsi negli ecosistemi idrici. È improbabile che i cambiamenti climatici causino problemi di quantità d'acqua per l'industria e il commercio, poiché esiste ancora un notevole potenziale per un uso più efficiente dell'acqua. Tuttavia, è necessario intervenire sulle acque reflue industriali e commerciali a causa del calo dei volumi di acqua nei corsi d'acqua. Per escludere impatti negativi sull'ecologia dell'acqua e sull'uso dell'acqua potabile, è inevitabile un trattamento più esteso delle acque reflue rispettivamente il disaccoppiamento delle unità di produzione critiche dal flusso delle acque di scarico (ricircolo, contenimento).

2 Industrielle und gewerbliche Wassernutzung

2.1 Eigenversorgung in der Schweiz

Neben der Nutzung für die öffentliche Trinkwasserversorgung wird auch für private Zwecke Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser aus der Natur entnommen. Man spricht von Eigenversorgung. Die privat genutzten Grundwasser- und Quelfassungen unterliegen anders als Trinkwasserfassungen nicht dem planerischen Grundwasserschutz, benötigen also keine Schutzzonen. Der überwiegende Teil der Eigenversorgung entfällt auf Industrie und Gewerbe, aber auch Landwirtschaftsbetriebe können sich Wasser für Bewässerung, Tränke oder Stallreinigung durch Eigenversorgung beschaffen. Das vorliegende Kapitel befasst sich mit der Eigenversorgung von Industrie und Gewerbe, während Wasserentnahmen der Landwirtschaft und die thermische Nutzung in Kapitel 3 und Kapitel 4 behandelt werden.

Wasserentnahmen, die den Gemeingebrauch überschreiten, benötigen stets eine Bewilligung oder Konzession, gleich für welchen Zweck das Wasser dienen soll. Manche Kantone haben eine fixe Untergrenze festgesetzt, unterhalb der keine Konzession erforderlich ist (NE 25 l/min, FR 200 l/min, VD/JU 300 l/min) (BAFU 2014). In den Bergkantonen Graubünden und Wallis sind die Gemeinden Konzessionsgeber, sonst die Kantone. In der Regel – aber nicht immer – ist in den Konzessionen vermerkt, für welche Zwecke das Wasser eingesetzt wird.

Wichtige Zwecke für Brauchwasserentnahmen sind industrielles Prozesswasser und thermische Nutzungen (Kapitel 4), aber auch die Kieswäsche oder das Speisen von Weihern und Fischzuchten fällt darunter. Ein schweizweiter Überblick über die private Verwendung von Wasser und deren Zwecke liegt nicht vor und lässt sich aus den kantonalen Konzessionsverzeichnissen auch nicht ermitteln (Freiburghaus 2009). Von den meisten Kantonen werden nur die konzessionierten, nicht aber die tatsächlich genutzten Mengen dokumentiert.

Die aktuellsten Abschätzungen zum Wasserverbrauch bei Industrie und Gewerbe beruhen auf einer Umfrage des SVGW, die sich auf das Jahr 2006 bezieht (Freiburghaus 2009). Sie unterscheidet allerdings nicht zwischen verschiedenen Nutzungszwecken (Prozesswasser, Kühlung etc.). Die Eigenversorgung von Industrie und Gewerbe wurde für 2006 auf 824 Mio. m³ hochgerechnet, wovon ein erheblicher Teil auf die Kühlung entfallen dürfte. Zusätzlich bezogen Industrie und Gewerbe Trinkwasser aus der öffentlichen Versorgung im Umfang von 300 Mio. m³. Zum Vergleich: der häusliche Bedarf der Schweizer Bevölkerung lag 2006 bei insgesamt 490 Mio. m³. Der Bezug des Kleingewerbes ist im häuslichen Verbrauch enthalten.

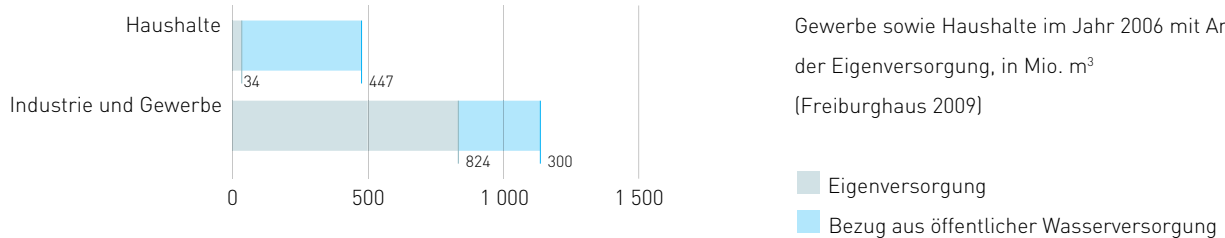


Abb. 02-01

Umfang der Wassernutzung durch Industrie und Gewerbe sowie Haushalte im Jahr 2006 mit Anteil der Eigenversorgung, in Mio. m³ (Freiburghaus 2009)

Trotz des hohen Anteils der Eigenversorgung bleiben Industrie und Gewerbe auch bedeutende Nutzer der öffentlichen Wasserversorgung. Mit 300 Mio. m³/a bezogen sie 2006 rund 30 % der insgesamt von den Wasserwerken geförderten Menge (982 Mio. m³/a) (siehe Abb. 02-02).

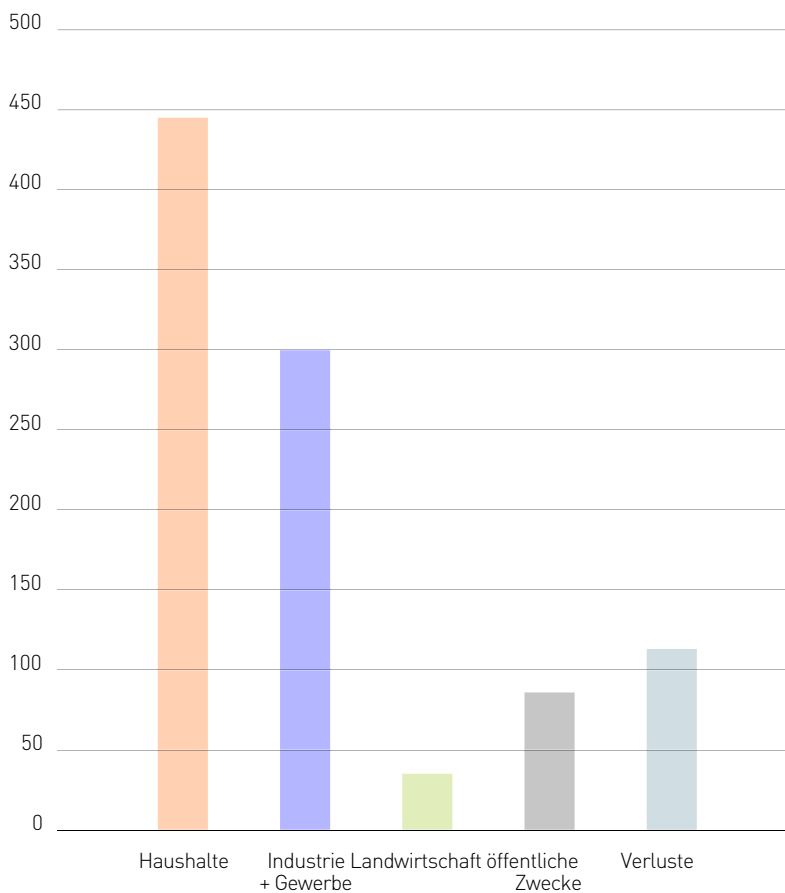


Abb. 02-02

Verbleib der 2006 von der öffentlichen Wasserversorgung bereitgestellten Wassermengen in Mio. m³ (Freiburghaus 2009)

Eine jüngere Publikation des SVGW versuchte, die Abgabe von Trinkwasser aus der öffentlichen Versorgung an Industrie und Gewerbe unter Einchluss des Kleingewerbes zu ermitteln (Freiburghaus 2015). Diese Abgaben sind seit längerem rückläufig: im Jahr 1997 entfielen 49.2% auf diese Verbrauchergruppe, 2013 nur noch 41.9%. Anders sieht es im Kanton Baselland aus, dem einzigen Kanton, der eine detaillierte Statistik zur privaten Wassernutzung publiziert. Dort nahm der Verbrauch von Industrie und Gewerbe von 1999 bis 2018 deutlich zu – sowohl der Bezug aus der öffentlichen Versorgung zu (+1.35 Mio. m³, +23%), als auch die Eigenversorgung aus Grundwasser (+5.97 Mio. m³, +14%) (Statistik Basel-Landschaft o. J.).

Dass Industrie und Gewerbe die private Förderung dem Bezug von der öffentlichen Versorgung vorziehen, dürfte in erster Linie an Kostenerwägungen liegen. Bei der Eigenversorgung entrichten die Nutzer eine fixe Verwaltungsgebühr für die konzessionierte Menge, mengenabhängige Kosten für den Wasserbezug fallen nicht an. Die Nutzung von Trinkwasser aus der öffentlichen Versorgung hingegen wird nach Kubikmetern abgerechnet und ist deutlich teurer.

In den meisten Branchen von Industrie und Gewerbe war der Einsatz von Wasser in den vergangenen Jahrzehnten gesamthaft rückläufig, zum Teil wegen Prozessumstellungen, überwiegend aber durch Abwanderung wasserintensiver Betriebe ins Ausland (z.B. Papierherstellung, Stahlwerke). Eine Ausnahme stellt die chemische Industrie dar, deren Wassereinsatz markant gestiegen ist (Freiburghaus 2009). Überlagert wird der abnehmende Bedarf an Prozesswasser durch die generelle Zunahme der Kühlwassernutzung (siehe Kapitel 4).

Die Eigenversorgung von Industrie und Gewerbe ist in der Schweiz eine mengenmässig sehr bedeutende Wassernutzung. Sie lag 2006 etwa 25% höher als die Wassernutzung der öffentlichen Versorgung (Freiburghaus 2009). Diese Hochrechnung wird durch aktuelle Zahlen aus dem Kanton Baselland bestätigt: dort wurde 2018 die öffentliche Gewinnung von Grund- und Quellwasser (40.0 Mio m³) von den privaten Grundwasserentnahmen (41.5 Mio. m³) übertroffen. Bei den gewerblichen und industriellen Entnahmen handelte es sich überwiegend um trinkwasserfähiges Grundwasser (Statistik Basel-Landschaft o. J.).

2.2 Industrielles und gewerbliches Abwasser

Ein Teil des von Industrie und Gewerbe genutzten Wassers wird bei der Anwendung verschmutzt und muss vor Rückleitung in die Gewässer aufbereitet werden. Ein Teil davon, mindestens 25 Mio. m³/a gelangt in kommunale Kläranlagen und wird dort behandelt (Indirekteinleiter) (Braun et al. 2014). Etwa 60 Betriebe behandelten 2011 ihr Abwasser (rund 67 Mio. m³/a) in eigenen Kläranlagen (Direkteinleiter) (Braun et al. 2014).

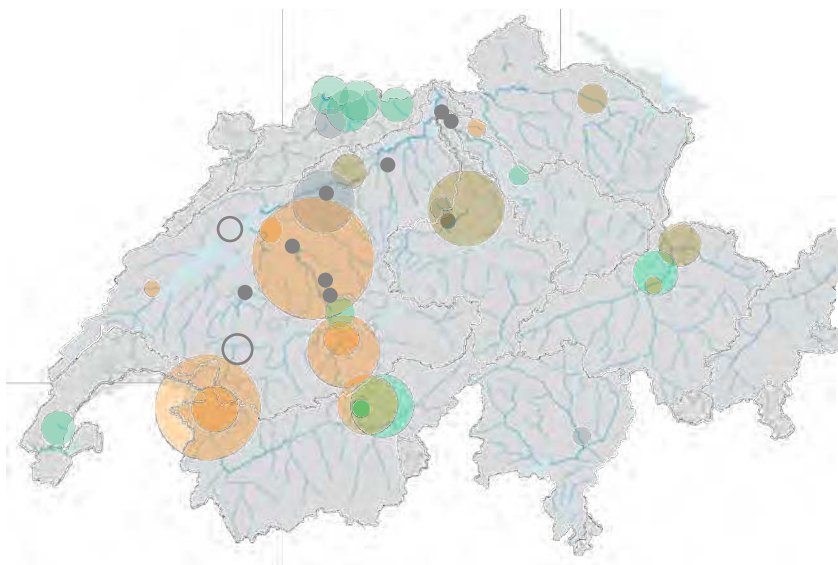


Abb. 02-03
Überblick über die gemeldeten Direkteinleitungen in der Schweiz: Lage und Branche der 2011 von den Kantonen gemeldeten Direkteinleiter.

Die jüngste Zunahme von Fischzuchten und Aquakulturen in der Schweiz veranlasste den VSA zur Vorlage eines eigenen Leitfadens, in dem die Anforderungen an die Einleitung von Ablaufwasser und die Verwertung von Schlämmen zusammengefasst sind (VSA 2019).

Die Kreisgrösse entspricht der Abwassermenge, nicht der Schadstofffracht (Braun et al. 2014)

- Chemie/ Pharma
- Papier/ Holz
- Metall
- Mineralöl
- Lebensmittel/ Fischzucht
- KVA Deponie
- Sonstige

Industrielles und gewerbliches Abwasser unterscheidet sich in seiner Zusammensetzung deutlich von kommunalem Abwasser. Manche industriespezifischen Chemikalien können in kommunalen ARA nicht eliminiert werden und gelangen in die Fließgewässer. Wer Industrieabwasser ableitet, muss daher in den Produktionsprozessen und bei der Abwasserbehandlung nach dem Stand der Technik Massnahmen treffen, um Verunreinigungen der Gewässer zu vermeiden. Grundsätzlich sollen so wenig Stoffe, die Wasser verunreinigen können, und so wenig Abwasser abgeleitet werden wie technisch und betrieblich machbar und wirtschaftlich tragbar ist. Die kantonalen Vollzugsbehörden können auf Basis des Standes der Technik in der Einleitbewilligung spezifische Anforderungen festlegen. Dazu erarbeiten die Kantone und der Verband der Schweizerischen Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) Richtlinien und Merkblätter oder legen Anforderungen im Einzelfall fest, wie z.B. in der Leitlinie der «Gruppe Strategie Mikroverunreinigungen» des Kantons Wallis (Kanton Wallis 2008).

Aufgrund der Bewilligungspflicht für die Abwassereinleitung sind direkt in die Gewässer einleitende Industrie- und Gewerbebetriebe nahezu voll-

ständig durch die Kantone erfasst. Allerdings liegen nur wenige Daten über deren Abwasser vor – weder über die Frachten der in die Gewässer eingetragenen Chemikalien noch über deren Konzentrationen. Noch weniger Wissen ist bei Betrieben vorhanden, die ihr Abwasser in die Kanalisation ableiten (Indirekteinleiter).

Im Rhein bei Basel stammten laut Rheinüberwachungs-Station 2014 von 110 Tonnen identifizierbarer anthropogener Mikroverunreinigungen 26 Tonnen aus Industrie und Gewerbe (Schärer 2018). In Einzelfällen konnten extrem hohe Schadstofffrachten bestimmten Betrieben zugeordnet werden (Mazacek et al. 2016). Um mehr über die Herkunft der eingeleiteten Stoffe und ihre Wirkung auf die Gewässer zu erfahren, wird vom VSA aktuell eine nationale Situationsanalyse zu diesem Thema durchgeführt. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Vollzugsstellen, den Branchenverbänden und den Betrieben. Auf diese Weise soll eine breit abgestützte Analyse des Istzustandes resultieren, um darauf aufbauend allfällige Massnahmen zu prüfen.

In der Regel findet in der Schweiz keine Messung der Frachten spezifischer Mikroverunreinigungen durch die Kantone statt, weder bei Direkt- noch bei Indirekteinleitern. Ob gewässerschutzrechtliche Anforderungen eingehalten werden, müssen die Aufsichtsbehörden derzeit überwiegend auf Basis der Rapports der Betriebe entscheiden (betriebliche Eigenkontrolle) (VOKOS 2010).

Die EU verpflichtet die Mitgliedstaaten mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie dazu, alle Gewässer in einen guten Zustand zu versetzen, was auch einen guten chemischen Zustand umfasst. Für industrielle Einleitungen (direkt und indirekt) gilt die Industrieemissionsrichtlinie (2010/75/EU), die für alle Branchen verbindliche beste verfügbare Techniken (BVT) mit Obergrenzen für die Emissionen in Oberflächengewässer vorsieht. In Deutschland werden von den Behörden ausser den 45 in Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie gelisteten Stoffen weitere 150 Parameter zur Festlegung des Gewässerzustands überwacht. Hinzu kommen zahlreiche branchenspezifische Emissionsgrenzwerte für industrielle Einleitungen (Braun et al. 2015).

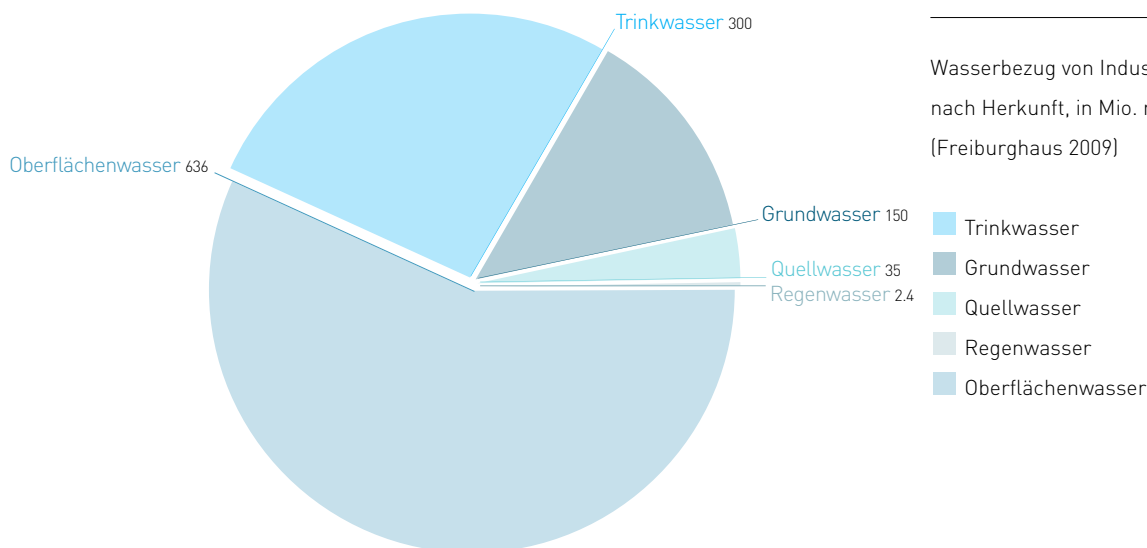
Als Oberlieger ist die Schweiz in der Pflicht zu ermitteln, inwieweit bei den inländischen Direkt- und Indirekteinleitern der Stand der Technik (nicht der ambitioniertere Standard der besten verfügbaren Techniken) angewendet wird. Dafür fehlt aber die Datengrundlage, d.h. es können derzeit keine Angaben über die Konformität der industriellen Emissionen in die Gewässer

mit den EU-Standards gemacht werden (Braun et al. 2015). 2017 bilanzierte die Rheinschutzkommission: «Es fehlt also eine systematische schweizweite Übersicht der Stoffe, die in produzierenden oder verarbeitenden Betrieben eingesetzt und mit dem Abwasser in die Umwelt abgegeben werden.» (IKSR 2017).

2.3 Auswirkungen der industriellen und gewerblichen Wassernutzung

2.3.1 Mengenmässige Auswirkungen

Laut den Erhebungen des SVGW von 2006 stammt mehr als die Hälfte des von Industrie und Gewerbe genutzten Wassers aus Oberflächengewässern. Dabei dürfte es sich im Wesentlichen um Kühlwasser handeln. Da es sich meist um Entnahmen aus grossen Flüssen handelt, sind keine mengenmässigen Probleme zu erwarten. Kritisch kann allerdings die Rückleitung des aufgewärmten Kühlwassers sein, wenn die Flusstemperaturen im Sommer bereits hoch sind. Diese Thematik wird in Kapitel 4 behandelt.



Das in Industrie und Gewerbe für Prozesse benötigte Wasser stammt dagegen überwiegend aus Grundwasservorkommen. Oberflächengewässer sind für viele Anwendungen als Prozesswasser wenig geeignet, da ihre Qualität eine Aufbereitung nötig machen würde. Quellen befinden sich selten in der Nähe von Industrie- und Gewerbegebieten. Bei der Konzessionsvergabe achten die Kantone darauf, dass keine dauerhafte Übernutzung des Grundwassers stattfindet und keine Konkurrenz zu den Grundwasserentnahmen der öffentlichen Wasserversorgung auftritt. Es

sollte allerdings bedacht werden, dass die Entnahmen von Grundwasser für die thermische Nutzung (Kapitel 4) stetig zunehmen. Gerade im intensiv genutzten Mittelland dürfte ein wesentlicher Ausbau der Eigenversorgung von Industrie und Gewerbe kaum noch möglich sein.

Mitunter ergeben verfeinerte Grundwassermodelle, dass in früheren Jahren konzessionierte Grundwassermengen die nachhaltig nutzbare Menge übersteigen. In solchen Fällen muss die Konzession angepasst werden, was aber für die Nutzer meist unerheblich ist, da die konzessionierten Höchstmengen kaum jemals ausgeschöpft werden.

Generell ist davon auszugehen, dass die Entnahmen für die Eigenversorgung normalerweise keine Beeinträchtigungen für die Gewässer und andere Nutzungen zur Folge haben. Offen ist allerdings, ob dies auch in langanhaltenden Trockenphasen uneingeschränkt gilt.

2.3.2 **Qualitative Auswirkungen durch Abwasser**

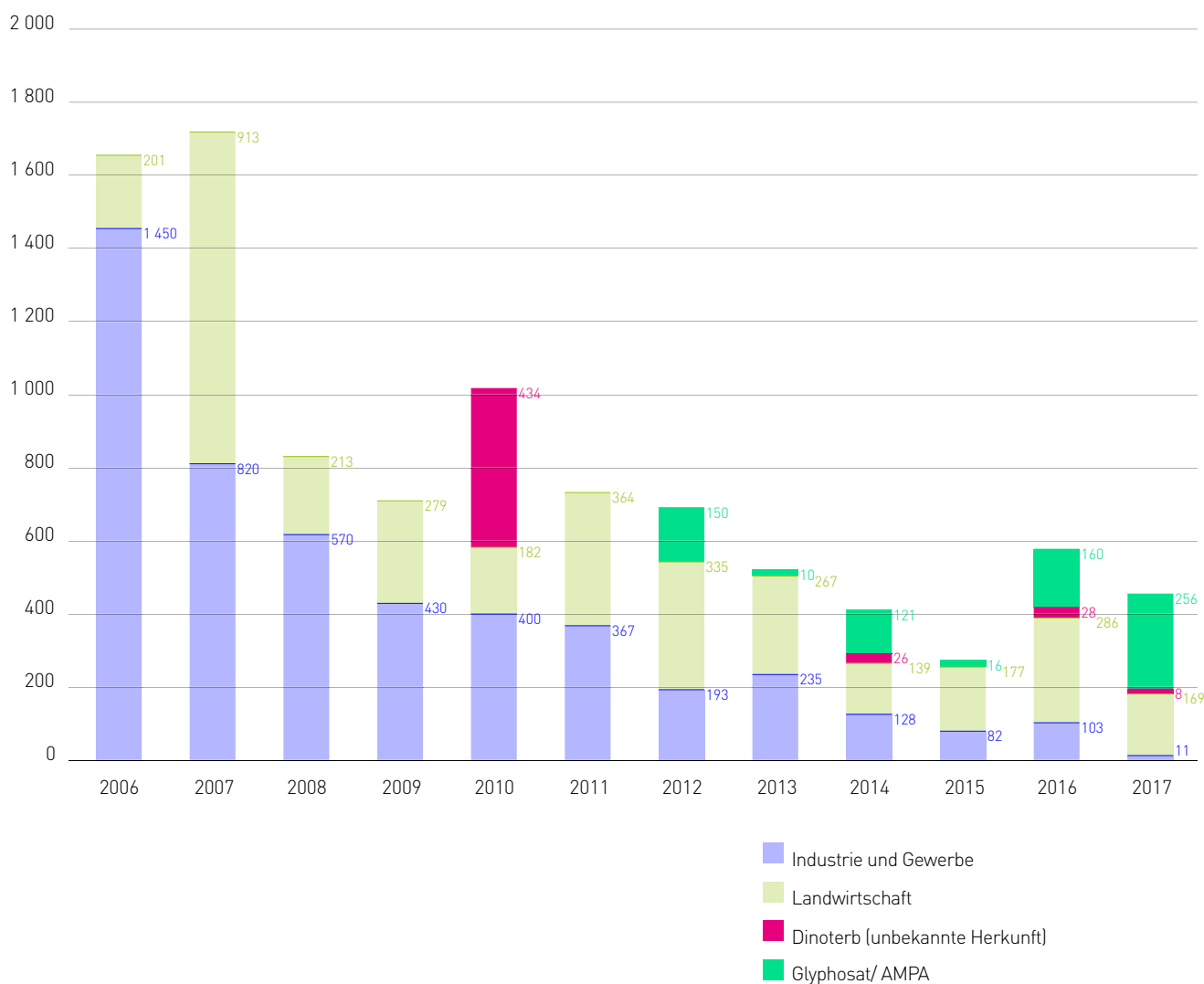
Die Auswirkungen industrieller und gewerblicher Abwassereinleitungen auf die Gewässer sind schwierig abzuschätzen. Im Vergleich zum EU-Ausland ist wenig über die Art und Menge der eingeleiteten Inhaltsstoffe bekannt (siehe 2.1). Dies gilt für Direkt- und Indirekteinleiter gleichermaßen. Häufig werden erst bei Gewässeruntersuchungen durch Kantone oder Wissenschaft Einzelstoffbelastungen entdeckt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf industrielle oder gewerbliche Quellen zurückgehen (Wüthrich et al. 2017).

Die vom Kanton Basel-Stadt und dem deutschen Bundesland Baden-Württemberg betriebene Rheinüberwachungs-Station in Weil am Rhein wurde im Jahre 2012 mit einer modernen hochauflösenden Spurenanalytik ausgestattet. Sie erlaubt es, hunderte von organischen Einzelstoffen zu quantifizieren. Schätzungsweise 20% der anthropogenen organischen Stofffracht geht auf industrielle Abwässer zurück. Zeigt sich, dass aus einem Betrieb hohe Stofffrachten in den Rhein gelangen, kann dieser entsprechende Massnahmen an der Quelle ergreifen – etwa eine Verbrennung oder Nassoxidation kritischer Teilströme seines Abwassers (Mazacek et al. 2016). Nicht immer sehen sich die Verursacher aber in der Lage, ihre Prozesse und Verfahren anzupassen, so dass die Einleitungen unvermindert anhalten (Rheinüberwachungs-Station 2016). In anderen Fällen lässt sich ein Verursacher erst gar nicht ermitteln.

Abb. 02-05

Nicht nur am Rhein, auch im Einzugsgebiet des Genfersees konnten Einleiter problematischer Stoffe identifiziert werden. Im Wallis passten die kantonalen Vollzugsbehörden auf Basis solcher Messungen die Einleitbewilligungen an und verpflichteten die verursachenden Betriebe zur Entfernung besonders kritischer Inhaltsstoffe aus ihrem Abwasser.

Reduktion der von der Industrie verursachten Frachten an Pflanzenschutzmitteln in der Rhone durch die gesonderte Entsorgung von Produktionsabwässern, in kg pro Jahr (Bernard et al. 2018)



Die öffentlichen Kanalisationen und Kläranlagen dürfen in ihrer Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigt werden, auch nicht durch industrielle und gewerbliche Abwässer, die in verschiedenen Branchen eine hohe Toxizität aufweisen. Normalerweise müssen toxische Inhaltsstoffe daher vor der Ableitung in die öffentliche Kanalisation eliminiert werden, etwa durch eine Vorbehandlung besonders belasteter Teilströme im Betrieb (VOKOS 2010). In der ganzen Schweiz sind zahlreiche solcher Vorbehandlungsanlagen in Betrieb.

Grundsätzlich sind Einträge unbekannter Chemikalien in die Gewässer unerwünscht, denn weder ihre Auswirkungen auf die Fluss- und Seeökologie noch ihre Bedeutung für die Sicherheit des Trinkwassers lassen sich abschätzen. Auch wenn sich manche Einzelstoffe identifizieren lassen, fehlt es oft an Daten über deren Umwelt- und Gesundheitswirkung.

2.4 **Die Zukunft**

2.4.1 **Einfluss des Klimawandels**

Der Klimawandel wird die Eigenversorgung von Industrie und Gewerbe nur wenig beeinflussen, solange die Eigenförderung – etwa wegen vermehrten Kühlbedarfs – nicht wesentlich zunimmt. Die Entnahmekonzessionen für Grundwasser sollten so bemessen sein, dass auch in längeren Trockenphasen keine Übernutzung resultiert. Eine Erhöhung der Grundwassertemperatur könnte allerdings dazu führen, dass mehr Wasser für die gleiche Kühlleistung entzogen werden muss. Da die meisten Konzessionen aber bisher nicht ausgeschöpft werden, sollte genügend Spielraum für solche Mehrentnahmen bestehen.

Der Einfluss des Klimawandels relativiert sich auch dadurch, dass industrielle und gewerbliche Anwendungen weniger abhängig von Wasser sind als Haushalte. Viele Anwendungen benötigen kein Trinkwasser, sondern kommen mit Wasser geringerer Qualität aus (etwa Waschprozesse). Auch kann in industriellen und gewerblichen Betrieben gering belastetes Abwasser aufbereitet und wiederverwendet werden. Manche Prozesse kommen sogar ganz ohne Wasser aus, etwa durch Einsatz flüssigen Kohlendioxids als Lösungsmittel.

Kritische Situationen in Bezug auf die Bereitstellung von Prozesswasser sind also höchstens lokal begrenzt zu befürchten. In jedem Fall sollte aber eine zusätzliche Abhängigkeit von Oberflächen- und Grundwasser für Kühlzwecke vermieden werden. Bereits heute dürfte der grösste Teil der von Industrie und Gewerbe in Eigenversorgung genutzten Wassers der Gebäude- und Prozesskühlung dienen (siehe Kapitel 4).

Abwasserseitig dürften auf Industrie und Gewerbe durch den Klimawandel zusätzliche Herausforderungen zukommen. Bei verminderter Wassermenge in den Fliessgewässern erhöht sich der Anteil von Abwasser und damit auch die Konzentration von Schadstoffen, die via industrielle oder kommunale Kläranlagen in die Flüsse gelangen. Zwar wird sich dieses Problem durch die Einführung weiterer ARA-Reinigungsstufen teilweise entschärfen. Der Klimawandel wird aber zusätzlichen Druck der Unter-

lieger auslösen, sich bei der Vermeidung und Eliminierung von Schadstoffen dem EU-Standard anzunähern (siehe Kapitel 9).

2.4.2 Einfluss sozioökonomischer Veränderungen

Die Vergangenheit hat gezeigt, dass der Wasserbedarf der Wirtschaft durch Verlagerung wasserintensiver Betriebe markant zurückgegangen ist. Dieser Prozess könnte sich weiter fortsetzen. Denkbar ist aber auch, dass zunehmende Wasserknappheit in umliegenden Ländern Firmen dazu bewegt, sich an wasserreichen Standorten in der Schweiz neu niederzulassen. Einerseits ist die Schweiz mit ihren günstigen Bedingungen für grosse Kühlkapazitäten (Seen, Grundwasser) attraktiv etwa für Grossrechenzentren (siehe Kapitel 4). Aber auch bei Ansiedlungen von Unternehmen der Pharmaindustrie ist eine reichliche Versorgung mit günstigem, sauberem und kühlem Grundwasser ein wichtiges Kriterium (Biogen) (Schläfli 2016). Bei der Eigenversorgung fallen lediglich Konzessionsgebühren an, nicht wie in anderen Ländern üblich mengenabhängige Entnahmeentgelte.

Die gesetzlichen Anforderungen an Industrie und Gewerbe bezüglich Vermeidung, Reinigung und Einleitung von Produktionsabwasser werden sich absehbar verschärfen. Einerseits könnte sich diese Entwicklung durch Funde von für die Gewässerökologie oder die Trinkwassergewinnung kritischen Schadstoffen in den Fliessgewässern beschleunigen. Andererseits dürften auch die Unterlieger an Rhein, Rhone und Ticino darauf dringen, dass Schweizer Unternehmen die EU-Bestimmungen zur Reinhaltung der grenzüberschreitenden Gewässer respektieren.

Mit Einführung weiterer Reinigungsstufen in den grösseren Kläranlagen werden sich die Konzentrationen auch von industriellen und gewerblichen Chemikalien in den Gewässern vermindern. Die zusätzlichen Reinigungstechniken machen die Abwasserreinigung aber nicht nur leistungsfähiger, sondern ggf. auch anfälliger auf spezielle Schadstoffe. Dies könnte bei Indirekteinleitern in Zukunft Anpassungen der Vorbehandlung erfordern.

Abb. 02-06

Zusätzliche Reinigungsstufen in den Kläranlagen (hier die Ozonung in der ARA Neugut) verbessern auch den Abbau von Chemikalien aus Industrie und Gewerbe
(Quelle Gujer AG)



2.5 Zielkonflikte und Synergien

2.5.1 Mit anderen Nutzungen

Die Bewilligungspraxis für industrielle und gewerbliche Grundwasserentnahmen sollte sicherstellen, dass andere Nutzungen, insbesondere die Trinkwassergewinnung, unbeeinflusst bleiben. Diese Bedingung muss auch in längeren Trockenperioden erfüllt sein. Bisher sind in der Schweiz keine Fälle öffentlich bekannt geworden, in denen private Wasserentnahmen andere Wassernutzungen beeinträchtigt hätten.

Kritischer sind die Auswirkungen industrieller und gewerblicher Abwasserleitungen zu beurteilen. Die von dort in die Flüsse und Seen gelangenden Schadstoffe führen zusammen mit Mikroverunreinigungen aus dem Siedlungsgebiet zu teils erheblichen Belastungen von Trinkwasserfassungen. Dies ist besonders dort der Fall, wo der Anteil an Abwasser in einem Fließgewässer hoch und der Abstand der ARA von der nächsten Trinkwasserfassung gering ist. Solche kritischen Situationen sollen mit der Einführung zusätzlicher Reinigungsstufen bei den betroffenen ARAs entschärft werden.

2.5.2 Mit den Zielen des Gewässerschutzes

Viele industriell und gewerbliche genutzte Grundwasservorkommen in den grossen Flusstälern, im Mittelland und in den Alpen stehen in dauerndem Austausch mit den Fließgewässern. Entnahmen aus dem Grundwasser können sich daher auch auf die Wassermenge in Flüssen und Feuchtgebieten auswirken. Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) sieht ausdrücklich vor, dass Effekte auf verbundene Oberflächengewässer ausgeschlossen sind (Artikel 34 GSchG). Speisungen von Fließgewässern und Feuchtgebieten aus dem Grundwasser werden in zukünftig trockeneren Sommern an Bedeutung gewinnen. Unklar ist, in welchem Mass dies die Verfügbarkeit von Grundwasser einschränken könnte. Angesichts der grossen bisher ungenutzten Potenziale für einen effizienteren Einsatz von Wasser in Industrie und Gewerbe (Kreislaufführung, wasserfreie Verfahren) sollte sich deren Wasserbedarf ohne allzu grosse Anstrengungen deutlich reduzieren lassen.

Auch wenn sich der Einfluss von Schadstoffen aus Abwassereinleitungen von Industrie und Gewerbe auf die Gewässerökologie mangels Daten heute nur ungenau abschätzen lässt, ist eine Verringerung der Einträge anzustreben. Hierfür stehen Massnahmen im Produktions- und Verarbeitungsprozess, Teilstrombehandlungen und Technologien zum Fernhalten besonders kritischer Chemikalien vom Abwasserstrom zur Verfügung.

2.6 Potenzielle Lösungsansätze

2.6.1 Wasserbezug von Industrie und Gewerbe

Noch treten beim Wasserbezug von Industrie und Gewerbe aus privaten Konzessionen (Eigenversorgung) nur selten Konflikte mit anderen Nutzungen oder dem Gewässerschutz auf. Dennoch sollte generell ein effizienter Umgang mit den Wasserressourcen angestrebt werden, sei es durch Differenzierung der nötigen Wasserqualität, sei es durch Reduzierung der eingesetzten Mengen.

Nicht jeder Wasseranwendung erfordert Trinkwasserqualität. Viele Fertigungsprozesse – etwa blosse Reinigungsvorgänge – kommen auch mit recyceltem Abwasser aus, wie es betriebsintern durch Kreislaufprozesse bereitgestellt werden kann. In den Niederlanden nutzt die chemische Industrie hochgereinigtes Abwasser von Kläranlagen, die mit zusätzlicher Reinigungstechnik und einem Membransystem ausgestattet sind (Majamaa et al. 2012). Eine weitere potenzielle Wasserressource für mindere Qualitätsansprüche sind Grundwasserfassungen der öffentlichen Versorgung, die wegen Schutzzonenproblemen stillgelegt werden. Diese eignen sich besonders gut für Kühlungsanwendungen, so dass keine zusätzlichen Vorkommen erschlossen werden müssen. Schliesslich besteht grosses Potenzial bei der Nutzung von Regenwasser, das auf die befestigten Flächen und Dächer der Industriegelände niedergeht. Diese Ressource wird praktisch noch gar nicht berücksichtigt (Freiburghaus 2009).

Abb. 02-07



Wo Prozesswasser im Kreislauf geführt wird, vermindern sich Abwasseranfall als auch Wasserbedarf
(Quelle: Oliver Kern, H2O GmbH)

Im Lebensmittel- und Pharmasektor ist Trinkwasserqualität für bestimmte Prozesse unabdingbar, und viele Betriebe greifen dafür auf eigene Grundwasserfassungen zurück. Auch wenn Eigenversorgung kostengünstiger sein mag, besteht beim Bezug aus dem öffentlichen Trinkwassernetz automatisch eine Qualitätsgarantie. Auf eine kostspielige Eigenüberwachung der Wasserqualität können die Unternehmen dadurch verzichten.

2.6.2 **Industrielles und gewerbliches Abwasser**

In seinem Bericht «Massnahmen an der Quelle zur Reduktion der Mikroverunreinigungen in den Gewässern» in Erfüllung des Postulats 12.3090 Hêche hält der Bundesrat fest, dass Massnahmen an der Quelle zur Reduktion von Stoffeinträgen in die Gewässer sinnvoll sind und verstärkt werden sollen. Unter anderem soll das Wissen zu Stoffeinträgen aus Gesundheitsbetrieben sowie Industrie und Gewerbe verbessert und Massnahmen zu deren Verminderung geprüft werden (Bundesrat 2017).

Dazu wird vom VSA aktuell in Zusammenarbeit mit kantonalen Fachstellen, Fachverbänden und der Privatwirtschaft eine Situationsanalyse zu Stoffeinträgen aus Industrie und Gewerbe erarbeitet.

Mögliche Massnahmen, die der Bericht des Bundesrates nennt:

- Prüfung der Einleitungsanforderungen an industrielle und gewerbliche Betriebe. Eine Übernahme des EU-Standards der «Besten verfügbaren Technik» (BVT) ist zwar nicht vorgesehen, ergänzende Anforderungen sollen aber bei nachgewiesenen Problemen in Abstimmung mit den betroffenen Branchen festgelegt werden
- Effizientere Überwachung der Einleitungsanforderungen, besonders bei der Kontrolle von Ablaufkonzentrationen
- Prüfung von Verboten oder Anwendungsbeschränkungen für besonders gewässergefährdende Chemikalien in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)
- Prüfung von Fördermitteln des Bundes für die Entwicklung von umweltschonenden Ersatzstoffen, etwa bei Bioziden und Industriechemikalien
- Prüfung von Fördermitteln des Bundes für die Entwicklung neuer, kosteneffizienter und effektiver Verfahren zur Behandlung von industriellem oder gewerblichem Abwasser
- Prüfung von Fördermitteln des Bundes für die Entwicklung von Umwelttechnologien in Betrieben, die sich zur Anwendung über den Stand der Technik hinausgehender Verfahren verpflichten.

Hierzu zählen z.B. abwasserfreie Produktionsverfahren, geschlossene Kreisläufe für Prozesswasser (Stiefel 2017) oder bei besonders kritischen Produktionen (Pestizide, Pharmazeutika, Mikroorganismen) nach aussen abgeschlossene Produktionseinheiten (Containment) (Bittermann 2018).

2.7 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- Klärung der nach wie vor unbefriedigenden Datenlage bei den von Industrie und Gewerbe genutzten Wassermengen (Menge Prozesswasser, Menge Kühlwasser, Qualitätsansprüche), wichtig für Planungssicherheit und Einzugsgebietsmanagement
- Verbesserung des Wissens über in grossem Umfang verwendete Stoffe und deren ökotoxikologische Relevanz (Persistenz, Löslichkeit, Toxizität, etc.)
- Ermittlung des Potenzials von Kreislaufsystemen (Wassereffizienz und Abwasservermeidung) in industriellen und gewerblichen Prozessen, idealerweise abwasserfreie Produktionsverfahren
- Potenzial der Abtrennung kritischer Teilströme vom Abwasser und deren separate Entsorgung (z.B. Verbrennung von Abwasser der Pestizidherstellung bei Lonza im Wallis).

2.8 **Literatur**

BAFU (2014)

[Grundlagen für die Wasserversorgung 2025](#)

Bern, 116 Seiten

Bernard , M. et al. (2018)

[Micropolluants dans les eaux du Rhône amont](#)

Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique – campagne 2017
Seiten 127-144

Bittermann, P. (2018)

[REACH verstärkt Bedarf nach Containment](#)

Achema-Trendbericht
Chemie-Technik 09.02.2018

Braun, C. et al. (2014)

[Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe](#)

Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen
Bericht im Auftrag des BAFU, BMG Engineering AG, Schlieren

Braun, C. et al. (2015)

[Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe. Gesetzgebung und Vollzug in ausgewählten EU-Staaten](#)

Bericht im Auftrag des BAFU
BMG Engineering, Schlieren

Bundesrat (2017)

[Massnahmen an der Quelle zur Reduktion der Mikroverunreinigungen in den Gewässern](#)

Bericht in Erfüllung des Postulats 12.3090 Hêche vom 16.06.2017

Freiburghaus, M. (2009)

Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft
gwa No. 12, Seiten 1001 – 1009

Freiburghaus, M. (2015)

Wasserverbrauch: Sinkender Wasserabsatz im Schweizer Haushalt
Aqua & Gas No. 3, Seiten 72 – 79

IKSR (2017)

[Mikroverunreinigungen im Rheineinzugsgebiet](#)

Bericht No. 246, Koblenz

Kanton Wallis (2008)

[Leitlinie der Gruppe «Strategie Mikroverunreinigungen Wallis»](#)

Sion, 7 Seiten

Majamaa, K. et al. (2012)

[Industrial water reuse with integrated membrane system increases the sustainability of the chemical manufacturing](#)

Desalination and Water Treatment 18, Seiten 17 – 23

Mazacek, J. et al. (2016)

[Vom Unfall zur präventiven Überwachung – Rheinüberwachungs-Station \(RÜS\)](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 66 – 75

Rheinüberwachungs-Station (2016)

[Jahresbericht 2016, Teil A](#)

Basel, 33 Seiten

Ruff, M. et al. (2013)

[20 Jahre Rheinüberwachung](#)

Aqua & Gas No. 5, Seiten 16 – 25

Schärer, M. (2018)

Stoffeinträge aus Industrie- und Gewerbeabwasser in Gewässer, Sicht des Bundesamts für Umwelt
Referat am VSA-Jahresanlass des CC Industrie und Gewerbe, 29.11.2018

Schläfli, H.-P. (2016)

[Im Solothurner Wasserschloss gibt es Trinkwasser in unerschöpflichen Mengen](#)

Solothurner Zeitung vom 05.09.2016

Statistik Basel-Landschaft (o. J.)

[Wasserstatistik 2018](#)

Liestal

Stiefel, R. (2017)

[Die Wasserwende in der Prozesswassernutzung](#)

Abwasserrecycling: Technologien und Prozesswassermanagement Springer Vieweg, Wiesbaden, 225 Seiten

VOKOS (2010)

[Sachplan Siedlungsentwässerung der Kantone Bern und Solothurn](#)

Prioritäre Massnahmen für einen nachhaltigen Gewässerschutz

Regierungsrat des Kantons Bern und Regierungsrat des Kantons Solothurn (Hrsg.) 139 Seiten

VSA (2019)

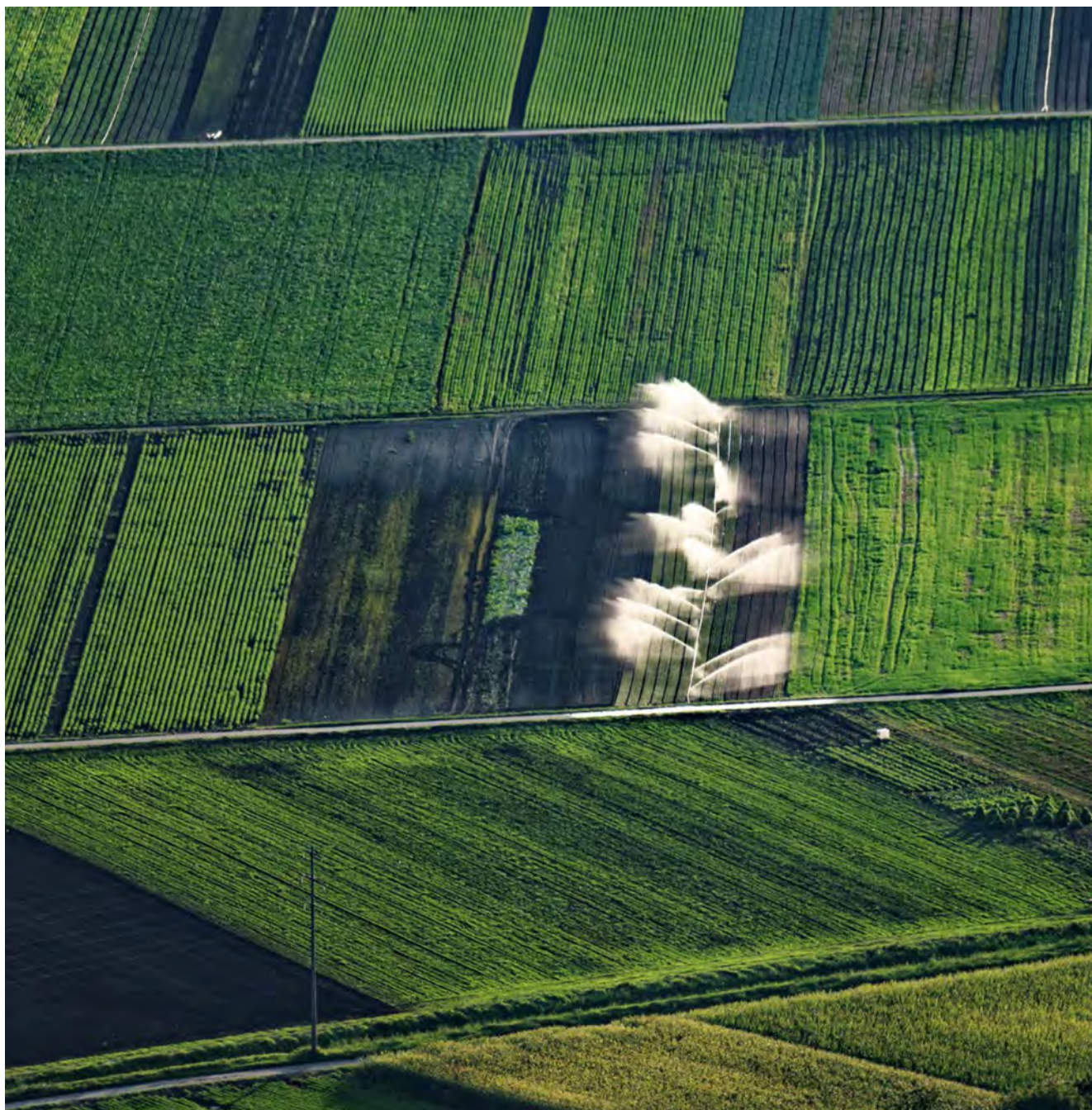
Leitfaden Aquakuluranlagen – Teil 1 – Vernehmlassungsvorlage
Glattbrugg, 53 Seiten

Wüthrich, R. et al. (2017)

[Mikroverunreinigungen in Abläufen von Abwasserreinigungsanlagen](#)

Suche nach relevanten Emissionsquellen. Ergebnisse der Messkampagne 2016
Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen (Hrsg.), 181 Seiten

Kapitel 3 **Landwirtschaftliche Bewässerung**



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Martin Barben, Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto © Reportair, 2013

Fachliche Begleitung **Ruth Badertscher, Jan Béguin, Daniel Felder, Michael Zimmermann** alle BLW, **Jürg Fuhrer**

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Visuelle Gestaltung und Layout **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

3 Landwirtschaftliche Bewässerung

Inhaltsverzeichnis

- 3.1 Aktuelle Nutzung von Gewässern für die Bewässerung
 - 3.1.1 Fließgewässer
 - 3.1.2 Seen
 - 3.1.3 Grundwasser

- 3.2 Einfluss der Bewässerungsnutzung auf die Gewässer
 - 3.2.1 Fließgewässer
 - 3.2.2 Seen
 - 3.2.3 Grundwasser

- 3.3 Die Zukunft
 - 3.3.1 Auswirkung des Klimawandels auf die Bewässerung
 - 3.3.2 Sozioökonomische Veränderungen und Bewässerung

- 3.4 Zielkonflikte
 - 3.4.1 Zielkonflikte mit anderen Gewässernutzungen
 - 3.4.2 Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz

- 3.5 Potenzielle Lösungsansätze
 - 3.5.1 Anpassung der Bewässerungslandwirtschaft an künftige Bedingungen
 - 3.5.2 Notmassnahmen in extremen Hitze- und Trockenphasen

- 3.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- 3.7 Literatur

Für einen wesentlichen Ausbau der Bewässerung fehlt es vielerorts an ausreichenden Wasservorkommen

In der Schweiz sind über 95 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche nicht auf künstliche Bewässerung angewiesen, hier reichen die natürlichen Niederschläge sogar in trockenen Jahren aus. Wirtschaftlich lohnend ist eine Bewässerung vor allem bei Gemüse, Beeren, Obst und Kartoffeln (bewässerungswürdige Kulturen). Da die Gemüseanbauflächen stark zunehmen (+25% zwischen 2010 und 2016), steigt auch die Nachfrage nach Bewässerungswasser. Der Klimawandel wirkt sich dabei doppelt aus: Höhere Temperaturen und trockenere Böden erhöhen den Wasserbedarf der Kulturen, zugleich geht besonders im Sommer das nutzbare Dargebot an Oberflächen- und Grundwasser zurück. Im trockenen Sommer und Herbst 2018 mussten einige Kantone Entnahmeverbote aussprechen. Dementsprechend sollte die Fläche der bewässerten Kulturen möglichst nicht weiter zunehmen und der Wasserbedarf der Pflanzen mit sparsamen Methoden gedeckt werden. Ausserdem kann der Wassereinsatz durch die Wahl trocken- und hitzeresistenter Sorten und wasserhaltende Bodenpflege reduziert werden. Für extreme, langanhaltende Trockenperioden, in denen die Gewässer kein Bewässerungswasser bereitstellen können, sollten die Betriebe über eine Trockenheitsversicherung verfügen. Diese schützt die Landwirte vor Ertragsausfällen, aber auch die Gewässer vor Übernutzung.

Résumé chapitre 3 irrigation agricole

En Suisse, plus de 95 % des terres agricoles ne dépendent pas de l'irrigation artificielle et les précipitations naturelles sont suffisantes, même les années sèches. L'irrigation est économiquement intéressante, en particulier pour les légumes, les baies, les fruits et les pommes de terre (cultures irrigables). Comme les superficies de cultures maraîchères sont en forte croissance (+25% entre 2010 et 2016), la demande en eau d'irrigation augmente également. Le changement climatique a un double effet: Des températures plus élevées et des sols plus secs augmentent les besoins en eau des cultures, tandis que dans le même temps, la réserve en eau de surface et en eau souterraine utilisable diminue, surtout en été. Au cours de l'été et de l'automne secs de 2018, certains cantons ont dû émettre des interdictions de prélèvement. En conséquence, la superficie des cultures irriguées ne doit pas augmenter davantage et les méthodes d'irrigation pour satisfaire le besoin hydrique des plantes doivent être plus économes. De plus, l'utilisation de l'eau peut être réduite en choisissant des variétés résistantes à la sécheresse et à la chaleur et

en utilisant le sol avec précaution afin qu'il retienne plus d'eau. Pour les périodes de sécheresse extrêmes et prolongées au cours desquelles l'eau d'irrigation ne peut plus être fournie, les exploitations agricoles devraient avoir une assurance sécheresse. Cela protège les agriculteurs contre les pertes de rendement, mais aussi les plans d'eau contre la surutilisation.

Riassunto capitolo 3 irrigazione agricola

In Svizzera, oltre il 95% della superficie agricola non dipende dall'irrigazione artificiale e le precipitazioni naturali sono sufficienti anche nelle annate secche. L'irrigazione è economicamente conveniente, soprattutto per gli ortaggi, le bacche, la frutta e le patate (colture degne di irrigazione). Poiché le superfici coltivate a ortaggi sono in forte crescita (+25% tra il 2010 e il 2016), aumenta anche la domanda di acqua per l'irrigazione. Il cambiamento climatico sta avendo un effetto doppio: Temperature più elevate e terreni più asciutti aumentano il fabbisogno idrico delle colture, mentre allo stesso tempo diminuisce l'apporto utilizzabile di acque di superficie e di falda, soprattutto in estate. Durante il periodo di siccità dell'estate e autunno 2018, alcuni cantoni hanno dovuto emanare divieti di prelievo. Di conseguenza, la superficie delle colture irrigate non dovrebbe aumentare ulteriormente e dei metodi d'irrigazione più economici dovranno soddisfare il fabbisogno idrico delle piante. Inoltre, l'uso dell'acqua può essere ridotto scegliendo varietà più resistenti alla siccità così come al calore e il suolo deve essere curato al fine di trattenere più d'acqua. Per periodi di siccità estremi e prolungati in cui le acque non possono fornire l'acqua per l'irrigazione, le aziende agricole dovrebbero avere un'assicurazione contro la siccità. Questo protegge gli agricoltori dalle perdite di rendimento, ma protegge anche i corpi idrici dall'uso eccessivo.

3 Landwirtschaftliche Bewässerung

3.1 Aktuelle Nutzung von Gewässern für die Bewässerung

In der Schweiz sind über 95 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche nicht auf eine zusätzliche Bewässerung angewiesen, hier reichen die natürlichen Niederschläge aus. Dies gilt – mit Ausnahme von extremen, lang anhaltenden Dürrephasen – auch für trockene Jahre. Zwar liessen sich bei den meisten Kulturen durch zusätzliche Wassergaben potenziell höhere Erträge erzielen (bewässerungsbedürftige Kulturen). Wirtschaftlich sinnvoll ist die Bewässerung aber nur beim Anbau von Produkten, deren Zusatzertrag deutlich grösser ist als der Aufwand für Wasserbeschaffung und Wasseranwendung (bewässerungswürdige Kulturen). Nur unter diesen Bedingungen werden Bewässerungsinfrastrukturen von Bund und Kantonen finanziell unterstützt (siehe Kasten).

Rechtsgrundlagen Bewässerung

Art. 76 der Bundesverfassung regelt die Erhaltung und Erschliessung der Wasservorkommen. Demnach setzt der Bund den rechtlichen Rahmen für Wassernutzungen, die Kantone sind für den Vollzug verantwortlich. Das Gewässerschutzgesetz (Art. 29 GSchG) sieht für Wasserentnahmen aus öffentlichen Gewässern eine Bewilligung vor, auch für die landwirtschaftliche Bewässerung. Ausgenommen sind geringe Mengen (Gemeingebrauch). Die entsprechenden Bewilligungen werden von den Kantonen erteilt, einige Kantone kennen auch eine Konzessionspflicht (z.B. Zürich).

Wird Wasser aus Fließgewässern oder Seen entnommen, so sind flussabwärts die in Art. 31-36 GSchG festgesetzten Restwassermengen einzuhalten. Unter anderem muss dabei auf die für eine freie Fischwanderung nötige Wassertiefe geachtet werden (Art. 31 Abs. d GSchG). Das Selbstreinigungsvermögen und das Gedeihen der typischen Lebensgemeinschaften muss gewährleistet sein (Anh. 1, Ziff. 12, Abs. 3 GSchV). Bei Seen dürfen durch Wasserentnahmen die natürlichen Temperaturverhältnisse und die Lebensbedingungen für Organismen im Uferbereich nicht nachteilig verändert werden (Anh. 1, Ziff. 13, Abs. 3 GSchV). Für Grundwasser gilt, dass den Vorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen werden darf als ihnen zufließt, kurzzeitig und vorübergehend ist eine Absenkung des Grundwasserspiegels aber gestattet (Art. 43 GSchG).

In Notlagen, etwa bei längerer Trockenheit, können befristete Entnahmen bewilligt werden, auch wenn dadurch die Restwassermenge unterschritten wird (Art. 32 GSchG). Meist ermächtigen die Kantone die Gemeinden, solche Ausnahmbewilligungen auszusprechen, wobei in der Regel die Zustimmung der Fischereiaufsicht einzuholen ist. Die Kantone können bei

niedrigen Wasserständen allerdings Entnahmen aus Fließgewässern und Seen auch einschränken oder ganz untersagen.

Im Rahmen der Strukturverbesserungs-Verordnung (SW) kann der Bund Bewässerungsprojekte fördern, wenn das Vorhaben sinnvoll (Bewässerungsbedürftigkeit) und wirtschaftlich ist (Bewässerungswürdigkeit), wenn genügend Wasserressourcen verfügbar sind (Bewässerungsmachbarkeit) und wenn das Wasser effizient verwendet wird (Art. 14 Abs. 1 Bst. c SW). Ziel sind die Ertrags-sicherung und im Rahmen der Anpassung an die Marktnachfrage auch die Ertragssteigerung und Qualitätssicherung (Art. 14 Abs. 1 Bst. c SW). Förder-gelder können sowohl für die Erstellung als auch für die Instandhaltung von Bewässerungsinfrastruktur gesprochen werden.

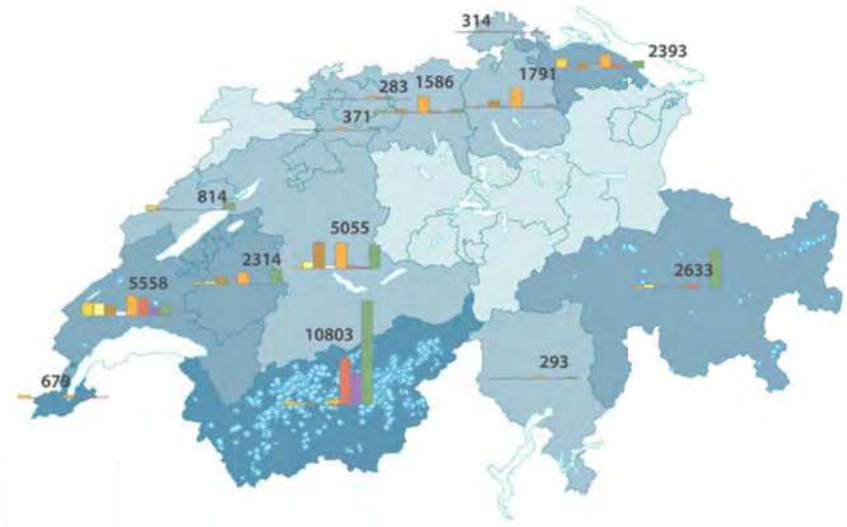
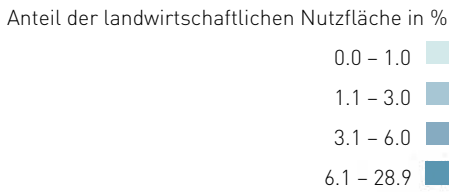
Bewässerte Flächen

Die jüngsten landesweiten Daten zur Bewässerung stammen aus einer Zusatzerhebung zur Landwirtschaftlichen Betriebszählung des Bundes-amtes für Statistik und beziehen sich auf das Jahr 2016. Die Angaben beruhen auf einer repräsentativen Stichprobe von 26% aller Betriebe und wurden auf die gesamte Anbaufläche hochgerechnet (BFS 2018a). Dem-nach wurden im Jahr 2016 schweizweit 32 788 ha bewässert. Mehr als ein Drittel davon entfiel auf Wiesen (vor allem traditionelle Bewässerung von Kunstwiesen und Dauergrünland im Berggebiet, 37.5%). Die bewässerte Fläche war 2016 etwas kleiner als 2010 (-3%). Dies ist auf die kühle und nasse Wit-terung des Sommerhalbjahres 2016 zurückzuführen, in dem der natür-liche Niederschlag für viele Kulturen ausreichte. Dies zeigt sich bei den bewässerten Flächen für Kartoffeln (-28%) und Obst/Beeren (-10%). Bei Gemüse hingegen, dessen Anbaufläche schweizweit gegenüber 2010 um rund einen Viertel ausgebaut wurde, nahm 2016 die bewässerte Fläche gegenüber 2010 trotz des kühlfeuchten Sommers zu (+10%). Für das Tro-ckenjahr 2018 wurden keine Zahlen erhoben.

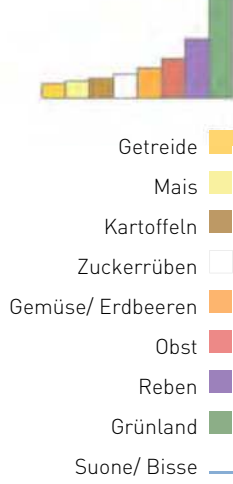
Die vom BFS auf Basis von Stichproben ermittelten aktuellen Zahlen zur bewässerten Fläche bestätigen weitgehend die vom BLW 2006 auf Basis einer Umfrage bei den Kantonen geschätzten Werte (Weber et al. 2007). Regelmässig bewässert wurden damals etwa 25 000 ha (ohne Wiesland). Während beim Anbau von Gemüse, Beeren, Obst und Kartoffeln die be-wässerten Flächen seither deutlich ausgebaut wurden, waren sie im Weinbau stark rückläufig (2006: 5 208, 2016: 1 879 ha).

Abb. 03-01

Bewässerung in der Schweiz 2010:
 Je dunkler die Einfärbung der Kantonsfläche,
 desto höher der Anteil der bewässerten Flächen
 (Lanz et al. 2014)



Bewässerte Flächen nach Kulturart



Wirtschaftlich lohnend ist eine Bewässerung in der Schweiz vor allem für Spezialkulturen wie Gemüse und Obst sowie Kartoffeln, und eingeschränkt für Mais und Zuckerrüben (Kriterium der Bewässerungsbedürftigkeit). Für den Kanton Waadt wurde auf Basis von Umfragen ermittelt, dass 94% der Gemüseflächen, 87% des Obstanbaus und 38% der Kartoffelfelder bewässert werden. In trockenen Sommern steigen die Anteile auf 97%, 88% und 43% der jeweiligen Anbaufläche (Mastrullo 2013). Es gibt aber markante regionale Unterschiede: im Kanton Thurgau werden nur gut 10% der Obstkulturen bewässert, Beeren- und Gemüsekulturen dagegen praktisch zu 100% (Hofer et al. 2017).

Das Beispiel des Kantons Thurgau zeigt auch, wie sehr der landwirtschaftliche Verbrauch witterungsgeprägt ist. Für Beerenkulturen ergaben Umfragen einen Wassereinsatz zwischen 650 m³/ha pro Saison in einem kühlfeuchten Sommer und 800 m³/ha in heissen und/ oder trockenen Jahren. Bei Obstkulturen variiert der Einsatz zwischen 50 und 250 m³/ha. Am stärksten witterungsgetrieben ist der Wassergebrauch im Gemüsebau: 500 m³/ha in einem kühlen Jahr stehen 950 m³/ha in einem Normaljahr und gar 1 500 m³/ha in einem Trockensommer gegenüber. Der Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft im Kanton Thurgau lässt sich aufgrund dieser Umfrage für ein Normaljahr insgesamt auf etwa 2 Mio. m³ abschätzen. In trockenen oder heissen Jahren steigt dieser Wert auf 3.4 Mio. m³. Im Vergleich dazu beläuft sich der rechnerische Bewässerungsbedarf nach Fuhrer für den Thurgau in einem Normaljahr auf 6.5 Mio. m³ (Hofer et al. 2017), in trockenen Jahren deutlich höher. Mit diesen Wassermengen könnten die Wasserdefizite auf allen Agrarflächen vollständig ausgeglichen werden (bei einer Bewässerungseffizienz von 60%, Tierfutteranbauflächen sowie Wiesen und Weiden nicht berücksichtigt) (Hofer et al. 2017).

Eingesetzte Wassermengen

Zu aktuellen Entnahmen aus den Schweizer Gewässern für Bewässerungszwecke liegen nur spärliche Daten vor. Eine landesweite Übersicht, aus welchen Gewässern in welcher Menge Wasser genutzt wird, existiert nicht, denn die Entnahmemengen werden von den Kantonen höchstens in Einzelfällen erfasst. Laut Zusatzerhebung des BFS für das Jahr 2016 nutzten 38.7% der 6 831 bewässernden Betriebe Oberflächengewässer (zu zwei Dritteln Bäche/ Kanäle, zu einem Drittel Flüsse/ Seen) und 40.6% Grundwasser. 2 283 Betriebe bezogen Bewässerungswasser von der Trinkwasserversorgung (BFS 2018a).

Diese Angaben beziehen sich lediglich auf die Anzahl der Betriebe, über die Mengenverhältnisse sind keine Aussagen möglich. Eine schweizweite Auswertung der kantonalen Daten zu Bewässerungskonzessionen (Höchstmengen), Entnahmebeschränkungen in Trockenjahren und bewilligten Bewässerungsprojekten (Bezugsmengen) wurde bisher nicht unternommen, wäre aber zielführend. Insbesondere liesse sich so abschätzen, ob die erteilten Konzessionen für den Bedarf der Landwirtschaft ausreichend sind. So liegen im Kanton Thurgau die für die Bewässerung konzessionierten Entnahmemengen in heissen Sommern unter dem in Umfragen ermittelten Bewässerungsbedarf (Hofer et al. 2017).

Im Prinzip lässt sich die für eine optimale Wasserversorgung der Kulturen benötigte Menge anhand der bewässerten Flächen ableiten. Der sogenannte Bewässerungsbedarf einer gegebenen Hektare Landwirtschaftsfläche ist abhängig von der geografischen Region, der Bodenbeschaffenheit, der angebauten Kultur und der jeweiligen Witterung. Grundlagen für die Abschätzung der entsprechenden Bewässerungsmengen liegen für die gesamte Schweiz vor (Smith et al. 2015). Um den so ermittelten Bewässerungsbedarf zu decken, wären in einigen Regionen erhebliche Entnahmen aus den Gewässern nötig. Abb. 03-02 zeigt, dass diese im Hitzesommer 2003 zum Teil über 25% des gesamten in den Fliessgewässern verfügbaren Wassers beansprucht hätten (Führer et al. 2014). Allerdings werden nicht alle Flächen mit Bewässerungsbedarf auch tatsächlich bewässert, entweder weil der Aufwand unverhältnismässig gross ist oder lokal keine ausreichenden Wasservorkommen zur Verfügung stehen.

Bedarf vs. Dargebot in Prozent

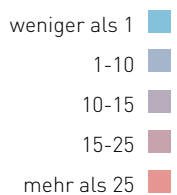


Abb. 03-02

Verhältnis zwischen rechnerischem Wasserbedarf (bei 70% Bewässerungseffizienz) und verfügbaren Wassermengen (Abfluss der Fließgewässer abzgl. Q₃₄₇). Werte für die Sommermonate Juni-August in der Referenzperiode 1981-2010 (oben) und im Trockenjahr 2003 (unten) (Fuhrer et al. 2014)



3.1.1 Fließgewässer

Die aus Bächen, Flüssen und Kanälen für die Bewässerung entnommenen Mengen lassen sich derzeit nicht beziffern. Dies sei exemplarisch am Beispiel des Kantons Bern dargestellt. Bekannt sind die kantonalen Konzessionen zur regelmässigen Entnahme von Bewässerungswasser aus Bächen und Flüssen, in welchem Mass sie ausgeschöpft werden, hingegen nicht. Zudem gibt es für die gleichen Fließgewässer zusätzliche gemeindliche Entnahmebewilligungen zur Überbrückung von Trockenphasen, für deren Meldung an den Kanton aber die Rechtsgrundlage fehlt (Gysel 2016). Im besten Fall – wenn die Gemeinden kooperieren – lassen sich also die konzessionierten und bewilligten Mengen bilanzieren. Wieviel Wasser aus den Fließgewässern tatsächlich entnommen wird, ist nicht festzustellen.

In anderen Kantonen stellt sich die Situation ähnlich dar. Der Kanton Zürich verlangt weder bei den konzessionierten Entnahmen aus Fließgewässern noch bei den Sonderbewilligungen durch die Gemeinden eine Messung der genutzten Mengen (Noll 2017). Auch im Kanton TG ist eine Mess- oder Meldepflicht für Entnahmen aus Oberflächengewässern in Wasserrechtsgesetz und Vollzugsverordnung nicht vorgesehen.

Trotz der Ungewissheit bezüglich genauer Entnahmemengen dürften Bäche und Flüsse die meistgenutzte Ressource für Bewässerungswasser darstellen. Die Entnahme ist technisch einfach und flexibel und auch mit temporären Pumpen möglich. Selbst wo Grundwasser zur Verfügung steht, werden Fließgewässer der technisch anspruchsvolleren Grundwassernutzung häufig vorgezogen.

Allerdings ist für die Landwirte eine Versorgung mit Bewässerungswasser aus Flüssen und Bächen nicht überall gewährleistet. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten wie an der Broye im Kanton VD, an der Bibera im Kanton FR oder im Zürcherischen Furttal können die lokalen Fließgewässer die benötigten Mengen auch in normalen Sommern nicht durchgehend bereitstellen. In den meisten Fällen werden Zuleitungen aus grösseren Gewässern ins Auge gefasst. An der Broye wird der Neuenburgersee genutzt, im Kanton FR der Schiffenensee, im Furttal ist eine Überleitung aus der Limmat geplant (siehe 3.3.2), im Thurgau ein zentrales Bewässerungssystem mit Bodenseewasser (Mannale 2019). Der Kanton Basel-Landschaft bewilligt gar keine Entnahmen mehr aus Oberflächengewässern, da die Jurabäche im Sommer häufig nur sehr wenig Wasser führen (siehe 3.2.1).

Wiesenbewässerung im Berggebiet

Die Bewässerung von Wiesen im Berggebiet zur Sicherung und Steigerung der Futtererträge findet sich vor allem in den inneralpinen Trockentälern der Kantone GR und VS. Sie hat z.T. eine lange Tradition und wird seit den 1980er Jahren wieder verstärkt genutzt (Marbot et al. 2013). Überwiegend greift die Wiesenbewässerung auf das Wasser von Bergbächen zurück, in Graubünden durch direkte Ableitung via Gräben und Rohrverteilungen, im Wallis durch Suonen oder Bisses, teils Jahrhunderte alte Kännel-, Graben- und Kanalsysteme, die das Wasser aus entlegenen Seitentälern zu den dorfnahe Wiesen leiten (Reynard 2002). Nur selten wird noch die zeitaufwendige und wasserintensive Berieselung eingesetzt, fast überall wird das Wasser mit Regnern verteilt.

Abb. 03-03



Wiesenbewässerung im Wallis
(Lanz 2018)

Konflikte um Restwassermengen in den genutzten Bächen sind bislang die Ausnahme gewesen, findet doch die Wiesenbewässerung im Frühsommer während der Schneeschmelze bei hohen Abflüssen statt. In Zukunft wird sich aber durch den Anstieg der Schneegrenze die Schneeschmelze vermindern und um einige Wochen früher eintreten. Dann werden Situationen wahrscheinlicher, in denen die Bäche zu wenig Wasser führen, um den Bewässerungsbedarf zu decken.

Zumindest in einigen Gebieten werden sich die Landwirte also mit geringeren Bewässerungsmengen für ihre Wiesen abfinden oder ihr Viehfutter ganz ohne Bewässerung produzieren müssen. Dazu kann z.B. die Wahl robuster Gräser und Kräuter beitragen, die auch bei Trockenheit gute Erträge bringen (Lüscher et al. 2019). Auch die Sömmerung des Viehs könnte wieder eine grössere Bedeutung erhalten, sind doch die hoch gelegenen Alpflächen tendenziell weniger von Trockenheit betroffen als Wiesen in Tal-lagen.

3.1.2 Seen

Aus vielen grösseren Seen der Schweiz wird Bewässerungswasser entnommen. Zum Teil geschieht dies mit einfachen Pumpen durch individuelle Betriebe. Wo sich intensiv bewirtschaftete Gebiete befinden, haben sich Bewässerungsgenossenschaften oder andere Gemeinschaftseinrichtungen zur Nutzung des Seewassers etabliert. Die nachstehende Tabelle listet einige Beispiele, ist aber nicht vollständig.

See	Lokalität	Kulturen	Quelle
Neuenburgersee	Broye-Gemeinden	Kartoffeln, Gemüse, Mais	
Schiffensee	Gurmels (Guschelmuth)	Kartoffeln, Gemüse (410 ha, 90 m ³ /h)	Hirschi 2006
Genfersee	Nyon	Gemüse, Erdbeeren	
Bielersee	Linkes Seeufer, Rebbau Twann-Ligerz		
Bodensee	Gesamte Uferlänge	Gemüse, Kartoffeln	Egli Engineering 2017 15 Konzessionen
Bodensee	Oberthurgau: Romanshorn, Egnach, Salmsach	Ackerbau	Mannale 2019
Murtensee	Grosses Moos, Galmiz	Gemüse, Gerste 2013: 212 000 m ³	Müller 2015

Tabelle 03-01

Beispiele für Entnahmen von Seewasser für Bewässerungszwecke

3.1.3 Grundwasser

In der Schweiz gilt Grundwasser bisher nicht als primäre Wasserressource für die landwirtschaftliche Bewässerung. So befassten sich die Forschungsprojekte von Agroscope im Rahmen des NFP 61 ausschliesslich mit der Nutzung von Oberflächengewässern. Die Erhebungen des Bundesamtes für Statistik zeigen indessen, dass 40.6% aller bewässernden Betriebe auf Grundwasser zurückgreifen (BFS 2018a). Das Forschungsprojekt Agri-Adapt hat kürzlich am Beispiel des Berner Seelands die Bewässerung mit Grundwasser eingehend analysiert (siehe 3.2.3).

Schon heute wird in einigen Regionen intensiv auf Grundwasser zurückgegriffen (siehe Abb. 03-04), vor allem in grossen Flusstälern und ehemaligen, heute drainierten Moor- und Feuchtgebieten. Beispiele sind das Thurgauer Thurtal, die Rhone-Ebene in Wallis und Waadt, das St. Galler Rheintal, die Magadino-Ebene im Tessin oder das Grosse Moos im Berner Seeland. Hier werden überwiegend Spezialkulturen wie Gemüse, Beeren und Obst bewässert sowie Kartoffeln und Zuckerrüben.

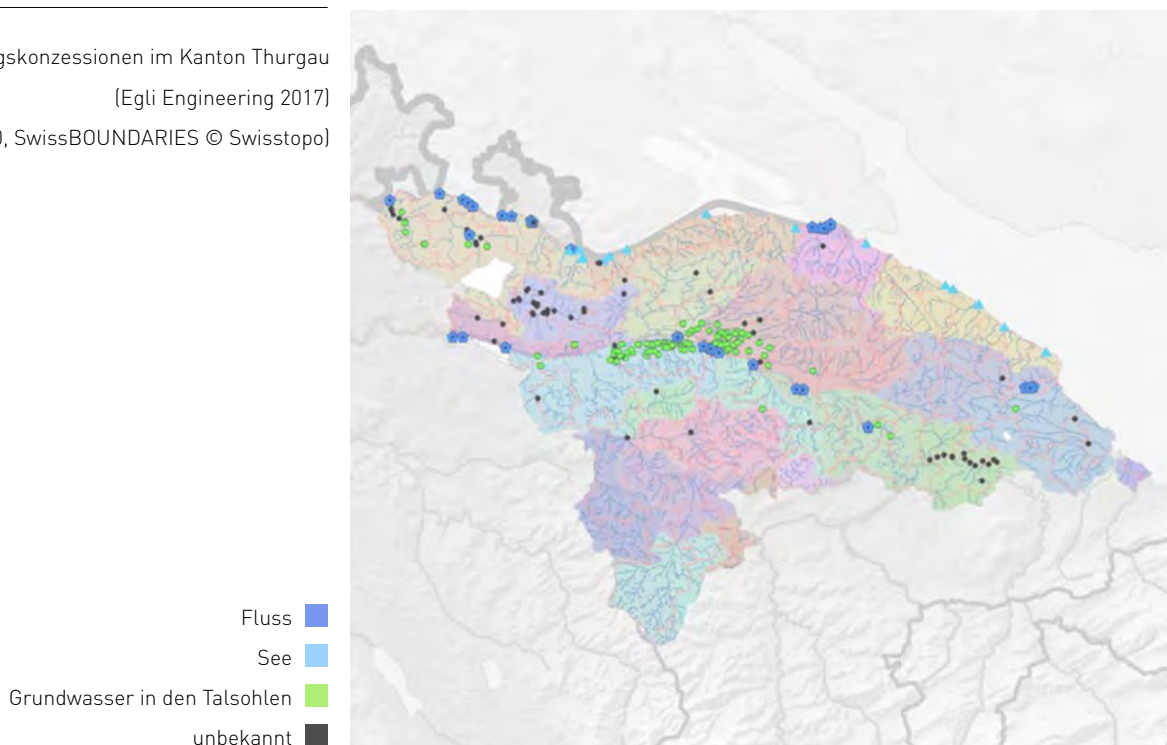
Grundwasserentnahmen sind stets bewilligungspflichtig, so dass die Kantone die konzessionierten Mengen kennen, nicht aber Menge und Zeitpunkt der tatsächlichen Nutzung. Eine schweizweite Zusammenstellung

der kantonalen Daten liegt bisher nicht vor. Das BAFU empfiehlt den Kantonen, zumindest für Regionen mit potenzieller Wasserknappheit Dargebot und Nutzung zu analysieren und dabei die Bewässerung einzubeziehen (Chaix et al. 2016).

Aussagekräftiger als Konzessionen sind die effektiv für die Bewässerung aus dem Grundwasser entnommenen Mengen. Darüber liegen nur dort Informationen vor, wo die Kantone entsprechende Regelungen vorsehen. Der Kanton ZH verpflichtet die Konzessionsberechtigten nicht nur zur Verbrauchsmessung, sondern auch zur Übermittlung der protokollierten Mengen (AWEL o. J.). Die grosse Mehrheit der Kantone sieht keine Mess- oder Meldepflicht vor, so dass eine Bilanzierung der effektiv für die Bewässerung genutzten Grundwassermengen derzeit nicht möglich ist.

Abb. 03-04

Bewässerungskonzessionen im Kanton Thurgau
 (Egli Engineering 2017)
 (DHM25/200, SwissBOUNDARIES © Swisstopo)



Für das Thurgauer Thurtal, wo die Bewässerung mit Grundwasser vor allem für den Kartoffelanbau von Bedeutung ist, wurde im Hitzesommer 2003 eine markante Absenkung der Grundwasserstände verzeichnet. Um die Rolle der Landwirtschaft dabei zu klären, wurde – auf Basis eines detaillierten Grundwassermodells – ein Abgleich von Bewässerungsmenge und verfügbaren Grundwasserressourcen unternommen. Da für das Thurtal weder zur bewässerten Fläche noch zu den eingesetzten Wasser-

mengen Daten vorliegen, musste der Wasserbedarf geschätzt werden. Würde die gesamte Ackerbaufläche mit 130 mm bewässert, wären in einem durchschnittlichen Sommer bei einer Nutzungseffizienz von 100% rund 800 000 m³ Grundwasser nötig (Gmünder 2017). Einerseits werden aber nicht alle Flächen bewässert, andererseits liegt die Bewässerungseffizienz in der Regel eher bei 60%, so dass 800 000 m³ eine realistische Bewässerungsmenge in Normaljahren sein dürfte. Ähnliche Mengen dürften im St. Galler Rheintal zum Einsatz kommen. Dort schätzt der Kanton, dass Gemüse- und Obstkulturen auf rund 1% der kantonalen Landwirtschaftsfläche (72 000 ha) mit Grundwasser bewässert werden (Kanton SG o. J.). In heissen, trockenen Sommern steigen die Entnahmen deutlich an.

3.2 Einfluss der Bewässerungsnutzung auf die Gewässer

Eine gut geplante und effiziente Bewässerung sollte in normalen Jahren keinen schädlichen mengenmässigen Einfluss auf die Gewässer haben. Um dies überall zu gewährleisten, ist vor allem in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung eine Gesamtplanung auf Ebene Einzugsgebiet unerlässlich (Chaix et al. 2016).

Extreme Witterungsbedingungen können die Situation deutlich verändern. In heissen trockenen Sommern wie 2003, 2015, 2018 und 2019 oder nach niederschlagsarmen Wintern wie 2011 kann die nutzbare Menge in Fließgewässern und Grundwasser zurückgehen. Da solche Bedingungen in der Regel mit stark erhöhter landwirtschaftlicher Nachfrage nach Wasser zusammenfallen, besteht die Gefahr von Interessenskonflikten. So mussten mehrere Kantone im Sommer 2018 Einschränkungen oder gar Verbote für Wasserentnahmen aussprechen (BAFU 2019).

Die Bewässerung kann auch qualitative Einflüsse auf Gewässer haben, z.B. die verstärkte Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffen in Grundwasser. Diese Effekte müssen bei der Planung von Bewässerungsprojekten ebenfalls berücksichtigt werden.

3.2.1 Fliessgewässer

Wird Fliessgewässern im Übermass Wasser entnommen, können die dort lebenden Organismen durch die Einschränkung des Habitats und die verminderte Strömung geschädigt werden. Reduzierte Abflüsse bedeuten auch höhere Wassertemperaturen, vor allem dort, wo das Gewässer nicht durch Vegetation beschattet wird. Zugleich erhöht sich in ARA-beeinflussten Gewässern der Anteil von Abwasser und damit die Schadstoffkonzentrationen. Um negative Folgen zu vermeiden, sieht die GSchV (Art. 33-41) Mindestrestwassermengen vor, d.h. bestimmte Abflüsse oder Pegel dürfen nicht unterschritten werden. Grossen Flüssen wie Rhein, Aare, Limmat, Rhone und Reuss kann in der Regel auch in heissen und abflussarmen Zeiten Wasser für die Bewässerung entnommen werden. Je kleiner ein Gewässer, desto höher ist seine Anfälligkeit gegen Niedrigwasser und desto schneller werden Entnahmegrenzen erreicht.

Um die Gewässer vor extremem Niedrigwasser zu bewahren, haben die Kantone unterschiedliche Verfahren und Massnahmen entwickelt, die bei grosser Hitze oder anhaltender Trockenheit implementiert werden. Dabei versucht man, die Wassernachfrage der Landwirtschaft so gut wie möglich zu berücksichtigen, zugleich aber vor allem die kleinen und mittleren Fliessgewässer zu schützen. Entnahmeverbote oder andere einschneidende Massnahmen sind dabei mitunter unvermeidlich. Das Vorgehen verschiedener Kantone wird unter 3.3.2 dargestellt.

Nicht überall kann den Fliessgewässern Bewässerungswasser entnommen werden. Ein Pilotprojekt des Kantons BL mit dem BAFU kam zu dem Schluss, dass im Kanton Basel-Landschaft aufgrund geringer Ergiebigkeit und hohen Nutzungsdrucks kein Wasser für die Bewässerung aus den Flüssen und Bächen mehr bereitgestellt werden kann. Landwirten, die ihre Kulturen bewässern wollen, wird empfohlen, in eigenen Speichern Wasserreserven anzulegen (BAFU 2017).

Da Grundwasser und Fliessgewässer oftmals in unmittelbarem Austausch stehen, kann die Entnahme von Grundwasser den Abfluss an der Oberfläche mindern. Dieser Zusammenhang wird z.B. durch das Grundwassermodell für das Thurgauer Thurtal abgebildet. Die Entnahme von Grundwasser für die Bewässerung vermindert dort im westlichen Abschnitt die Speisung der Thur-Binnenkanäle (Gmünder 2017).



Abb. 03-05

Für das Mittelland typisches spätsommerliches Abflussminimum in einem Nebenfliessgewässer: der Groppenbach im Oberaargau, ein Zufluss zur Rot aus dem Aargauischen (Von Wattenwyl 2015)

Zwar darf aus kleinen Bächen und Wiesengräben kein Bewässerungswasser entnommen werden, doch kann der Abfluss auch durch Grundwasserentnahmen reduziert werden.

3.2.2 **Seen**

In Seen dürfen die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht nachteilig verändert werden (Anh. 2 Ziffer 13 GSchV). Die Wasserentnahmen der Landwirtschaft aus den grossen Seen sind in normalen Jahren mengenmässig nicht bedeutend genug, um spürbare Einflüsse auf deren Ökologie zu haben. Trotzdem können Seen nicht als unbegrenzte Wasserreservoir betrachtet werden. Würde das gesamte heute im Bereich der Broye-Ebene für die Bewässerung genutzte Wasser dem Murtensee entnommen, würde sein Pegel um 12.4 cm sinken. Selbst im viel grösseren Neuenburgersee würde sich die Entnahme noch mit einem Minus von 1.4 cm bemerkbar machen (Führer et al. 2017). Belastbare Zahlen, bis zu welcher Menge Seen ohne Schaden Wasser entnommen werden kann, liegen derzeit nicht vor. In Extremsituationen mit grosser Hitze und Trockenheit vermindern sich die tolerierbaren Entnahmen, während die landwirtschaftliche Nachfrage steigt. Ohne Kenntnis der Belastbarkeit der Seen durch zusätzliche Entnahmen kann ihrer Übernutzung nicht wirksam vorgebeugt werden.

Bei regulierten Seen führen Entnahmen zunächst nicht zu einer Absenkung des Seespiegels, sondern zu einer kaum sichtbaren Verlangsamung des Durchflusses und einem verminderten Abfluss. Da bei mittleren Seen wie Hallwiler-, Baldegger- oder Sempachersee der Abfluss relativ gering ist, ist vor allem während Trockenperioden Vorsicht angebracht. Im August 2018 betrug der Abfluss dieser Seen nur noch wenige hundert Liter pro Sekunde (Sempachersee 170, Baldeggersee 140, Hallwilersee 770). Unter diesen Bedingungen könnten zusätzliche Wasserentnahmen die unterliegenden Bäche versiegen lassen und eine effektive Senkung des Seespiegels bewirken. Dies ist unerwünscht, weil dadurch ökologisch bedeutsame Uferzonen trockenfallen. Auch die Schifffahrt kann beeinträchtigt werden.

3.2.3 Grundwasser

Wie jede Wasserentnahme wirkt sich auch die Bewässerung auf die Pegelstände und Fließcharakteristika des Grundwassers aus. In vielen Fällen steht das Grundwasser in Verbindung und Austausch mit Fließgewässern. Eine Absenkung des Grundwassers kann diesen Austausch umkehren: statt einen Bach oder Fluss zu speisen, versickert Oberflächenwasser in den Untergrund (siehe Abb. 03-05).

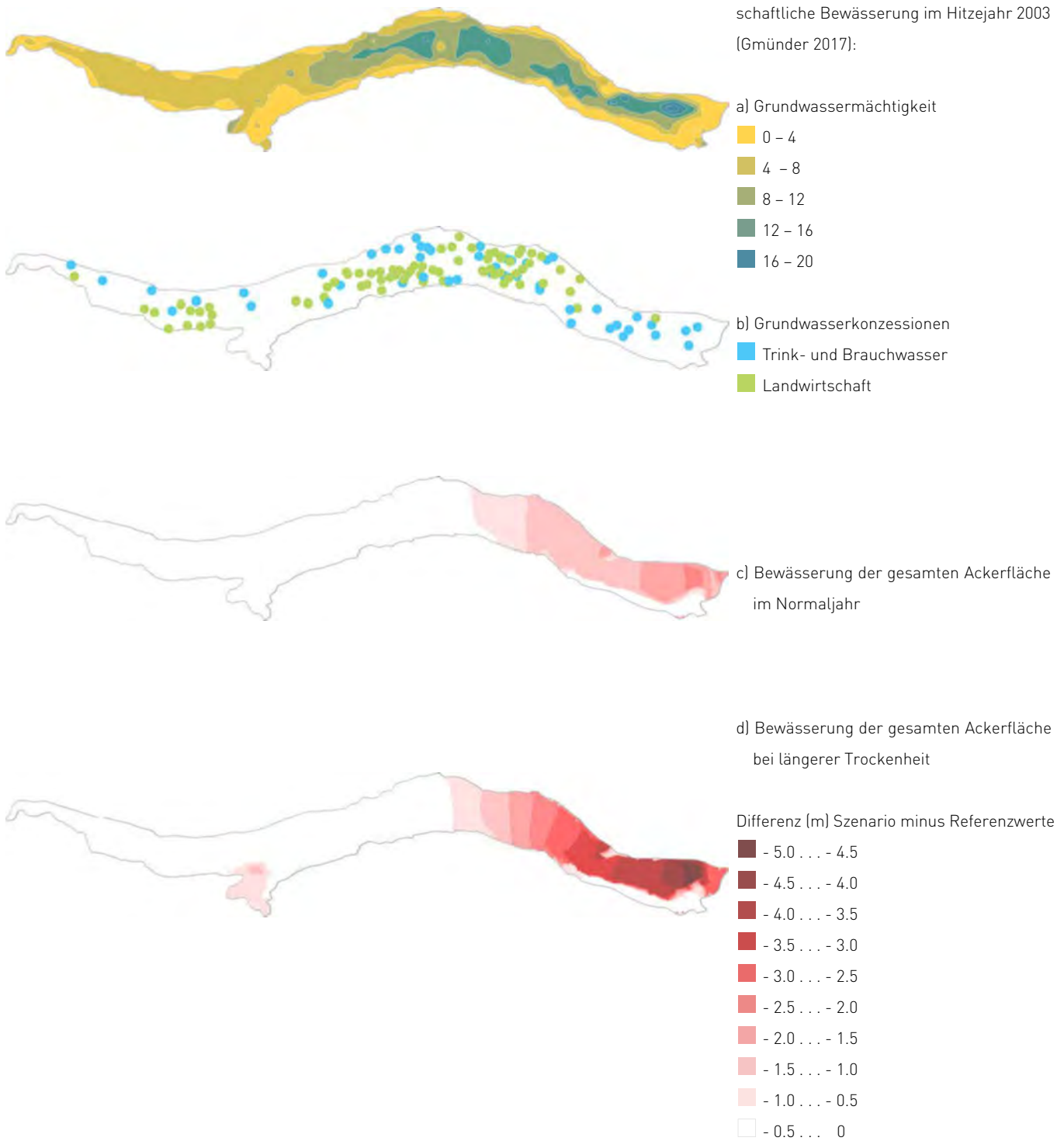
Übermäßige Entnahmen aus dem Grundwasser zeitigen keine direkt wahrnehmbaren Folgen, anders als bei Fließgewässern, deren Pegel sichtbar sinken. Da die Anzahl von Grundwassermessstellen begrenzt ist und sie sich nicht immer nahe der Entnahmeorte befinden, kann die unerwünschte Übernutzung eines Grundwasservorkommens lange Zeit unbemerkt bleiben. Dem kann vorgebeugt werden, indem die Charakteristik des Grundwasserleiters und sein Entnahmepotenzial durch Modelle oder Pumpversuche ermittelt werden. Dann können Konzessionen entsprechend angepasst und z.B. bei anhaltender Trockenheit Entnahmen eingeschränkt werden.

Für das Thurgauer Thurtal liegt ein detailliertes Grundwassermodell vor. Damit können die Auswirkungen von Bewässerungsentnahmen in einem Hitzejahr wie 2003 bilanziert werden (Gmünder 2017). Es zeigt sich, dass der Wasserbedarf der Landwirtschaft unter diesen Bedingungen eine beträchtliche Absenkung im östlichen Bereich des Grundwasservorkommens verursacht (Abb. 03-06). Weiter westlich zeigt sich diese Absenkung nicht, dafür ist dort die Speisung der Oberflächengewässer (Thur-Binnenkanäle) vermindert. Eine Ausweitung der Bewässerung mit Grundwasser ist vor allem in Trockenphasen kritisch zu sehen, da die Wasserversorgung auf das gleiche Grundwasservorkommen angewiesen ist. Dennoch setzt das geplante Grossbewässerungsprojekt Thurgau-Süd auf eine Entnahme aus dem umstrittenen Grundwasserstrom der Thur (Mannale 2019).

Im Rahmen von Hydro-CH2018 wurde mit dem Projekt AgriAdapt auch für das Berner Seeland ein Grundwassermodell entwickelt und mit potenziellen Bewässerungsansprüchen abgeglichen. Dabei zeigt sich, dass ein Gemüsebau mit flächendeckender Bewässerung zu einer deutlichen Absenkung der Grundwasserstände im Seeland führen würde – und damit zu Nutzungskonflikten mit Trinkwasserversorgung, Grundwasserwärmenutzung und Feuchtgebieten. Klar wurde aber auch, in welchem Mass der Wasserbedarf von der Wahl der Kulturen und der Anbauplanung abhängt. So benötigen frühreife Sorten, deren Wachstum überwiegend vor den heißen und trockenen Sommertagen stattfindet, wesentlich geringere Wassergaben als spätreife Sorten mit hohen Wärmeansprüchen (Holzkämper et al. 2019).

Abb. 03-06

Modellierte zusätzliche Absenkung des Grundwassers im Thurgauer Thurtal durch landwirtschaftliche Bewässerung im Hitzejahr 2003 (Gmünder 2017):



3.3 Die Zukunft

3.3.1 Auswirkung des Klimawandels auf die Bewässerung

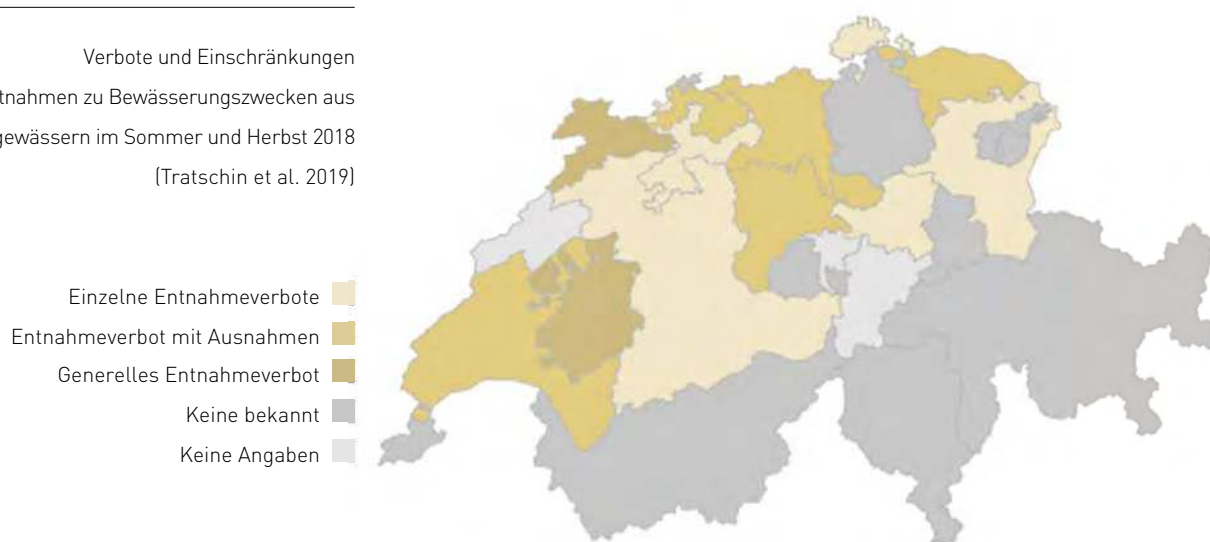
Verfügbarkeit von Wasser

Auch die Landwirtschaft wird sich darauf einstellen müssen, dass sich Mengen und Saisonalität von Niederschlägen und Abflüssen allmählich ändern. Geprägt wird der Wandel der Wasserregime vom Anstieg der Schneegrenze und einer moderaten Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter. Zusätzlich induzieren steigende Temperaturen und eine grössere Strahlungsintensität eine höhere Verdunstung und dadurch eine Verminderung der nutzbaren Vorkommen. Diese Prognosen gelten für die relativ langsame Verschiebung der Bedingungen im langjährigen Mittel (NCCS 2018).

Der Sommer 2018 machte deutlich, dass die Abweichungen von langjährigen Mittelwerten erheblich sein können und die Landwirtschaft schon heute mitunter vor grosse Herausforderungen stellen. Infolge hoher Temperaturen und langanhaltender Trockenheit mussten die Wasserentnahmen aus kleineren Fliessgewässern beschränkt oder eingestellt werden (siehe Abb. 03-07). Nicht überall konnten sich die Landwirte anderweitig Wasser beschaffen, und lokal kam es bei einigen Kulturen zu Ertragsminderungen und sogar zu einem Totalausfall der Ernten (Tratschin et al. 2019). Die grossen Flüsse und Seen standen aber weiterhin für Wasserentnahmen zur Verfügung, u.a. weil dem trockenen Sommer 2018 ein sehr schneereicher Winter vorausgegangen war. Eine Einschränkung von Grundwasserentnahmen für Bewässerungszwecke sprach kein Kanton aus.

Abb. 03-07

Verbote und Einschränkungen für Wasserentnahmen zu Bewässerungszwecken aus Oberflächengewässern im Sommer und Herbst 2018 (Tratschin et al. 2019)



Die derzeit noch hohe Resilienz der Wasservorkommen und Abflüsse im Schweizer Mittelland gegen Trockenheit wird sich in Zukunft absehbar vermindern. Infolge höherer Temperaturen schwinden in den nächsten Jahrzehnten nicht nur die Gletscher, sondern auch die alpinen Schneereserven, aus denen sich die Flüsse im Sommer zu grossen Anteilen speisen. Dies wird sich auf die sommerlichen Abflüsse grosser Fließgewässer spürbar auswirken, an den Seen nimmt der Durchfluss ab und auch ihr Wasserspiegel kann sinken – wie z.T. schon im Sommer und Herbst 2018 [Tratschin et al. 2019].

Die Minderung und saisonale Verschiebung der Abflüsse macht sich auch im Berggebiet bemerkbar, wo die Landwirtschaft traditionell (und in jüngster Zeit verstärkt) Wiesen aus Bächen bewässert (siehe Kasten Bewässerung im Berggebiet). Die hochgelegenen Bacheinzugsgebiete speisen sich überwiegend aus der Schneedecke und sind daher von einem Anstieg der Schneegrenze unmittelbar betroffen. Im Unterengadin stammt das Bachwasser zu bis zu 80% aus der Schneeschmelze (Abb. 03-08) [Lanz 2016]. Entsprechend verschieben sich die Abflüsse bei steigenden Temperaturen markant in das Winterhalbjahr, die Schneeschmelze tritt um mehrere Wochen früher und stark vermindert ein [Lanz 2016] (Abb. 03-09). Abb. 03-10 zeigt für alle Einzugsgebiete des Inns im Engadin, in welchem Mass sich die spätsommerlichen Abflüsse (Juli, August, September) im Laufe des Jahrhunderts vermindern könnten [Lanz 2016] – mit direkter Auswirkung u.a. auf die Wiesenbewässerung.

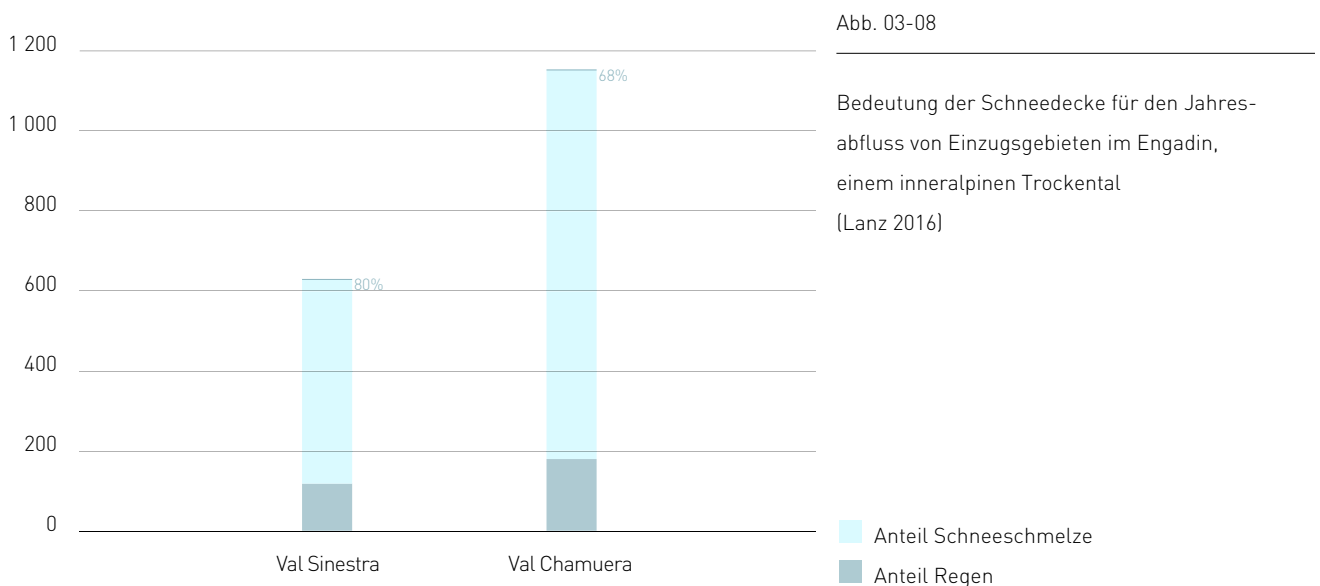


Abb. 03-09

Verschiebung der mittleren monatlichen Abflüsse
im Val d'Uina im Unterengadin
(Lanz 2016)

- 1981 – 2009
- 2021 – 2050
- 2045 – 2074
- 2070 – 2099

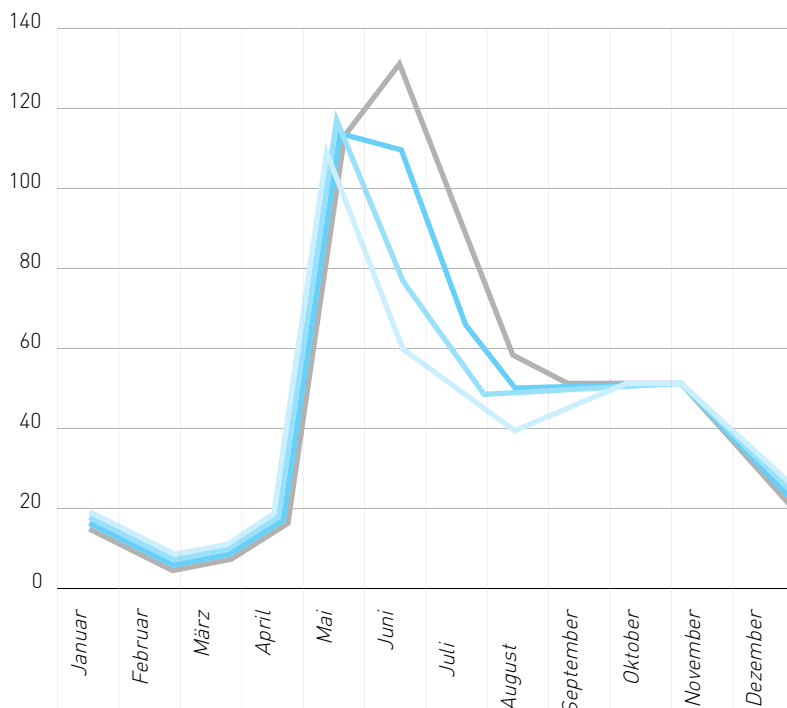


Abb. 03-10

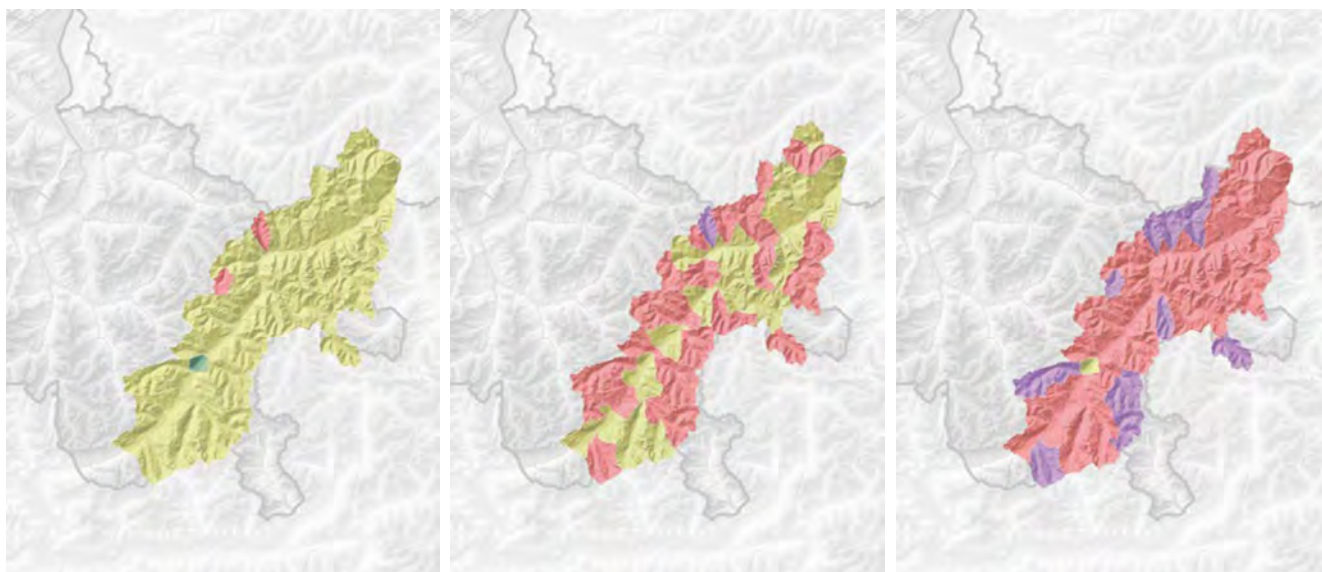
Modellierter Rückgang der spätsommerlichen Abflüsse (Juli, August, September) in den Teileinzugsgebieten des Engadins für die Jahre

- 2035, 2060, 2085
- (Lanz 2016)
- (DHM25/200, SwissBOUNDARIES © Swisstopo)

2035

2060

2085



Häufen sich lang anhaltende Trockenperioden?

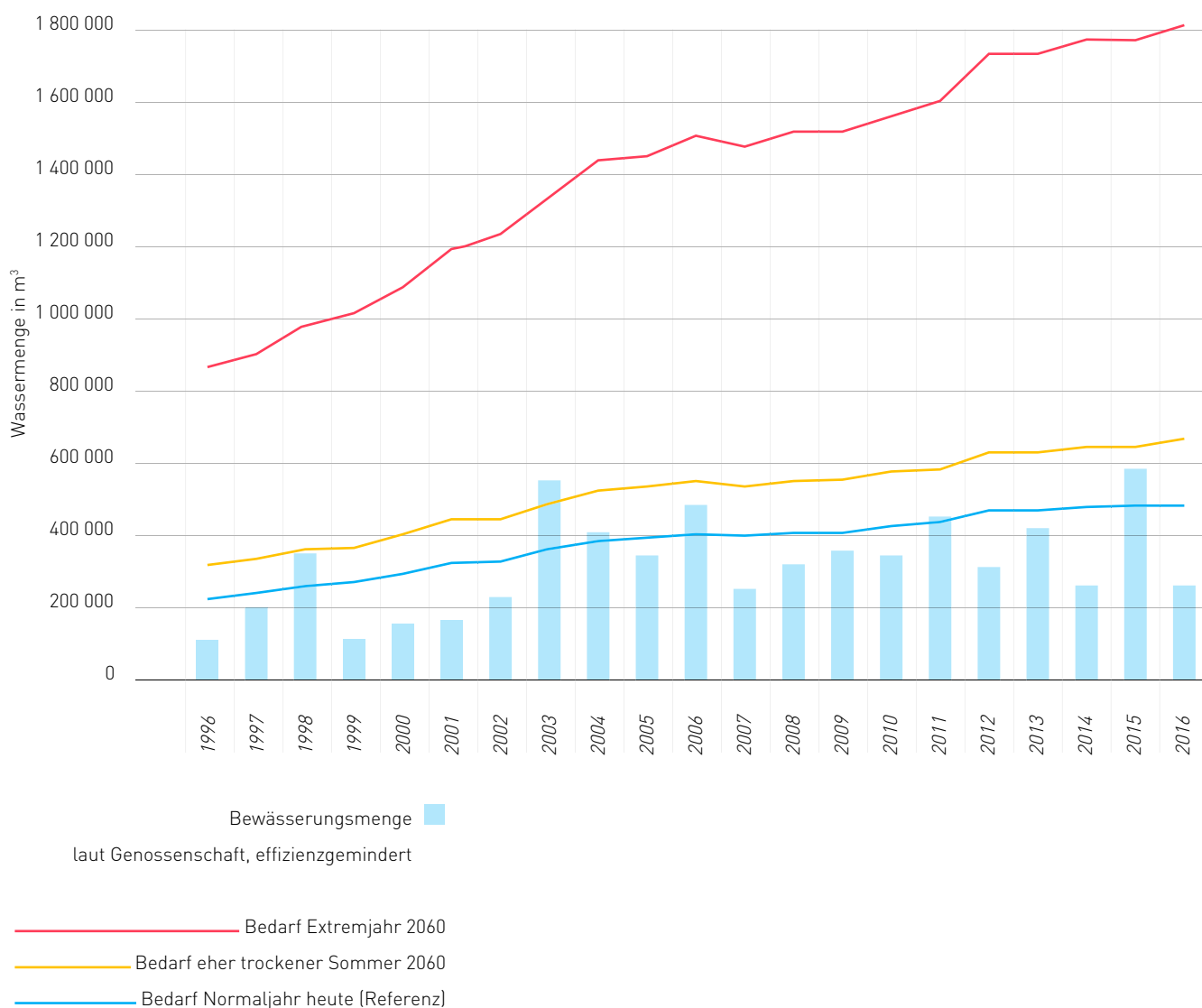
Umwelthistoriker weisen darauf hin, dass auch ohne Klimawandel in früheren Zeiten extreme Trockenereignisse aufgetreten sind, im 16., 17. und 18. Jahrhundert gehäuft auch in der Schweiz. Für den Zeitraum 1500 – 1995 sind nicht weniger als 24 Dürresommer historisch belegt. Im Sommer 1540 war es so trocken, dass der Rhein in Basel zu Fuss durchquert werden konnte. Es folgte eine Hungersnot, u.a. weil Flüsse wie Limmat und Reuss nicht mehr genügend Wasser für den Betrieb von Kornmühlen führten (Pfister et al. 2000). Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz hat deshalb Trockenheitsszenarien evaluiert, die sich einstellen können, wenn auf einen trockenen Winter (wie etwa 2011) ein niederschlagsarmer und heisser Sommer (wie etwa 2018) folgt. Da eine Bewässerung dann nur noch sehr eingeschränkt möglich wäre, käme es zu erheblichen Ernteaufschlägen, die viele landwirtschaftliche Betriebe existenziell bedrohen könnten (BABS 2015).

Steigende Nachfrage nach Wasser

Wenn infolge höherer Temperaturen und Strahlungsintensität die Bodenfeuchte vermindert ist, nimmt die Zahl der Tage zu, an denen der Bodenwasserspeicher für die Kulturen nicht mehr ausreicht. Dann werden normalerweise mit natürlichen Niederschlägen auskommende Flächen bewässerungsbedürftig, selbst wenn sich an Struktur, Intensität und Ausrichtung der landwirtschaftlichen Produktion nichts ändert (Führer et al. 2017). Da gleichzeitig das Wasserdargebot in Oberflächengewässern und Grundwasser zurückgeht, erhöht sich die Gefahr von Interessenskonflikten. Eine Pilotstudie im Kanton Thurgau zeigt, in welchem Mass in extremen Jahren die Wassernachfrage auf intensiv bewässerten Anbauflächen ansteigen könnte (rote Linie in Abb. 03-11). Während sich in einem «eher trockenen Sommer 2060», der den Bedingungen von 2003 oder 2018 ähnelt (gelbe Linie), der Mehrbedarf durch Effizienzmassnahmen oder Zuleitung aus grossen Gewässern noch decken lassen sollte, wird dies in Extremjahren zukünftig kaum noch möglich sein.

Abb. 03-11

Aktuelle Bewässerungsmenge im Planungsgebiet «Geisslibach plus» im Kanton Thurgau mit dem modellierten Bewässerungsbedarf (bewässerungswürdige Kulturen, Bewässerungseffizienz 60%) (Hofer et al. 2017)



3.3.2 Sozioökonomische Veränderungen und Bewässerung

Wasser ist neben Nährstoffen, Energie und Licht ein notwendiger Produktionsfaktor für die Landwirtschaft. Jede Steigerung der Bewirtschaftungsintensität, sei es durch ertragsstärkere Kulturpflanzen, höhere Anbaudichte, Verlängerung der Vegetationszeiten (z.B. durch Folientunnel) oder die Umnutzung von Grünland bewirkt auch eine Erhöhung des Pflanzenwasserbedarfs. Feldversuche zeigen, dass sich Erträge und Qualität durch Bewässerung deutlich steigern lassen, etwa im Schweizer Kartoffelanbau (Mathys et al. 2009). Für Kartoffeln wird daher generell Bewässerung empfohlen, auch im Biolandbau (Rüsch 2017).

Für den künftigen Wasserbedarf der Landwirtschaft ist die Wahl der Anbauformen und Kulturen mindestens ebenso entscheidend wie die klimatischen Bedingungen. Wie sich die Landwirtschaft entwickelt, richtet sich nach politischen und gesellschaftlichen Vorgaben sowie dem Marktgeschehen (z.B. Vorgaben von Abnehmern an Quantität, Qualität und Termine). Neben dem Markt kommt der Ausrichtung der Schweizer Agrarpolitik eine entscheidende Bedeutung auch für die Entwicklung der Bewässerung zu. Richtungsentscheidungen wie Marktöffnung, Schutzzölle oder der Ausbau der inländischen Produktion wirken sich ebenso aus wie die Subventionierung bestimmter Produktionsweisen.

Eine Umfrage bei Betrieben im Raum Zürich zeigt, in welche Richtung sich die Landwirtschaft unter den erwarteten Bedingungen bewegen könnte (Wynistorf et al. 2017). Vielfach beabsichtigen die befragten Landwirte, den Anbau von Gemüse und Kräutern auszuweiten. Damit verbunden ist unter anderem ein Ausbau der Bewässerung und anderer Infrastrukturen, die den Anbau weniger abhängig von Witterungseinflüssen machen (Folientunnel, Gewächshäuser, Hagelschutz, Frostschutz). Um die Wertschöpfung auf den Hof zurückzuholen, setzen die Betriebe zudem vermehrt auf hofeigene Lager- und Verarbeitungsbauten sowie Direktvermarktung. Eine Überblicksstudie zum Bereich Furttal-Glattal kommt zu dem Schluss, dass nicht nur der Wasserbedarf zunehmen würde, sondern die zusätzlichen Infrastrukturen auch das Bild der Landschaft deutlich verändern dürften (Wynistorf et al. 2017).

Auch Subventionen von Bund oder Kantonen können einen Einfluss auf die landwirtschaftliche Wassernachfrage haben, seien es à-fonds-perdu Beiträge oder langfristige Darlehen für den Ausbau der Bewässerungsinfrastruktur. Wirksam ist dies insbesondere bei Flächen und Kulturen, bei denen der durch Bewässerung erzielte Zusatzertrag die Investitions- und Betriebskosten der Bewässerungsinfrastruktur nicht decken würde. Hier können Strukturverbesserungsbeiträge den Unterschied machen, indem

sie einen (grossen) Teil der Kosten für die Bewässerung finanzieren. So wird die Bewässerung von Kartoffelflächen oft erst durch Subventionen wirtschaftlich, während der Gemüsebau in der Regel ohne staatliche Unterstützung bewässern kann (Bucher 2013).

Als Beispiel für die Wirkung von Strukturverbesserungsbeiträgen sei das Furttal genannt. Hier können weder der Furtbach und seine Seitengewässer noch das lokale Grundwasser für die Bewässerung des intensiven Gemüseanbaus genügend Wasser bereitstellen. Daher soll nun Wasser aus der Limmat in einen neuen Hochspeicher auf den Hüttikerberg gepumpt werden, wo es gespeichert und bei Bedarf ins Furttal geleitet werden kann. Wo aktuell etwa 250 ha bewässert werden, könnte das neue Leitungssystem die bewässerbare Fläche um 60% (150 ha) erweitern. Das Projekt soll ab 2021 jährlich etwa 500 000 m³ Bewässerungswasser liefern, maximal 96 Liter pro Sekunde. Die Kosten für die neue Versorgungsinfrastruktur von 8.25 Millionen Franken übernehmen Bund und Kanton zu 57%. Da die Furttaler Gemeinden eine Beteiligung ablehnen, müssen die Landwirte ca. 3.5 Mio. Franken selber aufbringen. Das bedeutet, dass sie ein Kubikmeter Wasser knapp einen Franken kosten wird – wesentlich mehr als bisher das Bachwasser (Müller 2019). Dafür können sie aber die lukrativen Bewässerungsflächen potenziell ausdehnen.

Die grösste Bedeutung für die künftige Beanspruchung der Gewässer durch die Bewässerung dürfte die Erwartung längerer Trockenphasen seitens der Landwirte haben. Nach den Erfahrungen von 2003, 2006, 2011, 2015, 2018 und 2019 mit zeitweise heissen und trockenen Bedingungen und eingeschränkter Verfügbarkeit von Bewässerungswasser wollen viele Betriebe neue Bewässerungssysteme aufbauen und zusätzliche Wasserressourcen erschliessen. Dabei stehen Seen und grössere Flüsse im Mittelpunkt, die kurzfristig in geringerem Mass von Trockenheit betroffen sind. Die Ausweitung von Grundwassernutzungen ist seltener, kommt aber selbst dort vor, wo die gleichen Vorkommen von der öffentlichen Wasserversorgung beansprucht werden (z.B. Seeland, Gäu, Thurgauer Thurtal, St. Galler Rheintal).

Ein Sonderfall ist die geplante Erweiterung der Grundwasserbewässerung im Rhonetal im Wallis. In dieser Region kam es im Frühjahr 2017 zu aussergewöhnlichen Ernteverlusten bei Obst und Reben durch Nachtfröste. Solchen Frostschäden kann begegnet werden, indem die Pflanzen in kalten Nächten vorsorglich mit Wasser besprüht werden. Dafür hält der Kanton grossflächige Bewässerungsinfrastrukturen auf rund 1 600 ha für

erforderlich, die dann im Sommer auch für die Bewässerung der Kulturen genutzt werden können. Eine so intensive Bewässerung mit Grundwasser gerät mit zahlreichen anderen Nutzungen in der dicht besiedelten Rhone-Ebene in Konflikt, vor allem mit der Trinkwasserversorgung, welche auf die gleichen Vorkommen angewiesen ist (Kanton Wallis 2017).

Der Wunsch nach einem Ausbau der Bewässerung spiegelt sich auch in den landwirtschaftsbezogenen Pilotprojekten im Rahmen der zweiten Phase des Bundesratsprogramms «Anpassung an den Klimawandel». Einige davon fokussieren überwiegend auf die Sicherung bzw. Ausweitung des Wasserbezugs für die Bewässerung (NCCS o. J.). Im Klettgau (SH), wo eine Bewässerung derzeit nur sehr begrenzt möglich ist, wird die zusätzliche Erschliessung von Grundwasser untersucht. Im Jura (BL, SO) wird geprüft, ob sich lokale Wasserspeicher (z.B. künstlich angereichertes Grundwasser) als Sommerreserve für die Bewässerung eignen. Im Val de Bagnes, das im Sommer eigentlich über reichliche Wasservorräte verfügt, wird über die Nutzung von Mehrzweckspeichern zur Sicherung der künftigen Bewässerung geforscht. Angedacht ist die Bereitstellung von 20 Mio. m³/a für die Landwirtschaft, etwa das Zehnfache des Trinkwasserbedarfs im Tal (NCCS o. J.).

Etwas weniger gewichtet unter den Pilotprojekten sind effizientere Bewässerungsmethoden, klimaangepasste Anbautechniken und innovative Produktionsformen. Im Aargau, wo der Bauernverband aktuell den Ausbau der öffentlichen Wasserversorgung zugunsten der Bewässerung fordert (Bauernverband Aargau 2019), soll ein Pilotprojekt im Bünztal erstmals eine landwirtschaftliche Planung (LP) unter Einbezug von Trockenheit durchführen (NCCS o. J.). Ein solch gesamthafter Ansatz, der auf ein Systemverständnis der Landwirtschaft in einem trockeneren, heisseren Klima abzielt und auf langfristige Anpassung, scheint angemessener als eine blosser Ausweitung des Wasserbezugs. Er ermöglicht, die landwirtschaftliche Praxis dauerhaft auf veränderte Klimabedingungen auszurichten und gleichzeitig die Gewässer vor übermässigen Wasserentzug zu schützen.

In der Regel führen zusätzliche Bewässerungskapazitäten zu einer Ausweitung und Intensivierung des Anbaus von Spezialkulturen wie Gemüse, Salat und Beeren. Diese Entwicklung zeigt sich in der starken Zunahme des Gemüsebaus: allein von 2012 bis 2017 vergrösserte sich die Gemüseanbaufläche um 24% (BFS 2018b). Anders ausgedrückt: wo zusätzliches Bewässerungswasser verfügbar wird, passt sich der Anbau an das erhöhte Dargebot an.

Auch Gewächshäuser sind auf dem Vormarsch: von 2008 bis 2018 hat sich deren Fläche fast verdoppelt (ZGS 2019). In der Magadino-Ebene und in Oftringen sind Grossgewächshäuser mit mehreren Hektaren Grundfläche entstanden, weitere sind geplant. Obwohl der Anbau unter Glas längere Vegetationszeiten und teils mehrere Ernten ermöglicht, bedeutet er nicht zwingend einen höheren Wasserbedarf als im Freiland. So verwendet die Salathalle von Oftringen (Abb. 03-12) zu 95% das auf dem eigenen Dach gesammelte Regenwasser (Blunier 2016). Gegenüber dem Freilandanbau soll der Wasserbedarf um 70 % vermindert sein. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist eine hohe Wassernutzungseffizienz natürlich vorteilhaft. Ob sich der Schweizer Gemüsebau zunehmend in Gewächshäuser verlagern wird, hängt aber auch von anderen Gesichtspunkten ab (Energieversorgung, Landschaftsästhetik, Marktbedingungen). So verzichtete die Migros auf ein Grossgewächshaus im Unterwallis unter anderem wegen der Beeinträchtigung des Landschaftsbilds, die bei einer acht Meter hohen Halle von 20 ha unvermeidlich ist (SRF 2019).

Abb. 03-12

Salat ohne Erde
im Hydrogewächshaus Oftringen
(Migros Aare 2016)



3.4 Zielkonflikte

3.4.1 Zielkonflikte mit anderen Gewässernutzungen

Mengenaspekte
Die Bewässerung stellte bisher im Normalfall keine mengenmässige Konkurrenz für andere Gewässernutzungen dar (wohl aber für den Gewässerschutz, siehe 3.4.2). Allerdings können in längeren Trockenphasen Zielkonflikte mit der Trinkwasserversorgung auftreten, wenn diese auf die gleichen Grundwasservorkommen zurückgreift (siehe 3.2.3). In solchen Situationen sollte die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung stets Priorität haben (Dübendorfer et al. 2016). Unklar ist, ob dies bereits in allen Kantonen rechtlich ausreichend verankert ist.

Schwierigkeiten können entstehen, wenn die für die Bewässerung entnommenen Grundwassermengen nicht überwacht werden und eine unkontrollierte Übernutzung von Trinkwasserressourcen zu spät bemerkt wird. Grundwasserkonzessionen sollten stets mit einer Mengenmessung und deren Meldung an den Kanton verbunden sein. Eine tagesaktuelle Erfassung und Meldung der Entnahmemengen ist Voraussetzung für eine wirksame Regelung der Entnahmen und technisch kein Problem (etwa durch Funkssysteme).

Lokal stellt auch die öffentliche Wasserversorgung Bewässerungswasser zur Verfügung (z.B. SG, NE, VD, BL, ZH, TG, AG). Fast ein Drittel der bewässernden Betriebe nutzte 2016 zumindest teilweise Trinkwasser (BFS 2018a). Solange alle Wasserbezüge gemessen werden, sollten hieraus keine Engpässe bei der Versorgung der Bevölkerung resultieren. Allerdings stieg im Thurgau die Nachfrage der Landwirtschaft nach Trinkwasser im Sommer 2018 sprunghaft an, nachdem der Kanton Entnahmeverbote aus Oberflächengewässern erlassen hatte (Tratschin et al. 2019). Es kam zu enormen Spitzenlasten, auf die die öffentlichen Netze (Leitungsquerschnitte, Reservoirs etc.) nicht ausgelegt werden können. Dies würde überdimensionierte Anlagen mit langen Verweilzeiten und demzufolge eine erhöhte Gefahr der Verkeimung mit sich bringen (AWEL 2013). Wenn sich die ordnungsgemässe Versorgung der Bevölkerung nicht mehr aufrecht erhalten lässt, muss das Versorgungsunternehmen bzw. die zuständige Gemeinde den Einsatz von Leitungswasser für die Bewässerung untersagen.

Zielkonflikte mit der Gewässerökologie an Bächen und kleineren Flüssen werden im folgenden Kapitel abgehandelt (siehe 3.4.2).

Qualitätsaspekte

Die mit verstärkter Bewässerung häufig gekoppelte Zunahme der Bewirtschaftungsintensität kann sich auch auf die Qualität des Grundwassers auswirken. Derzeit wird im Rahmen eines Nitratprojekts im solothurnischen Gäu eingehend untersucht, welchen Einfluss die Bewässerung auf die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser hat (Bünemann 2017). Auch die Rolle der Bewässerung auf den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser ist zu klären. Dies ist entscheidend für die regionale Trinkwasserversorgung im Gäu, die im Abstrom einer intensiven Landwirtschaftszone Grundwasser nutzt, in dem 2019 Pestizidmetaboliten deutlich oberhalb des Höchstwerts nachgewiesen wurden (Mathys 2019).

3.4.2 Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz Fließgewässer

Häufig kommt die landwirtschaftliche Bewässerung bei der Wasserentnahme aus Bächen und kleineren Flüssen in Konflikt mit Gewässerökologie und Fischerei. Grundsätzlich müssen bei Entnahmen für die Bewässerung Restwassermengen sowie die Lebensbedingungen der Fische in den Fließgewässern beachtet werden. Kritisch ist dies vor allem in niederschlagsarmen und/ oder heißen Phasen in Frühling und Sommer, wenn hoher Bewässerungsbedarf mit niedrigem Wasserstand und erhöhter Wassertemperatur zusammentrifft. In solchen Situationen müssen die Entnahmen eingeschränkt oder gar Entnahmeverbote ausgesprochen werden (BAFU 2019).

Auch für die Biodiversität ist die Wasserführung kleiner und mittlerer Fließgewässer entscheidend. Für das Smaragdgebiet Oberaargau wurden Biodiversitäts-Hotspots ermittelt, die empfindlich gegen längere Trockenheit sind. In solchen Gewässerabschnitten sind Wasserentnahmen für die Landwirtschaft bei Trockenheit nur unter höchster Vorsicht möglich oder sie müssen vorsorglich eingestellt werden (Hedinger et al. 2017).

Aufgrund der klimatischen Entwicklung dürften sich Zielkonflikte zwischen Bewässerung und Gewässerökologie in Zukunft häufen (trockenere, wärmere Sommer, frühere Schneeschmelze und verminderter Schneebeitrag zum Abfluss). Wo immer möglich, sollte eine Nutzung trockenheitsanfälliger Gewässer ganz vermieden werden.



Abb. 03-13

Kleineren Fliessgewässern wie dem Furtbach (hier bei Otelfingen) kann im Sommer kaum noch Wasser für die Bewässerung entnommen werden (Quelle: wikimedia, Hubi47)

Seen

Vermutlich haben die aus Schweizer Seen für die Bewässerung entnommenen Mengen bisher nur geringen Einfluss auf deren Ökologie. Eine solide Abklärung der hydrologischen Belastbarkeit von Seen – welche Mengen können bedenkenlos entnommen werden – ist aber bisher nicht unternommen worden. Angesichts künftig verstärkter Entnahmen für Trinkwasserversorgung, Kühlung und Fernwärme sind Gesamtbilanzen insbesondere in Hitzephasen mit hohen Verdunstungsverlusten unerlässlich. Im Sommer 2018 erreichten Bodensee (Untersee), Zugersee und Walensee neue Tiefststände. Auch Lago Maggiore und Luganersee verzeichneten ungewöhnlich tiefe Pegel. Im Kanton Zürich sanken Greifensee, Pfäffikersee und Lützelsee auf rekordtiefe Wasserstände und sogar der Zürichsee war betroffen (Tratschin et al. 2019). Der grosse, regulierte Zürichsee reagierte auch schon im Hitzesommer 2003: damals floss ihm zeitweise so wenig Wasser zu, dass sein Pegel gesenkt werden musste, um die Restwassermenge am Ausfluss in die Limmat zu gewährleisten. Allein die Wasserversorgungen am See verursachen rechnerisch eine Pegelsenkung um bis zu 0.5 cm pro Tag.

Grundwasser

Bei Grundwasser besteht die Gefahr einer schleichenden, unerkannten Übernutzung, die sich auch auf Fliessgewässer, Quellen und Feuchtflächen auswirken kann, die von Grundwasser gespeist werden. Zielkonflikte sollten nicht auftreten, solange die Konzessionsmengen anhand verlässlicher Grundwassermodelle festgesetzt und die Grundwasserstände kontinuierlich überwacht und vorausschauend bewirtschaftet werden. Eine weitere Voraussetzung ist ein kontinuierliches Monitoring der Entnahmen. Zu bedenken ist auch, dass eine verstärkte Bewässerung potenziell einen erhöhten Eintrag von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser nach sich ziehen kann.

3.5 **Potenzielle Lösungsansätze**

Die Anpassung der landwirtschaftlichen Bewässerung an zukünftige Bedingungen kann am besten im Rahmen gesamtlandwirtschaftlicher Planungen erfolgen, die auf den allmählichen Wandel von Klima und sozio-kulturellem Rahmen reagieren. Konzeptionell zu unterscheiden von einer solchen Anpassungsstrategie ist der Umgang mit Extremereignissen wie anhaltenden Trockenperioden oder Hitzewellen, in denen die Wassernachfrage der Landwirtschaft die nutzbaren Mengen in den Gewässern übersteigt. Wo die Bewässerung nicht mehr aufrechterhalten werden kann, weil keine ausreichenden Wasserressourcen zur Verfügung stehen und die Beschaffung aus ergiebigen Vorkommen unwirtschaftlich ist, muss der Schwerpunkt auf der Minimierung von Einkommensverlusten der Landwirte liegen. Im Folgenden wird daher unterschieden zwischen Massnahmen zur Anpassung an den erwarteten durchschnittlichen Klimawandel (siehe 3.5.1) und Massnahmen zum Umgang mit Ausnahmesituationen (siehe 3.5.2).

3.5.1 **Anpassung der Bewässerungswirtschaft an künftige Bedingungen**

Die Landwirtschaft in der Schweiz hat – abgesehen von den inneralpinen Trockentälern – keine längere Bewässerungstradition, da der natürliche Niederschlag praktisch überall für ausreichende Bodenfeuchtigkeit sorgt. Der intensive Anbau von Spezialkulturen wie Gemüse, Salat, Beeren, Obst und Reben macht aber an einigen Standorten eine Bewässerung nötig, und bei klassischen Kulturen wie Kartoffeln können die Qualität der Produkte und die Erträge verbessert werden. Engpässe bei der Wasserbeschaffung für diese Kulturen sind bisher nur in aussergewöhnlichen Jahren aufgetreten. Die Effizienz des Wassereinsatzes stand nicht im Mittelpunkt.

Durch Anpassungen der Anbausysteme besteht erhebliches Potenzial, den Wasserbedarf zu reduzieren oder gar von zusätzlicher Bewässerung unabhängig zu werden. Einen Überblick über die prinzipiellen Möglichkeiten gibt BAFU Modul 2 (Wehse et al. 2017). Zentrale Elemente sind klimaangepasste, weniger wasserbedürftige Kulturen und Sorten sowie die Verbesserung des Wasserrückhaltevermögens der Böden. Letzteres lässt sich z.B. durch gefügeschonende Bodenbearbeitung und möglichst permanente Bodenbedeckung erreichen, aber auch durch die Deaktivierung von Drainagen. Selbstverständlich sollten auch die Verluste bei Transport und Anwendung des Bewässerungswassers (z.B. durch leckere Verteilnetze, ineffiziente Pumpen) minimiert werden. Hierbei spielen sparsame und druckarme Techniken wie die Tropfenbewässerung eine zentrale Rolle.

Wärmere Sommer bedeuten nicht zwingend, dass der Bewässerungsbedarf zunimmt. Exemplarisch zeigt dies das Projekt AgriAdapt im Berner Seeland. Dort würde eine Bewirtschaftung mit frühreifen und trockenresistenten Sorten den Wassereinsatz gegenüber heute kaum verändern. Eine Erweiterung der Gemüseflächen unter voller Ausnutzung der längeren Vegetationsperiode liesse dagegen die Bewässerungsnachfrage enorm ansteigen, so dass sie nicht mehr aus den lokalen Grundwasserressourcen zu decken wäre (Holzkämper et al. 2019).

Abb. 03-14



Bodenpflege und Bewässerungseffizienz könnten vielerorts noch stark verbessert werden (Quelle: Reportair)

Weiter kann durch organisatorische Massnahmen die Abhängigkeit von Bewässerung vermindert werden. Im Vordergrund steht hier die Konzentration von bewässerungsbedürftigen Kulturen auf Böden, die sich gut zur Speicherung von Wasser eignen. Dies kann mitunter Nutzungsumlegungen erfordern, die über eine herkömmliche Gesamtmelioration hinausgehen (Bewirtschaftungsarrondierungen). Auch könnten Bewässerungskulturen dort konzentriert werden, wo ergiebige, nachhaltig nutzbare Wasservorkommen vorhanden sind (Wehse et al. 2017).

Grundsätzlich sollte erst dann bewässert werden, wenn Bodenfeuchtemessungen (mittels Sonden) ein Wasserdefizit anzeigen. In welchem Mass dann ein Wassereinsatz nötig ist, hängt von Bodenart, Meereshöhe, Kultur und Wetterbedingungen ab. Die jeweils benötigte Wassergabe lässt sich mit einer von Agroscope für die Schweiz entwickelten Methodik parzellengenau ermitteln (Smith et al. 2015).

Ein weiteres Regulativ ist der Preis. Muss die Landwirtschaft kostendeckende Wassertarife zahlen, besteht ein Anreiz für eine höhere Effizienz. Wasser wird sparsamer eingesetzt und dort, wo der wirtschaftliche Nutzen am grössten ist. Höhere (kostendeckende) Wassertarife würden die Nachfrage nach Bewässerungswasser und die Entnahmen aus den Gewässern vermindern (siehe Abb. 03-15) (Fuhrer et al. 2013). Für einzelne Betriebe oder Betriebsgemeinschaften lohnt es sich dann gegebenenfalls, in eigene Wasserspeicher wie Zisternen oder Teiche zu investieren und so die Abhängigkeit von kostenpflichtigen Beschaffungssystemen zu verringern (Wehse et al. 2017).

Abb. 03-15

Wasserverbrauch und Profit eines Ackerbaubetriebs in der Broye-Region unter heutigem Klima (1981 – 2010), Klimawandel (2050) ohne Massnahmen, mit höherem Wasserpreis und bei Zuteilung fixer Wassermengen (Wasserquota) (Fuhrer et al. 2013)



Der Bund unterstützt vielerlei landwirtschaftliche Massnahmen mit Auswirkungen auf die Bewässerung. Dazu gehören einerseits betriebliche Massnahmen wie die Verbesserung des Bodenwasserhaushalts, andererseits die Wasserbeschaffung für Bewässerungen (Basiserschliessungen für Spezialkulturen, Bau und Instandstellung von Anlagen für die Bewässerung). Für letztere werden im Rahmen der Strukturverbesserungs-Verordnung (Art. 14-17) Beiträge gewährt, wenn Bewässerungswürdigkeit und Bewässerungsmachbarkeit nachgewiesen sind und das Wasser effizient eingesetzt wird (BLW 2018).

3.5.2 Notmassnahmen während extremen Hitze- und Trockenphasen

Selbst wenn die Landwirtschaft durch effizientere Techniken künftig mit weniger Bewässerungswasser auskommen sollte, wird in längeren Trockenperioden nicht überall genügend Wasser für eine Aufrechterhaltung der Produktion verfügbar sein. In solchen Extremsituationen kommt es darauf an, sich abzeichnende Wasserdefizite frühzeitig zu erkennen und Massnahmen einzuleiten, bevor die Entnahmen aus den Gewässern kritisch werden. Folgende Instrumente sind für ein vorsorgendes Wassermanagement prinzipiell geeignet (Dübendorfer et al. 2016):

- Eignungskarten: aus welchen Oberflächengewässern sind auch bei längerer Trockenheit noch Entnahmen möglich, welche sind dafür nicht geeignet (z.B. Kantone Luzern, Bern, Solothurn)
- Prognosetools für sich abzeichnende Trockenheit (z.B. Informations- und Früherkennungsplattform Trockenheit, z.B. www.drought.ch)
- Webseite mit mehrtägigen Vorhersagen für Bewässerungsbedarf und Abflussmengen, wodurch eine bessere Planung der Bewässerung möglich wird (www.swiss-rivers.ch)
- Kantonale Karten mit Status der Entnahmemöglichkeiten aus Oberflächengewässern (z.B. Geoportal Kt. Bern)
- Handbuch mit definierten Handlungs- und Kommunikationsabläufen: welche Schritte müssen von welcher Behörde bei Trockenheit eingeleitet werden?
- Abgestimmtes Bewässerungsregime (räumlich, zeitlich, mengenmässig)
- Regeln für den Umgang mit Futterengpässen (Weidevieh)
- Inventar der bestehenden Wasserentnahmen (Art. 82 GSchG): eigentlich für die Sanierung von Wasserentnahmen für die Wasserkraft, ggf. auch anwendbar auf Bewässerungsentnahmen?
- Bessere Ausbildung zum Thema Wasser und Bewässerung

Abb. 03-16

In Zukunft immer häufiger?
 Sommerliches Niederschlagsdefizit 2018
 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010
 [Quelle: MeteoSchweiz 2018, Stand 19.08.2018]



Um ökologische Schäden an den Gewässern und wirtschaftliche Einbussen der Landwirte in Extremsituationen vorzubeugen, bietet sich eine indexbasierte Trockenheitsversicherung an. Unterschreiten die natürlichen Niederschläge ein gewisses Mass, steht den Landwirten eine wirtschaftliche Entschädigung zu. Diese ermöglicht es ihnen, bei Erreichen einer definierten «Trockenheitsschwelle» Einkommensverluste zu vermeiden und im Gegenzug auf Wasserentnahmen zu verzichten. Eine Trockenheitsversicherung hat somit eine Doppelfunktion: sie schützt die Landwirte vor Verlusten und die Gewässer vor Übernutzung. Die Schweizer Hagel, die genossenschaftliche Selbsthilfeversicherung der Landwirtschaft, bietet Versicherungen gegen Trockenheit für Ackerland und seit 2016 auch für Grasland an. Für häufig bewässerte Kulturen wie Gemüse, Obst und Reben besteht diese Versicherungsmöglichkeit bisher nicht.

Vielfalt kantonaler Vorgehensweisen

Die vielfältige Struktur von Landschaft, Anbauswerpunkten und Verwaltungstraditionen erfordert angepasste Strategien im Umgang mit Trockenphasen. So hat sich im Kanton Solothurn, wo es nur wenige Betriebe mit Bewässerungskulturen gibt, ein informelles Modell bewährt. Bahnt sich eine Trockenheit an, wird unter Führung des Amtes für Umwelt eine Task Force unter Beteiligung von Vertretern von Fischerei, Landwirt-

schaft und Bauernverband gebildet. In dieser Task-Force und im Austausch mit den betroffenen Landwirten können dann Lösungen erarbeitet werden, um die ökologisch erforderlichen Restwassermengen in den Gewässern zu sichern. Bei kritisch niedrigen Pegeln im Jahr 2011 liessen sich die Wasserentnahmen auf Basis eines durch Befragung der Betriebe erstellten Bewässerungsplans zeitlich staffeln. Entnahmeverbote konnten dadurch ebenso vermieden werden wie kritisch tiefe Wasserstände in den Gewässern (Wehse et al. 2017).

Im Kanton Bern mit hunderten Bewässerungsbetrieben und einer Vielzahl von genutzten Oberflächengewässern hat sich ein komplexeres Trockenheitsmanagement etabliert. Das Verfahren berücksichtigt einerseits die Grösse des genutzten Gewässers (Eignungskarte), andererseits die Schwere der Trockenheit. Bei «normaler Trockenheit» wird die Beobachtung der Gewässer durch die Fischereiaufsicht intensiviert und weitere relevante Akteure informiert. Der Status der Gewässer und die Entnahmemöglichkeiten werden auf einer Online-Karte publiziert (Geoportal Kt. Bern). Hält die Trockenheit an oder wird sie durch Hitze verstärkt, kommt die Arbeitsgruppe TroSec unter Führung der Abteilung Gebrauchswassernutzung des kantonalen Amts für Wasser und Abfall (AWA) zusammen und beschliesst die Trockenheitssituation sowie konkrete Massnahmen. Die Arbeitsgruppe TroSec kann die Bewässerung auf bestimmte Kulturen und Tageszeiten limitieren, aber auch Einschränkungen für die Landwirtschaft aufheben. So können Entnahmebeschränkungen für wichtige Kulturen gelockert (Art. 32 Bst. d Notsituationen) oder Mindestrestwassermengen herabgesetzt werden (Wehse et al. 2017).

Im Bereich der Broye-Ebene mit ihrer intensiven Bewässerungslandwirtschaft macht der Grenzverlauf zwischen den Kantonen Waadt und Freiburg eine gemeinsame Bewirtschaftung der Fliessgewässer unumgänglich. Beide Kantone haben Verfahren für den Umgang mit Trockenperioden mit jeweils interdepartementalen Kommissionen implementiert. Zeichnet sich eine Trockenheit ab, erfolgt ein Austausch zwischen den entsprechenden Sektionsverantwortlichen der beiden Kantone über die Publikation von Entnahmeverboten und die Koordination von Wasserentnahmen (Wehse et al. 2017).

Die Möglichkeit, bei Trockenheit Wasser aus alpinen Speicherseen für die Bewässerung im Mittelland bereitzustellen, wird als wenig praktikabel eingeschätzt. Die Hochgebirgsspeicher der Wasserkraft sind zu weit von den Bewässerungsgebieten entfernt und ihre Abflüsse werden durch die

Alpenrandseen zu stark gedämpft und verstetigt, um die Mittellandgewässer wirkungsvoll zu alimentieren (Brunner et al. 2019). Dagegen können hochalpine Speicherseen für die Bewässerung von Wiesen, Obst und Reben im Berggebiet sehr nützlich sein (Weingartner et al. 2014).

Im Mittelland oder im Jura kann eine dezentrale Wasserspeicherung in Teichen, Zisternen oder Swales (niedrige Erdwälle entlang der Höhenkonturen) dazu beitragen, die Bewässerung auch während Trockenperioden zu sichern. Der Wasservorrat kann ohne ökologische Folgen aus dem winterlichen Niederschlag oder bei hohem Abfluss aus den Fließgewässern bereitgestellt werden. Die Speichermenge ist allerdings durch den Flächenbedarf der Speicher beschränkt. Speicher können auf Ebene von Einzelbetrieben geschaffen werden, aber auch durch Gemeinden. Ein Beispiel dafür sind die Etangs von Savièse an der trockenen Nordflanke des Rhonetals im Wallis, die der Bewässerung von Weinbergen dienen (Municipalité de Savièse o. J.). Auch in St. Aubin im Kanton FR hat man gute Erfahrungen mit Speicherteichen (bassins d'irrigation) gemacht (Wehse et al. 2017).

So naheliegend bei Wassermangel die Erschliessung zusätzlicher Ressourcen sein mag, ohne eine Anpassung von Kulturen und eine grundlegende Überprüfung ihrer Anbautechniken wird sich die Schweizer Landwirtschaft nicht für die veränderten Bedingungen im Klimawandel wappnen können. Die Erforschung und Weiterentwicklung einer effizienten und wirtschaftlichen Wassernutzung verdient mindestens ebenso viel Aufmerksamkeit wie die Ausweitung des Wasserdargebots.

3.6 Wissenslücken, Forschungsbedarf

- Monitoring Wassernutzung für Bewässerung in der Schweiz (siehe 3.1.1, 3.1.3). Dies bedarf einer Gesetzesänderung mit Meldepflicht für Konzessionen und genutzte Wassermengen an Kanton und Bund.
- Erarbeitung von regionalen Bewässerungseignungskarten (aufgrund von Bodencharakteristiken der Schweiz)
- Erarbeitung von Bewässerungspotenzialkarten mit Möglichkeiten und Grenzen von Bewirtschaftungsmassnahmen im Hinblick auf Wasserbedarf und Wasserverfügbarkeit
- Neue Vollzugshilfe «Umweltschutz in der Landwirtschaft» (Modul Bewässerung)
- Vertiefung der Erkenntnisse aus den BAFU-Pilotprojekten zum Umgang mit Trockenheit
- Regionale Gesamtplanung ländlicher Raum (Super-Gesamtmelioration) unter Einbezug von Trockenheit und Hitze (siehe Pilotprojekt Bünz)
- Forschung zu Kulturen, die an Trockenheit und regionale Bedingungen angepasst sind
- Potenzial Umstieg von Sommer- auf Wintergetreide
- Sorghum Projekt: in welchem Umfang lässt sich Weizen/Mais durch wassergengügsame Hirse ersetzen (auch im Futterbau)?
- Untersuchung des Einflusses von Drainagen auf die Bewässerungsbedürftigkeit
- Klärung der Rolle von Grosstreibhäusern: wassersparender Gemüseanbau vs. Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Anrechnung als Fruchtfolgefläche?
- Einfluss der Bewässerung auf die Auswaschung von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln sowie deren Metaboliten in das Grundwasser (siehe 3.2)

3.7 **Literatur**

AWEL (2013)

[Kantonaler Trinkwasserverbund](#)

Baudirektion Kanton Zürich, Zürich

AWEL (o. J.)

[Allgemeine Nebenbestimmungen für Grundwasserrechte](#)

BABS (2020)

[Nationale Gefährdungsanalyse – Gefährdungsdossier Trockenheit](#)

Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern, 12 Seiten

BAFU (Hrsg., 2017)

[Nutzung von Fliessgewässern unter veränderten klimatischen Bedingungen](#)

Pilotprojekt 5 Basel-Landschaft

Impulse für eine klimaangepasste Schweiz.

Erkenntnisse aus 31 Pilotprojekten zur Anpassung an den Klimawandel

Umwelt-Info Nr. 1703, Bern, 96 Seiten

BAFU et al. (Hrsg., 2019)

[Hitze und Trockenheit im Sommer 2018](#) Auswirkungen auf Mensch und Umwelt

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909, 91 Seiten

Bauernverband Aargau (2019)

[Resolution «Bewässerungsmöglichkeiten sicherstellen!»](#)

Entwurf zuhanden der Generalversammlung am 10.04.2019

BFS (2018a)

Bewässerungsstatistik 2016. Unpublizierte Daten, persönliche Kommunikation

BFS (2018b)

[Weniger Landwirtschaftsbetriebe, aber immer mehr Bio-Betriebe](#)

Landwirtschaftliche Strukturerhebung 2017, Medienmitteilung vom 08.05.2018, Neuchâtel

Blunier, R. (2016)

[2,6 Millionen Salate auf 1,3 Hektaren.](#)

Schweizer Bauer vom 08.05.2016

BLW (2018)

[Weisungen und Erläuterungen vom 1. Januar 2019](#)

[zur Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft](#)

Bern

Bucher, C. (2013)

[Subventionierung von Bewässerungen – Evaluation von zwei subventionierten Bewässerungsprojekten im Kanton Freiburg](#)

Bachelor Thesis Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften

Bünemann, K. (2017)

Stickstoffeffizienz im Acker- und Gemüsebau für eine Reduktion des Nitratreintrages ins Grundwasser Projektantrag NitroGäu, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick

Brunner, M. I. et al. (2019)

[Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes](#)

Science of The Total Environment, No. 666, Seiten 1033 –1047

Chaix, O. et al. (2016)

[Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit](#)

BAFU, Bern

Dübendorfer, C. et al. (2016)

[Umgang mit Wasserressourcen in Ausnahmesituationen \(«Modul 3»\)](#)

Bericht im Auftrag des BAFU

Egli Engineering (2017)

[Entwicklung von Instrumenten zur Früherkennung und von Lösungsansätzen für die Thurgauer Land- und Ernährungswirtschaft beim Umgang mit Wasserknappheit](#)

Amt für Umwelt und Landwirtschaftsamt des Kantons Thurgau (Hrsg.), Frauenfeld

Fuhrer, J. et al. (2013)

[Water Demand in Swiss Agriculture – Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate the Impacts of Climate Change](#)

ART-Schriftenreihe 19, Agroscope

Fuhrer, J. et al. (2014)

[Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse](#)

Agrarforschung Schweiz No. 5, Seiten 62 – 68

Fuhrer, J. et al. (2017)

Wasserknappheit wegen Klimawandel? Modellrechnungen für die Broye

Aqua & Gas No. 6, Seiten 62 – 68

Geoportal Kanton Bern (o. J.)

[Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern](#)

Gmünder, C. (2017)

Wird die Bewässerung im Thurtal zur Konkurrenz für die Trinkwasserversorgung?

Vortrag anlässlich des Eawag-CHYN-PEAK-Kurses Landwirtschaft und Grundwasser am 10.11.2017

Gysel, N. (2016)

[Bewässerungsbedarf im Smaragdgebiet Oberaargau](#)

Masterarbeit Universität Bern

Hedinger, C. et al. (2017)

[Sommertrockenheit im Smaragdgebiet Oberaargau: Analyse und Handlungsmöglichkeiten](#)

Synthesebericht im Rahmen des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel», Bern

Hirschi, P. (2006)

[Seewasser für Kartoffeln und Gemüse](#)

Freiburger Nachrichten vom 03.03.2006

Hofer, S. et al. (2017)

[Entwicklung von Instrumenten zur Früherkennung und von Lösungsansätzen](#)

[für die Thurgauer Land- und Ernährungswirtschaft beim Umgang mit Wasserknappheit](#)

Pilotprojekt zur Anpassung an den Klimawandel, im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Frauenfeld, 74 Seiten

Holzkämper, A. et al. (2019)

[Klimawandel und Landwirtschaft – Neue Nutzungskonflikte um Wasser?](#)

Vortrag an der 6. Nachhaltigkeitstagung von Agroscope «Landwirtschaft im Klimawandel – forschen, entscheiden, umsetzen» am 24.01.2019

Kanton Wallis (2017)

[Études de faisabilité pour la mise en œuvre des mesures de lutte contre le gel pour l'arboriculture et la viticulture valaisanne](#)

Sion, 5 Seiten

Lanz, K. et al. (2014)

[Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck](#)

Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61

«Nachhaltige Wassernutzung», Bern, 82 Seiten

Lanz, K. (2016)

[Wasser im Engadin – Nutzung, Ökologie, Konflikte](#)

Studie im Auftrag des WWF

Lüscher, A. et al. (2019)

[Trockenstress im Grasland: Resistenz und Resilienz](#)

Vortrag an der 6. Nachhaltigkeitstagung von Agroscope «Landwirtschaft im Klimawandel – forschen, entscheiden, umsetzen» am 24.01.2019

Mannale, M. (2019)

[Thurgauer Bewässerungsprojekte kommen ins Rollen](#)

Thurgauer Bauer No. 4

Marbot, B. et al. (2013)

Wiesenbewässerung im Berggebiet.

Bericht des Agroscope-Forschungsprogramms AgriMontana, Ettenhausen und Zürich

Mathys, H. et al. (2009)

[Rechnet sich die Fertigation?](#)

UFA-Revue No. 3, Seiten 58 – 60

Mathys, U. (2019)

[«Wir fühlen uns im Stich gelassen»: Solothurner Wasserversorger fordern vom Bund Chlorothalonil-Verbot](#)

Solothurner Zeitung vom 15.11.2019

MeteoSchweiz (2018)

[Jahrhundert-Regenmangel](#)

Blog-Beitrag vom 20.08.2018

Migros Aare (2016)

[Hydrogewächshaus: Erwartungen übertroffen](#)

Müller, E. (2015)

[Wasser ist schlimmer als Trockenheit](#)

Freiburger Nachrichten vom 13.07.2015

Müller, U. (2019)

[Bewässerungsprojekt Furttal](#)

Agrar-Bericht 2019, BLW Bern

Municipalité de Savièse (o. J.)

[Les étangs](#)

NCCS (o. J.)

50 Projekte zu sechs Themen

[Webseite zum Pilotprogramm zur Anpassung an der Klimawandel des Bundesrates](#)

NCCS (2018)

[CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland](#)

Technical Report, National Centre for Climate Services, Zürich, 271 Seiten (ISBN: 978-3-9525031-4-0)

Noll, Christoph (2017)

Persönliche Mitteilung, AWEL Kanton Zürich, Email 05.10.2017

Reynard, E. (2002)

Hill irrigation in Valais (Swiss Alps). Recent evolution of common-property corporations

Proceedings of the 2nd International Seminar, held on 18 – 19 April 2002, Kathmandu, Nepal, Seiten 343 – 361

Rüsch, A. (2017)

[Bewässerung im Kartoffelbau](#)

Vortrag an der FiBL-Biokartoffeltagung in Frick

Smith, P. et al. (2015)

Ermittlung des Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft

Chaix, O. et al. (2016), Bestimmung von Regionen mit Handlungsbedarf bei Trockenheit (Modul 1). BAFU, Bern

SRF (2019)

[Die Migros baut doch keine Mega-Gewächshäuser im Wallis](#)

Regionaljournal Bern Fribourg Wallis vom 25.10.2019

Von Wattenwyl, N. (2015)

[Niedrigwasser im Smaragdgebiet Oberaargau](#) Masterarbeit Hydrologie, Universität Bern

Wehse, H. et al. (2017)

[Erarbeitung von Massnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen](#)

Bericht im Auftrag des BAFU («Modul 2»)

Weingartner, R. et al. (2014)

[MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel](#)

Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern (ISBN 978-3-9524412-0-6)

Wynistorf, A. et al. (2017)

[Raumrelevante Trends und Entwicklungen in der Landwirtschaft](#)

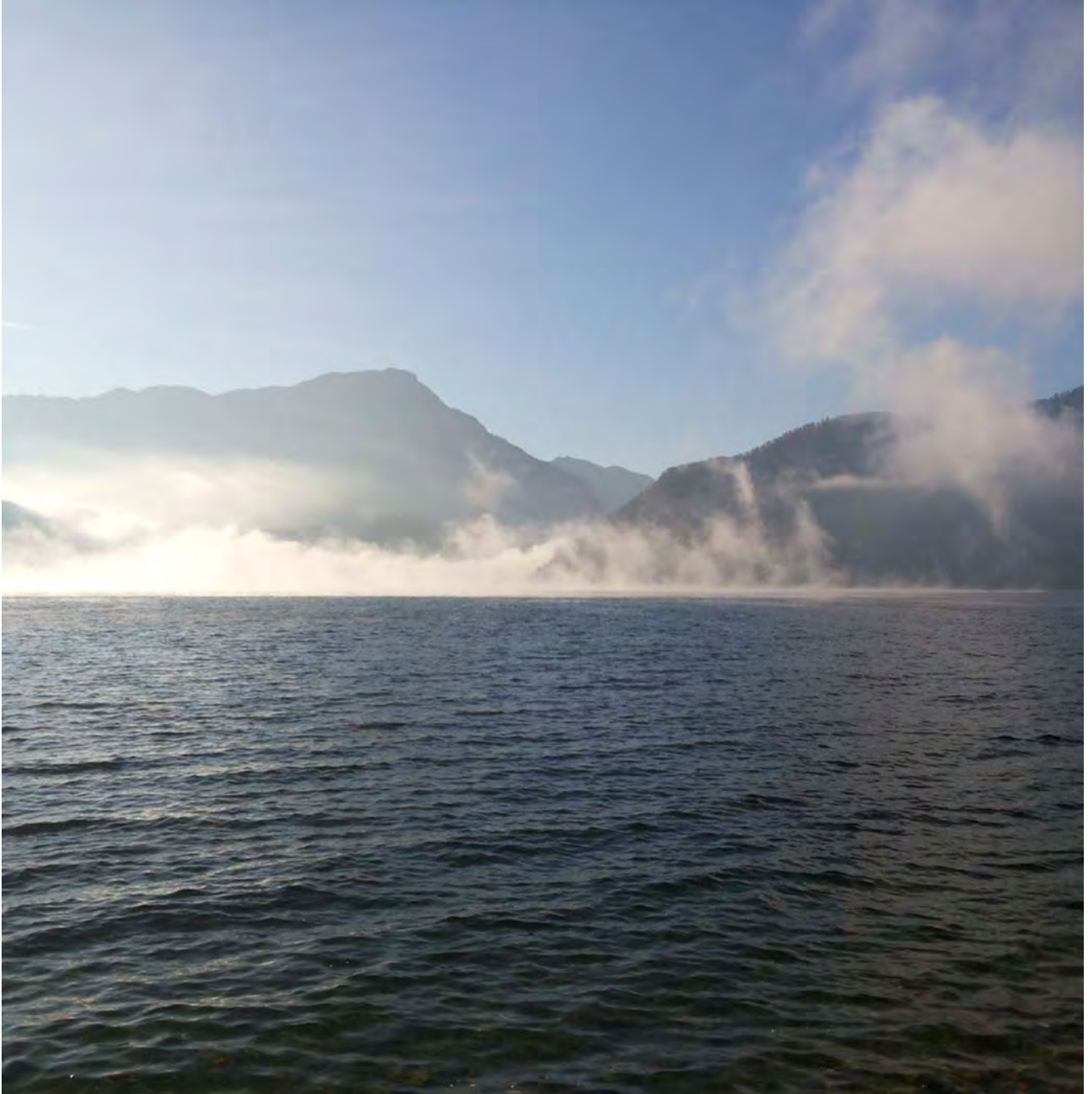
Regionalplanung Zürich und Umgebung RZU (Hrsg.), Zürich

ZGS (2019)

Entwicklung der Hors-sol-Kulturen in den letzten 10 Jahren

Friedli, D.: Leuthard setzt sich für Walliser Peperoni ein.

NZZaS vom 27.04.2019



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto © Adrien Gaudard, Eawag

Fachliche Begleitung **Adrien Gaudard** †, **Martin Schmid**, **Johny Wüest** Eawag

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Visuelle Gestaltung und Layout **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

4 **Thermische Nutzung**

Inhaltsverzeichnis

- 4.1 Aktuelle thermische Nutzung von Gewässern
 - 4.1.1 Fließgewässer
 - 4.1.2 Seen
 - 4.1.3 Grundwasser

- 4.2 Einfluss thermischer Nutzungen auf die Gewässer
 - 4.2.1 Fließgewässer
 - 4.2.2 Seen
 - 4.2.3 Grundwasser

- 4.3 Die Zukunft
 - 4.3.1 Auswirkungen des Klimawandels
 - 4.3.2 Sozioökonomische Veränderungen

- 4.4 Zielkonflikte
 - 4.4.1 Zielkonflikte mit anderen Gewässernutzungen
 - 4.4.2 Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz

- 4.5 Lösungsansätze:
Anpassung thermischer Nutzungen an den klimatischen und sozioökonomischen Wandel
 - 4.5.1 Wärmegewinnung
 - 4.5.2 Kühlung

- 4.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- 4.7 Literatur

Die immer wärmeren Flüsse werden für die Prozess- und Gebäudekühlung in Zukunft nur eingeschränkt nutzbar sein

Flüsse, Seen und Grundwasser stellen enorme Wärmereservoirs dar. Im Herbst und Winter können sie mit Wärmepumpen als CO₂-neutrale Wärmequelle genutzt werden, im Sommer dienen tiefe Seen, grosse Fließgewässer und Grundwasser zum Kühlen. Der Einsatz von Gewässern ist per Gesetz auf enge Temperaturintervalle begrenzt, Grundwasser z.B. darf in seiner Temperatur um höchstens 3°C verändert werden. Bei Flüssen und Seen ist vor allem die Rückgabe erwärmten Kühlwassers kritisch: bei Flüssen darf die Temperatur 25°C nicht übersteigen und Seen sollen durch die Einleitung von Kühlwasser nicht dauerhaft erwärmt werden. Eine positive Konsequenz der Klimaerwärmung ist, dass sich wärmeren Gewässern in der kalten Jahreszeit mehr Heizenergie entziehen lässt. Im Sommer allerdings schwindet das Kühlpotenzial. Daher sollte der Kühlbedarf von Gebäuden und Anlagen durch bauliche und technische Massnahmen minimiert werden, um Kühlwasserentnahmen aus Gewässern zu vermeiden. Zusätzlich sind bei der Wärmenutzung von Grundwasser Zielkonflikte mit dem Trinkwasserschutz zu beachten.

Résumé chapitre 4 utilisation thermique

Les rivières, les lacs et les eaux souterraines représentent d'énormes réservoirs de chaleur. En automne et en hiver, ils peuvent être utilisés avec des pompes à chaleur comme source de chaleur neutre en CO₂. En été, les lacs profonds, les grandes rivières et les eaux souterraines servent au refroidissement. L'utilisation de ces masses d'eau est limitée par la loi à des intervalles de température étroits. La température des eaux souterraines, par exemple, ne peut pas être modifiée de plus de 3°C. Dans le cas des rivières et des lacs, le retour de l'eau de refroidissement chauffée est particulièrement critique : la température des rivières ne doit pas dépasser 25°C et les lacs ne doivent pas être chauffés en permanence par le rejet de l'eau de refroidissement. Une conséquence positive du réchauffement climatique est que les eaux plus chaudes peuvent générer plus d'énergie de chauffage pendant la saison froide. En été, cependant, le potentiel de refroidissement diminue. Par conséquent, les besoins de refroidissement des bâtiments et des installations devraient être réduits au minimum par des mesures structurelles et techniques afin d'éviter les prélèvements d'eau de refroidissement. En outre, il faut tenir compte des conflits d'intérêts avec la protection de l'eau potable lors de l'utilisation des eaux souterraines comme source de chaleur.

Riassunto capitolo 4 uso termico

Fiumi, laghi e acque sotterranee rappresentano enormi serbatoi di calore. In autunno e in inverno, possono essere utilizzati con pompe di calore come fonte di calore neutrale di CO₂. In estate, laghi profondi, grandi fiumi e acque sotterranee servono per il raffreddamento. L'uso dei corpi idrici è limitato per legge a intervalli di temperatura ristretti, le acque sotterranee, ad esempio, non possono essere modificate nella loro temperatura di più di 3°C. Nel caso di fiumi e laghi, il ritorno dell'acqua di raffreddamento riscaldata è particolarmente critico: la temperatura dei fiumi non deve superare i 25°C e i laghi non devono essere permanentemente riscaldati dallo scarico dell'acqua di raffreddamento. Una conseguenza positiva del riscaldamento globale è che si può estrarre più energia per il riscaldamento dalle acque più calde durante la stagione fredda. In estate, invece, il potenziale di raffreddamento diminuisce. Pertanto, il fabbisogno di raffreddamento degli edifici e degli impianti dovrebbe essere ridotto al minimo mediante misure strutturali e tecniche per evitare il prelievo di acqua di raffreddamento dai corpi idrici. Inoltre, quando si utilizza l'acqua di falda per il riscaldamento, occorre tenere conto dei conflitti di interesse con la protezione dell'acqua potabile.

4 Thermische Nutzung

4.1 Aktuelle thermische Nutzung von Gewässern

Dank seiner hohen Wärmekapazität eignet sich Wasser sehr gut als Speicher- und Übertragungsmedium für Wärme. Die Gewässer stellen somit enorme Wärmereservoirs dar. Da sie die in der warmen Jahreszeit absorbierte Wärme nur langsam abgeben, können sie im Herbst und Winter zu Heizzwecken genutzt werden. Im Sommer hingegen bleibt die Temperatur vor allem in der Tiefe der Seen, in Bergflüssen und im Grundwasser deutlich unter der Lufttemperatur. Dies ermöglicht den Einsatz von Gewässern zur Kühlung von Gebäuden, Industrieanlagen und Kraftwerken.

4.1.1 Fließgewässer

Das Potenzial für die Nutzung grösserer Flüsse für die Gebäudeheizung ist erheblich (Gaudard et al. 2018). Mit dem Wärmegehalt des Rheins liesse sich, ohne dessen Temperatur wesentlich zu senken, rechnerisch der gesamte Heizbedarf der Stadt Basel decken (Sres 2016). Begrenzt wird die Nutzung durch Aufwand und Kosten für die nötigen Wärmeverteilnetze und durch die Konkurrenz näherer oder billigerer Wärmequellen (z.B. Grundwasser oder Erdgas). Deshalb ist die Nutzung von Flusswärme vor allem in unmittelbarer Ufernähe attraktiv.

Dementsprechend ist die Wärmenutzung von Flüssen in der Schweiz aktuell beschränkt. Die grösste Anlage der Schweiz war die vor kurzem eingestellte Wärmepumpe Walche in Zürich, die bis zu 10 MW Wärme für die Beheizung von ETH-Gebäuden bereitstellte (bei einer Limmatwasserentnahme von 2.4 m³/s) (ERZ 2013). In diesem Fall hat sich die Nutzung der Hochtemperatur-Abwärme einer Kehrlichtverbrennung als günstiger erwiesen. Ein weiteres Beispiel ist das neue Bürgerspital Solothurn, welches mit Aarewasser beheizt und gekühlt wird (Eicher+Pauli o. J.a).

Eine bedeutendere Rolle spielen die Fließgewässer für die Kühlung. Die grössten Nutzniesser und Wärmeemittenten sind die mit Aarewasser gekühlten Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau. Die beiden anderen Grosskraftwerke Gösgen und Leibstadt geben ihre Wärme über Kühltürme überwiegend in die Atmosphäre ab. Auch Kehrlichtverbrennungsanlagen haben einen grossen Kühlbedarf (siehe Tabelle 04-01). Eine schweizweite Übersicht über die industrielle Nutzung von Flusswasser für Kühlzwecke liegt derzeit nicht vor.

Tabelle 04-01

Fluss	Betrieb	Eingeleitete Wärmemenge [GWh/Jahr]
Aare	KKW Beznau I+II	8 300
Aare	KKW Mühleberg (bis Ende 2019)	6 400
Aare	KKW Gösgen	357
Rhein	KKW Leibstadt	880
Aare	KVA Emmenspitz	119
Reuss	KVA Luzern (bis 2015)	129
Limmat	KVA Turgi	173
Rhone	KVA Genf	465
Rhone	Raffinerie Collombey (bis 2015)	163
Rhein	Chemische Industrie Basel	700

In Flüsse abgeleitete Wärmemengen
einiger Grossanlagen
(Quelle: Gaudard 2017, Munz 2009)

4.1.2 Seen

Grosse Seen bieten erhebliche Potenziale für den Entzug von Wärme und für Kühlzwecke (Gaudard et al. 2018). Ihre praktische Nutzbarkeit für Wärmenutzungen ist allerdings geringer als das rechnerische Potenzial, wie es etwa der Verband Fernwärme Schweiz beziffert (Sres. 2014). Zwar leben in der Schweiz etwa 3 Millionen Menschen in direkt an Seen gelegenen Städten und Gemeinden. Ein grosser Teil der Liegenschaften ist aber auch in diesen Orten zu weit vom See entfernt für ein Fernwärmenetz. Realistisch mit aus Seewasser gewonnener Fernwärme versorgt werden könnten etwa 20% der seenahen Städte und Gemeinden, also etwa 600 000 Einwohner.

Limitiert wird die thermische Nutzung von Seewasser durch den physischen und finanziellen Aufwand für den Bau des Leitungssystems. Die Transportleitungen haben im Vergleich zu Erdgasleitungen einen wesentlich grösseren Querschnitt – je nach Gestaltung der Anlage mindestens acht Mal so gross. Aus Sicht der Betreiber ist eine reine Wärmenutzung derzeit oft nicht wirtschaftlich. Sie rechnet sich nur, wenn mit dem System zugleich grössere Mengen an Kühlung abgesetzt werden können (Rust 2017).

Voraussetzung für eine wirtschaftliche Wärmenutzung ist eine hohe Dichte an Abnehmern in Seenähe. So geht die Energieplanung der Stadt Zürich derzeit nur von einer begrenzten wirtschaftlichen Nutzbarkeit des Sees aus. Obwohl dieser rechnerisch mit seinem Wärmepotenzial die ganze Stadt versorgen könnte, sind andere Wärmequellen (Abwärme von ARA und KVA, ggf. Grundwasserwärme) finanziell günstiger und technisch einfacher zu erschliessen (Schmid 2017).

Bei bestehenden Anlagen wird das kalte Tiefenwasser im Sommer häufig direkt – ohne Wärmepumpen und damit ohne zusätzlichen Energieeinsatz – zur Kühlung von Industrieanlagen oder zur Klimatisierung verwendet («free cooling»). Solche Systeme müssen stets über getrennte Kreisläufe verfügen, um eine chemische Verschmutzung des genutzten Seewassers auszuschliessen.

Die meisten Anlagen, die Seewasser nutzen, können je nach Saison entweder Heizwärme oder Kühlung bereitstellen. Eine gute Übersicht über aktuell bestehende Seewassernutzungen findet sich unter <https://thermdis.eawag.ch/de>. Die grösste Anzahl von Anlagen befindet sich heute an Zürichsee, Genfersee, Zugersee, Bodensee und Vierwaldstättersee. Auch an kleineren Seen (Sempachersee, Hallwilersee, Baldeggersee, Pfäffikersee, Melchsee, St. Moritzersee) gibt es Anlagen, die Gebäude oder Industrieanlagen versorgen. Die älteste Grossanlage ist die kombinierte Kühl- und Heizzentrale von EPFL und Universität in Lausanne, die seit 1985 mit Wasser aus dem Genfersee Wärme und Kälte für die Hochschulen bereitstellt (derzeit 57%). Anders als die meisten Anlagen, die das genutzte Wasser erwärmt bzw. abgekühlt in den See zurückleiten, gelangt das Wasser in Lausanne (generell kühler) in verschiedene Flüsse, u.a. die Sorge (EPFL o. J.).

Abb. 04-01

Thermische Nutzung von Fluss- und Seewasser in der Schweiz
(Quelle: Gaudard 2017)

- in Betrieb Flüsse ■
- in Betrieb See ■
- geplant ○



Weitere Beispiele

- GeniLac, Genf
Heizung und Kühlung mit Genferseewasser (Wicht 2016)
- Nationales Hochleistungsrechenzentrum CSCS in Lugano-Cornaredo
Kühlung mit Wasser aus dem Luganersee (Gilli 2017)
- Pfäffikersee
Wärmeverbund Tumbelen/ Stogelen (Gemeindewerke Pfäffikon o. J.)
- Vierwaldstättersee
Energiering Küssnacht (Engie Services AG o. J.)

4.1.3 Grundwasser

Die Temperatur von Grundwasser, das nicht in direktem Austausch mit Fliessgewässern steht, ändert sich im Jahresverlauf kaum. In anthropogen wenig beeinflussten Gebieten liegt sie in der Schweiz winters wie sommers mit circa 10 bis 12°C nahe der atmosphärischen Jahresmitteltemperatur. Grundwasser wird daher bevorzugt für Heiz- und Kühlzwecke in Anspruch genommen. Die nutzbare Wasser- und damit auch Wärmemenge ist geringer als bei Seen und Flüssen und eignet sich vor allem für dezentrale Anwendungen bis 300 kW (Gewerbegebäude, kleine Wärmeverbünde). Für die Gebäudeheizung wird das Grundwasser in der Regel über eine Bohrung entnommen und nach der Nutzung im Abstrom in den gleichen Grundwasserkörper zurückgegeben. Dabei darf laut GSchV die Temperatur des Grundwassers um maximal 3°C abgesenkt werden. Wird Grundwasser für Kühlzwecke verwendet, wird es meist in ein Oberflächengewässer zurückgeleitet, um eine Aufwärmung des Grundwassers zu umgehen.

Auf Basis des Grenzwerts für die Temperaturänderung von +/- 3°C schätzt das Weissbuch Fernwärme Schweiz die theoretisch nutzbare Wärmemenge der Schweizer Grundwasservorkommen auf 12 TWh pro Jahr (Sres 2014). Dieser Wert beruht auf der Annahme, dass alle Grundwasservorkommen von einer Mächtigkeit über 10 Meter uneingeschränkt für die Wärmegewinnung genutzt werden können. Dies ist aus mehreren Gründen nicht realistisch. Einerseits birgt die Verletzung der schützenden Deckschicht die Gefahr einer Grundwasserverschmutzung (siehe 4.4.1). Daher ist eine thermische Nutzung in Grundwasserschutz zonen und deren Zustrom unerwünscht bzw. nicht erlaubt. Zum anderen machen spezielle hydrogeologische Verhältnisse die Nutzung von Grundwasser mancherorts unmöglich (z.B. gespannte Grundwasserleiter, spezielle Schichtungen,

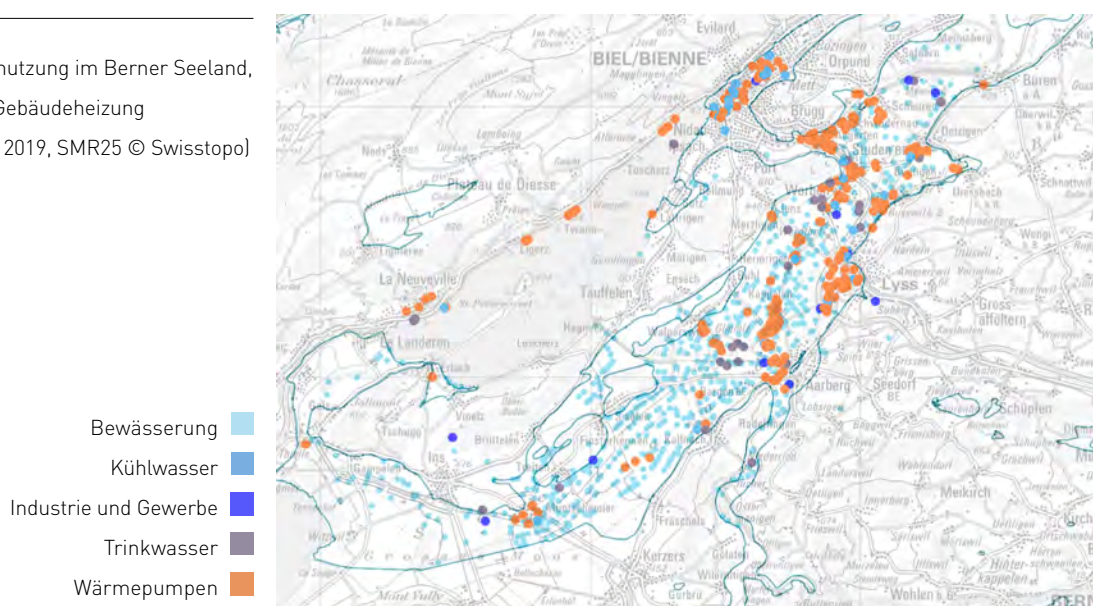
z.B. Kanton SO 2014). Da der Schutz des Grundwassers und bestehender Nutzungen stets Vorrang hat, ist das Ausbaupotenzial für die thermische Nutzung von Grundwasser vor allem im dicht besiedelten Mittelland eingeschränkt. Altlasten oder grössere Bauten im Grundwasser können die Wärmenutzung zusätzlich beeinträchtigen.

Naheliegender ist die Wärmenutzung bei bestehenden Grundwasserfassungen, die aus Qualitätsgründen bzw. wegen fehlender Grundwasserschutzzonen für die Trinkwasserversorgung nicht mehr geeignet sind. Bei Umnutzung dieser Fassungen zugunsten der Wärmegewinnung entfallen Bohr- und Erschliessungskosten, allerdings muss für die Ableitung des abgekühlten Wassers eine neue Lösung gefunden werden (z.B. Rückspeisung ins Grundwasser, Einleitung in Fliessgewässer).

Energiapolitisch ist die Wärmenutzung von Grundwasser wünschenswert. In den letzten Jahren hat sie dort am stärksten zugenommen, wo die Kantone entsprechende energiepolitische Vorgaben erlassen haben (z.B. im Kanton BE, siehe Abb. 04-02). Im Kanton St. Gallen wurden allein zwischen 2012 und 2016 über 500 Kleinanlagen (EFH) unter 36 kW gebaut (Anlagen unterhalb dieser Grösse sind gebührenfrei) (AWE 2017). Aus Gewässerschutzsicht ist diese Entwicklung unerwünscht, nicht nur weil die Bewilligungsbehörden durch die Vielzahl an Gesuchen für andere Aufgaben blockiert sind, sondern weil die vielen hundert neuen Bohrlöcher die Qualität des Grundwassers in Frage stellen. Andere Kantone, etwa Zürich und Solothurn, beschränken daher die Grundwasserwärmenutzung auf grössere Anlagen (siehe Kapitel 1.4.1).

Abb. 04-03

Intensive Grundwassernutzung im Berner Seeland, unter anderem für die Gebäudeheizung (AWA 2017, Datenstand 2019, SMR25 © Swisstopo)



Das beträchtliche Ausmass der Wärme- und Kühlungsnutzung von Grundwasser in der Schweiz veranschaulichen aktuelle Zahlen aus dem Kanton Solothurn (AfU 2017). Im Jahr 2016 wurden für thermische Nutzungen 13.2 Mio. m³ Grundwasser gefördert (wovon 65% wiederversickert und 35% in Fliessgewässer eingeleitet wurden). Zum Vergleich: der gesamte Trink- und Löschwasserbedarf des Kantons Solothurn lag 2016 mit 16.6 Mio. m³ nur wenig darüber. Die Tendenz ist weiter zunehmend, so dass Wärmegewinnung und Kühlung in einigen Regionen die Trinkwasserversorgung als bedeutendste Grundwassernutzung ablösen könnten. Im Kanton Tessin ist dies bereits der Fall (siehe Abb. 04-03).

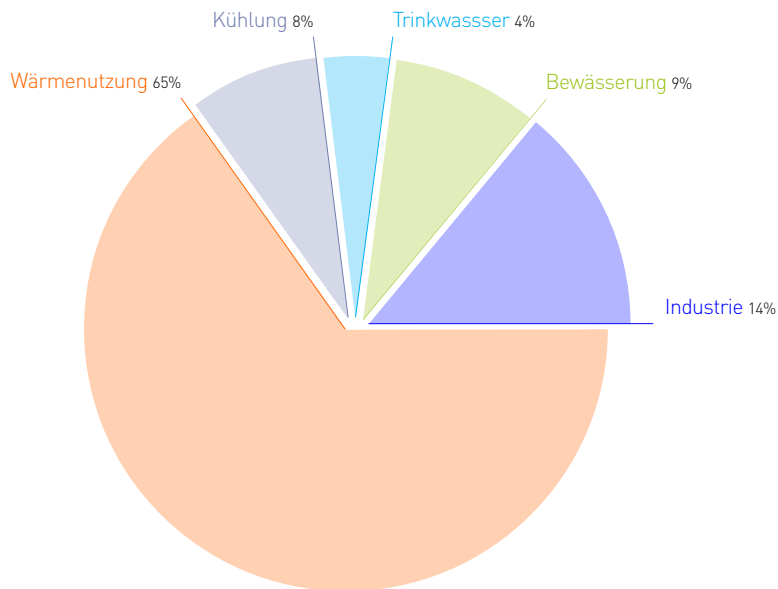


Abb. 04-02

Konzessionierte Pumpenleistungen für verschiedene Nutzungen von Grundwasser im Kanton Tessin in den Jahren 1997 – 2014 in Prozent (Repubblica e Cantone Ticino 2015)



4.2 Einfluss thermischer Nutzungen auf die Gewässer

Wird erwärmtes oder abgekühltes Wasser in grossen Mengen in Gewässer eingeleitet, kommt es zu Verlagerungen im Wasserkörper, wodurch Temperatur, Strömungen und zahlreiche Prozesse beeinflusst werden. In erwärmten Bereichen ist die Konzentration von Gasen (O₂, CO₂) herabgesetzt, chemische und biologische Prozesse laufen beschleunigt ab. Die Reaktionen aquatischer Biozönosen auf diese Änderungen der physikalischen und chemischen Bedingungen sind vielfältig. Die wichtigsten Wirkungen wurden von Gaudard et al. (2017) zusammengefasst. Viele Änderungen sind von lokalen Besonderheiten abhängig und zeigen sich oft erst zeitverzögert (Mulhollem et al. 2014). Die aktuell geltenden eidgenössischen und kantonalen Vorschriften für die thermische Seewassernutzung wurden kürzlich für das BFE zusammengestellt (BFE 2017).

4.2.1 Fließgewässer

Bei Fließgewässern steht die Kühlnutzung im Vordergrund. Die Rückgabe erwärmten Kühlwassers in den Fluss führt zu einer lokalen Erwärmung im Umfeld der Einleitstelle. In wenig turbulenten Flüssen wie dem Rhein findet die laterale Einmischung des erwärmten Kühlwassers (quer zur Fließrichtung) nur langsam statt. Die Einleitfahne kann dem Ufer mehrere Kilometer flussabwärts folgen, ohne dass eine vollständige Durchmischung stattfindet. Die lokale ufernahe Erwärmung ist daher grösser als die auf Basis einer vollständigen Durchmischung errechnete Temperaturerhöhung. Dies ist auch bei der Wirkung auf das aquatische Ökosystem zu berücksichtigen.

Die grössten Punktquellen für thermische Gewässerbelastungen in der Schweiz sind die Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau mit direkter Flusswasserkühlung (free cooling). Auch eine Vielzahl anderer Quellen (KVA, ARA, Industrieanlagen) leitet erwärmtes Abwasser oder Kühlwasser in die Flüsse ein, allerdings in geringerem Mass (siehe Tabelle 04-01). Wie stark sich die Temperatur des Flusses dabei erhöht, hängt von dessen Wasserführung ab. Kleine und mittlere Fließgewässer werden durch die Einleitung von Kühlwasser stärker beeinflusst. An grossen Flüssen wie Rhein und Aare entstehen kritische Situationen vor allem dann, wenn in trockenen Sommern niedriger Abfluss und hohe Temperatur zusammenkommen.

Bei erhöhter Flusswassertemperatur ändern sich physikalische, chemische und biologische Prozesse und beeinflussen die Gewässerökologie. Da die Körpertemperatur von Fischen und Makroinvertebraten von der Wassertemperatur gesteuert wird, sind deren Fortpflanzung, Wachstum und Wanderung betroffen. Allgemein erhöhen sich Metabolismus und Nahrungsaufnahme. Langfristig ändert sich die Artenzusammensetzung zugunsten wärmeliebender Arten, unerwünschte Neophyten können sich auf Kosten einheimischer Arten durchsetzen. Kälteliebende Arten können allenfalls in höher gelegene Flussabschnitte oder kühlere Zuflüsse abwandern (IKSR 2013).

Um die Erwärmung der Gewässer durch Kühlwassereinleitungen zu begrenzen, knüpft die Gewässerschutzverordnung (GSchV) deren Bewilligung an Bedingungen (Anhänge 2 und 3.3). 2018 wurden die rechtlichen Bestimmungen für Wärmeeinleitungen als Reaktion auf die im Sommer immer höhere Temperatur des Rheins gelockert. Neu darf Kühlwasser auch bei Flusstemperaturen über 25°C eingeleitet werden, wenn dies nach dem Stand der Technik nicht vermeidbar ist (BAFU 2017). Auch die Höchst-

temperatur des eingeleiteten Wassers von früher 30°C darf nun überschritten werden. Die einleitenden Betriebe müssen für jede Einleitung nachweisen, dass die zusätzliche Erwärmung des Flusses 0.01°C nicht übersteigt. Dieser Nachweis erfolgt rechnerisch und unter der Annahme, dass sich das eingeleitete Wasser vollständig mit dem gesamten Wasser des Rheins vermischt. Wie Abb. 03-04 zeigt, ist eine vollständige Vermischung wenig realistisch, so dass im Abstrom von Kühlwassereinleitungen lokal deutlich grössere Erwärmungen auftreten dürften.

Abb. 04-04



Ein Uranin-Färbeversuch des Rheins in Basel im Rahmen des Projekts Birs Vital 2001 belegte die hohe Persistenz von Einleitungsfahnen in Flüssen (AUE 2001). Eine vollständige Durchmischung erfolgt erst nach mehreren Kilometern

In heissen Jahren muss die Leistung der Kernkraftwerke mitunter reduziert werden, um einen übermässigen Anstieg der Aaretemperatur zu vermeiden (2003, 2006, 2013, 2015, 2018, 2019). Andere Wärmeeinleitungen (ARA, Industrie- und Gebäudekühlung) lassen sich wesentlich schlechter regulieren. Angesichts infolge des Klimawandels ohnehin steigender Gewässertemperaturen ist es aber das Ziel, den zusätzlichen Wärmeeintrag möglichst gering zu halten und die Nutzung von Flusswasser zu Kühlung nicht weiter zu steigern.

4.2.2 Seen

Bei der Nutzung von Seen für Kühlung oder Heizzwecke sind deren hydrologische und ökologische Besonderheiten zu berücksichtigen, insbesondere die typischen Temperaturprofile mit sommerlicher Schichtung und winterlicher Zirkulation (Gaudard et al. 2017). Die winterliche Tiefenmischung ist essenziell für das Seeökosystem und soll nicht beeinträchtigt werden. Werden grosse Mengen Wasser in einen See eingebracht, verändern sich die natürliche Schichtung und die Lebensbedingungen der davon abhängigen Organismen. Dabei spielen die Dichte des zurückgeleiteten Wassers – überwiegend durch die Temperatur bestimmt – und die Einleitungstiefe eine entscheidende Rolle.

Ausser der Temperaturveränderung ist die Verlagerung von Wassermengen zu beachten, wenn also die Rückgabe des Wassers in einem anderen Tiefenbereich stattfindet als die Entnahme. Entzieht man einem See in z.B. 30 Metern Tiefe grosse Mengen kühles Wasser, senken sich die darüber gelegenen Schichten ab. Es kann daher sinnvoll sein, die Wasserentnahme zu begrenzen, indem man einen höheren Temperaturhub nutzt. Lässt man eine Erwärmung des entnommenen Wassers um 10°C (z.B. von 8° auf 18°C) statt nur um 3°C zu, muss man weit geringere Wassermengen entnehmen.

Wärmeentzug (Heizzwecke im Herbst, Winter und Frühjahr)

Im Winter, wenn die Seen weitgehend homogen gemischt sind, beeinflusst der Entzug von Wasser das System am wenigsten. Bei der Rückleitung in den See kann sich das abgekühlte Wasser in der Regel über die gesamte Wassersäule verteilen. Das ist im Winter so lange unproblematisch, wie keine extreme Abkühlung des gesamten Seevolumens (über 0.5°C) erfolgt.

Wärmeeintrag (Kühlung)

Anspruchsvoller ist die Nutzung von Seewasser zur Kühlung, denn die hiesigen Seen sind in den Sommermonaten entlang des Temperaturgefälles stabil geschichtet. Das Leben im See ist in vielfältiger Weise von dieser Schichtung abhängig.

Die eigentliche Herausforderung bei der Kühlnutzung ist die Rückleitung des erwärmten Wassers. Werden grosse Warmwassermengen in einen See eingebracht, schichten sich diese entsprechend ihrer spezifischen Dichte in den Wasserkörper ein und verändern die natürliche Schichtung. Dies ist besonders bei solchen Seen kritisch, die nicht vollständig zirkulieren (z.B. Luganersee, Lago Maggiore). Um eine Schichtungsstabilisierung zu vermeiden, werden grosse Kühlwassermengen oder solche

von hoher Temperatur (deutlich über 20°C) in der Regel in grösserer Tiefe unterhalb der Sprungschicht (Thermokline) eingebracht (siehe Abb. 04-04). Da in diesem Fall keine Energie an die Atmosphäre abgegeben werden kann, bleibt während des Sommers die gesamte Kühlwasserwärme unterhalb der Thermokline gespeichert. Je nach Grösse des Sees und eingeleiteter Wärmemenge kann sich so der gesamte See erwärmen.

Zu beachten ist neben der Temperatur auch der Nährstoffgehalt. In der Regel ist in Schweizer Seen in der Tiefe entnommenes kühles Wasser nährstoffreicher als das Oberflächenwasser. Daher muss die Rückleitung ebenfalls im Tiefenwasser erfolgen und die Einschichtung unterhalb der Thermokline stattfinden. Eine oberflächliche Rückleitung nährstoffreichen Wassers kann eine unerwünschte Verstärkung des Algenwachstums zur Folge haben.

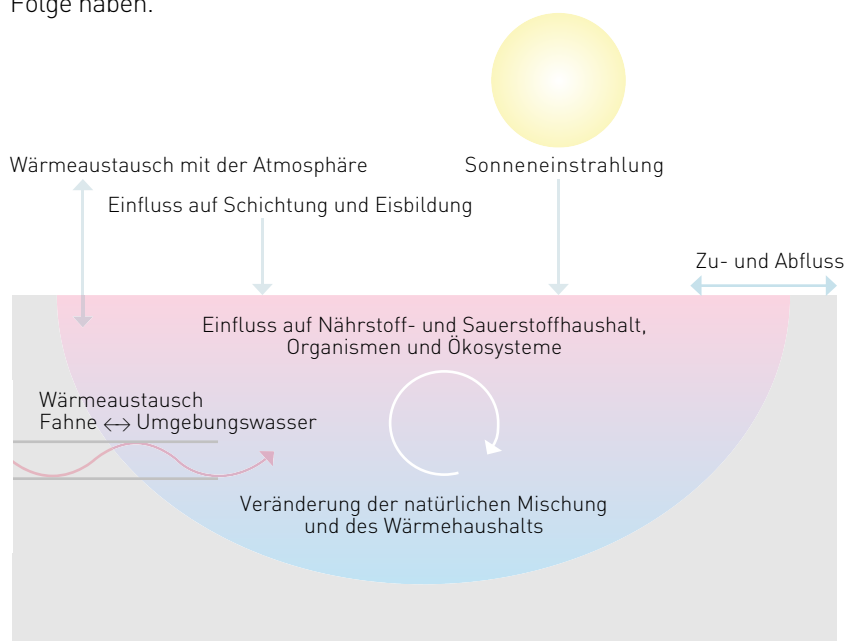


Abb. 04-05

Prozesse in Seen,
die durch Wärmeeinträge verändert werden können
(Gaudard et al. 2017)

4.2.3 Grundwasser

Bei der Nutzung von Grundwasser für Kühlung oder Heizung wird das Wasser nach Gebrauch meist wieder in den Grundwasserkörper versickert. Dadurch erwärmt sich der Grundwasserleiter oder er kühlt sich ab. Gemäss GSchV soll die thermische Nutzung von Grundwasser dessen Temperatur um nicht mehr als 3 °C gegenüber dem natürlichen Zustand verändern (ab 100 Meter vom Ort der Einleitung).

Zu beachten ist aber, dass die Temperaturverhältnisse des Grundwassers in der Schweiz vielerorts bereits anthropogen beeinflusst sind. Die

Wärmeabstrahlung von ins Grundwasser ragenden Bauten wie Tunnels, Tiefgaragen oder der Kanalisation beeinflusst die Temperatur des vorbeiströmenden Grundwassers, sie kann in Stadtgebieten um mehrere Grad Celsius erhöht sein (Epting et al. 2014). In den Kantonen BS und BL lässt sich dies für 33 von 82 Messstationen nachweisen (AUE 2017). Wo Grundwasser zu Zwecken der Trinkwasserversorgung künstlich angereichert wird wie etwa im Birstal, folgt seine Temperatur der des infiltrierenden Oberflächenwassers (AUE 2015).

In urbanen Gebieten mit anthropogen erhöhter Grundwassertemperatur sollte daher ein weiterer Eintrag von Wärme (also die Rückleitung von erwärmtem Kühlwasser) vermieden werden. Dagegen kann der Entzug von Wärme für die Gebäudeheizung positiv wirken, da er zu einer Abkühlung erwärmter Grundwasserkörper beiträgt. Der Kanton BS erwägt, monetäre Anreize zum Ausbau der Wärmenutzung mit Grundwasser einzuführen (AUE 2017).

Für einige Städte wurden die Temperaturveränderungen im Grundwasser, unter anderem durch thermische Nutzungen, kartiert (z.B. Basel, Limmattal Stadt Zürich). Es zeigen sich Wärme- bzw. Kältefahnen, die sich je nach Mächtigkeit des Grundwasserstroms über einige hundert Meter auswirken. Die Bewilligungsbehörden achten darauf, dass sich die Fahnen verschiedener Nutzungen nicht überlagern und verstärken und es so zu unerwünschten Temperaturänderungen kommt. Auch dürfen thermische Nutzungen im Abstrom nicht beeinträchtigt werden.

Die maximale Temperaturänderung der GSchV von +/- 3°C hat zum Ziel, einen weitgehend natürlichen Zustand des Grundwassers zu erhalten. Dadurch sollen der ortstypische Chemismus (etwa das Lösen und Ausfällen von Mineralien) sowie die Biozönosen im Grundwasser geschützt werden. Denn auch das Grundwasser ist ein Lebensraum (Baumgartner 2015). Bisher konnten rund 2 000 Arten von Kleinlebewesen wie Strudelwürmer, Rädertierchen oder Wassermilben identifiziert werden, die in europäischen Grundwasserleitern leben und durch ihre Stoffwechselprozesse zur Qualität des Grundwassers beitragen (Stein 2012). Hinzu kommt eine Vielzahl von Mikroben (Köttsch 2014). Die GSchV schützt eine naturnahe und standortgerechte Biozönose auch im Grundwasser. Allerdings gibt es noch keine eingehenden Untersuchungen, wie sich die Einleitung erwärmten oder abgekühlten Wassers in einen Grundwasserleiter auf die Biozönosen auswirkt und ob dies bei Bewilligungen berücksichtigt werden sollte.

Abb. 04-06



Der 0.3 mm grosse Ruderfusskrebs
Stygepactophanes jurassicus wurde bisher nur im
Grundwasser des Schweizer Jura gefunden
(Quelle: wikipedia, Totodu74)

4.3 Die Zukunft

4.3.1 Auswirkungen des Klimawandels

Der Klimawandel wird die Gewässer erwärmen, und zwar saisonal unterschiedlich. Tendenziell wird dies Wärmenutzungen im Winter erleichtern und das Kühlpotenzial in den Sommermonaten verringern (vor allem wegen Grenzen für die Rückleitung erwärmten Kühlwassers). Die klimabedingten Temperaturänderungen sind umso ausgeprägter, je mehr ein Gewässer von der Lufttemperatur beeinflusst wird. Flüsse folgen der Atmosphärentemperatur mit leichter Verzögerung, grosse und tiefe Seen reagieren aufgrund ihres Volumens viel langsamer, und bei oberflächenfernem Grundwasser lassen sich Veränderungen erst nach Jahren messen (Figura et al. 2013).

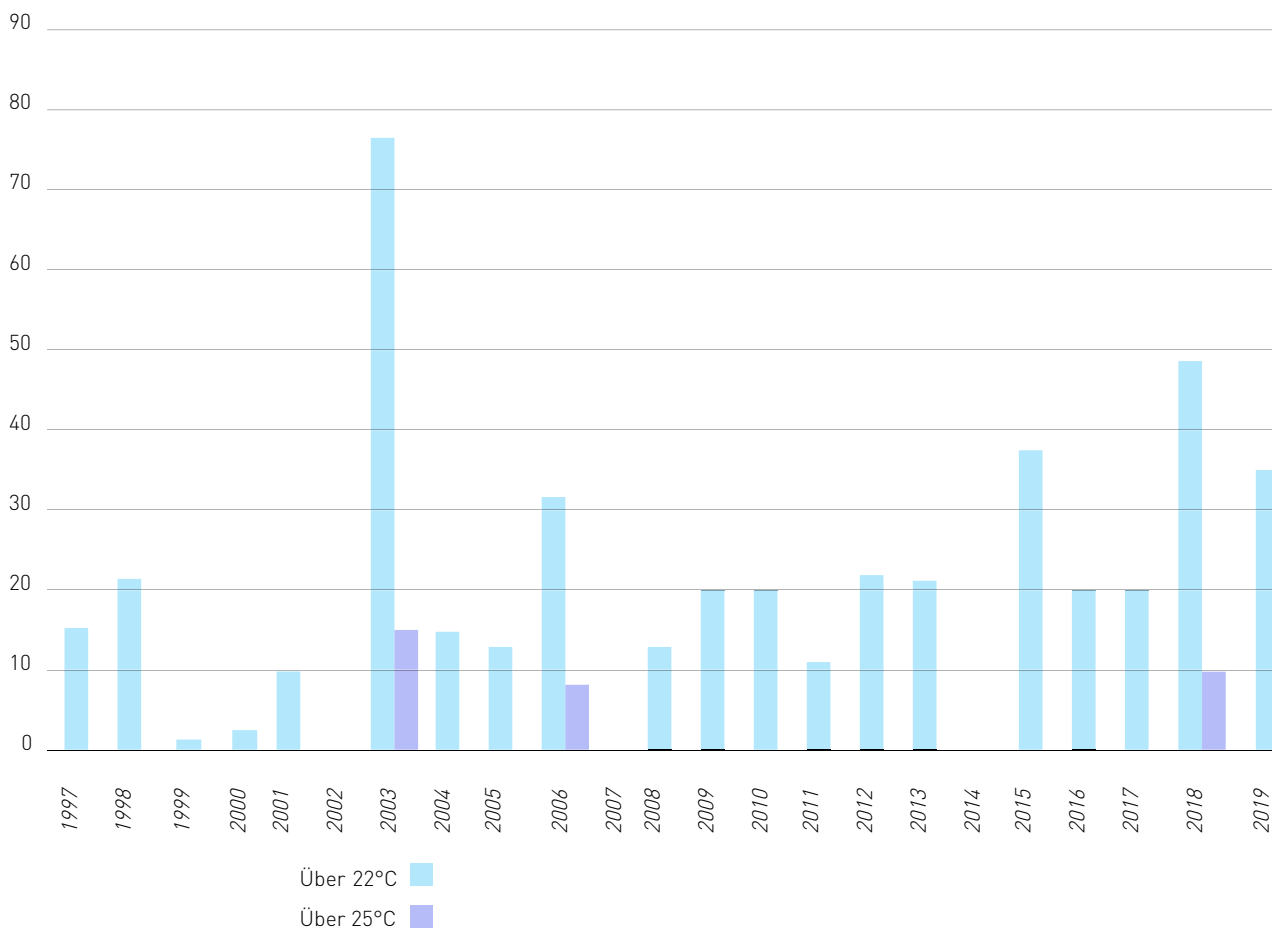
Fliessgewässer

Bei Fliessgewässern hängt das Aufnahmevermögen für Wärme zudem von den Abflussmengen ab. Gehen die sommerlichen Abflüsse in Zukunft wie erwartet zurück, vermindert sich auch das Potenzial, den Flüssen Kühlwasser zu entnehmen und es erwärmt zurückzuleiten. In Normaljahren unproblematische Wärmeeinleitungen können in abflussarmen Zeiten eine thermische Überlastung bewirken.

In den meisten Jahren übersteigt die Temperatur des Rheins in Basel die Marke von 22°C für einige Wochen (siehe Abb.04-07). Um die Kühlung auch an heissen Sommertagen dauerhaft zu gewährleisten, haben einige Grossverbraucher auf flussunabhängige Systeme umgestellt oder planen dies (z.B. in Basel: Roche-Turm, Novartis Campus, Universitätsspital) (Sres 2016). Diese Abkehr von der Flusskühlung dürfte sich fortsetzen, denn auch die Grenztemperatur von 25°C wird immer wieder überschritten, oberhalb der laut GSchV die Einleitung von erwärmtem Kühlwasser nur ausnahmsweise in engen Grenzen gestattet ist (siehe 4.2.1).

Abb. 04-07

Anzahl Tage, an denen der Rhein eine Tagesmitteltemperatur von 22°C bzw. 25°C überschreitet (eigene Darstellung; Quelle: hydrodaten.admin.ch) (Daten 2019 vorläufig)



Das Wärmenutzungspotenzial der Fließgewässer dürfte im Winter leicht zunehmen (höhere durchschnittliche Wintertemperatur, höherer winterlicher Abfluss). Es bleibt aber die Ungewissheit sehr kalter Winter, wenn wegen tiefer Wassertemperaturen nur noch wenig Wärme entzogen werden kann.

Seen

Die Alpenrandseen in der Schweiz erfahren durch den Klimawandel sowohl eine Erwärmung als auch eine Veränderung der saisonalen Hydrologie. Der Durchfluss im Winter erhöht sich, während die Menge des aus der Schneeschmelze stammenden Abflusses im Frühjahr und Sommer deutlich zurückgeht und sich zeitlich nach vorne verschiebt. Dies wird auch die Temperaturschichtungen und den Wasseraustausch in den Seen verändern.

Tendenziell dürften sich dadurch die Bedingungen für eine Wärmeentnahme im Winter eher verbessern (mehr Durchfluss, höhere Temperatur). Bei der Entnahme von Kühlwasser dagegen müssen neben einer höheren Temperatur auch stabilere Schichtungsverhältnisse berücksichtigt werden, sowohl bei der Entnahme als auch bei der Rückleitung. Diese sollten durch die Rückleitung thermisch genutzten Wassers nicht zusätzlich verstärkt werden.

Grundwasser

Grundwasserkörper reagieren auf Veränderungen der Atmosphärentemperatur sehr unterschiedlich, je nachdem wie stark sie von Infiltration aus Oberflächengewässern beeinflusst werden (Figura 2013). Für thermische Nutzungen ist Grundwasser von ganzjährig stabiler Temperatur am sinnvollsten, es bietet sich auch für kombinierte Kühl- und Wärmenutzungen an. Solche meist tieferen Grundwasservorkommen werden sich mit dem Klimawandel zwar ebenfalls allmählich erwärmen, aber auch in Zukunft im Hochsommer deutlich kühler, im Winter deutlich wärmer als die Atmosphäre sein.

Allerdings zeigte sich 2018, dass die thermische Nutzbarkeit von Grundwasser auch durch Trockenheit beeinträchtigt sein kann. So meldete der Kanton St. Gallen, dass im November und Dezember 2018 im Raum Gossau wegen tiefer Grundwasserstände keine Wärmepumpen betrieben werden konnten. Auch im Kanton Glarus traten solche Probleme auf (Tratschin et al. 2019).

Der Kühl- und Heizbedarf fällt in der Schweiz überwiegend in dicht besiedelten Regionen des Mittellands und der grossen Alpentäler an. In diesen Bereichen befindet sich das Grundwasser überwiegend in Lockergesteinsformationen, die vielfach in intensivem Austausch mit Fließgewässern stehen und daher ausgeprägte saisonale Schwankungen von Temperatur und Wasserstand aufweisen können. Bei der Planung und Optimierung thermischer Nutzungen muss daher sowohl die Mächtigkeit

des Grundwasserstroms als auch die Dynamik der natürlichen Temperaturverhältnisse im Untergrund evaluiert werden. Die klimabedingten Änderungen können bei solchen Grundwasservorkommen in der gleichen Grössenordnung liegen wie bei Fliessgewässern.

4.3.2 Sozioökonomische Veränderungen

Das Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung dürfte die Nachfrage vor allem nach Kühlung verstärken, auch mithilfe von Gewässern. Der Heizbedarf dürfte bei höheren Temperaturen und durch besser isolierte Gebäude deutlich sinken. Gleichzeitig hat der beobachtete und erwartete Klimawandel in der Schweiz eine Vielzahl von Aktivitäten ausgelöst, einerseits mit dem Ziel, den CO₂-Ausstoss zu vermindern, andererseits als Anpassung an höhere Temperaturen und eine sich verändernde Hydrologie.

Erneuerbare Wärme zur Einsparung von CO₂

Im Wärmemarkt sind die Entwicklungen besonders ausgeprägt, da die Beheizung und Kühlung von Gebäuden und industriellen Prozessen einen bedeutenden Anteil der schweizerischen Energienutzung ausmacht und ein entsprechend grosses Einsparpotenzial für CO₂ bietet. Mit der Umstellung von Öl- und Gasheizungen auf erneuerbare Wärmequellen lassen sich diese Dienstleistungen potenziell CO₂-frei bereitstellen.

Das Weissbuch Fernwärme macht enormes Wärmepotenzial in den Gewässern aus. Während die Kühlung mit Wasser schon seit Jahrzehnten eine grosse Rolle spielt, gibt es inzwischen auch Tausende von meist kleinen Anlagen, die den Gewässern Wärme entziehen. Hier besteht weiteres Potenzial, in erster Linie bei grossen, siedlungsnahen Seen, Flüssen und Grundwasservorkommen.

Bevor allerdings die thermische Nutzung von Gewässern weiter ausgebaut wird – was stets das Risiko ökologischer Folgen oder des Konflikts mit anderen Wassernutzungen birgt –, sollten auch andere Wärmequellen evaluiert werden. Das Weissbuch Fernwärme macht darauf aufmerksam, dass insbesondere bei der Abwärme industrieller Anlagen noch enormes Potenzial besteht. Die industrielle Abwärme ist oft von hoher Temperatur und daher effizient nutzbar. Z.B. baut ein grosser Industriebetrieb in Lyss im Berner Seeland (14 700 Einwohner), dessen Abwärme die gesamte Stadt beheizen könnte, derzeit ein Fernwärmenetz auf (Stadt Lyss 2019). Eine vollständige Bilanzierung der industriellen Abwärmepotenziale liegt bisher nur für den Kanton Wallis vor (Kuchler 2012).

Zunehmender Kühlbedarf

In wärmeren Sommern und während möglichen Hitzeperioden wird die Nachfrage nach Gebäude- und Prozesskühlung steigen. Die meisten bestehenden Kühlsysteme können baulich und energetisch noch optimiert werden, so dass der Kühlbedarf auch bei höheren Temperaturen nicht steigen muss. Dazu hat Energie Schweiz zusammen mit dem BFE und dem Schweizerischen Verein für Kältetechnik SVK die Informations- und Ausbildungskampagne «Effiziente Kälte» lanciert. Im Mittelpunkt stehen konstruktive Anpassungen der gekühlten Gebäude (z.B. durch Abschirmung direkter Sonneneinstrahlung), die den Kühlbedarf mindern und so Energie und Kosten sparen.

Wo Wasser als Kältequelle benötigt wird, sind jene Gewässer zur Nutzung prädestiniert, deren Temperatur wenig von der Lufttemperatur beeinflusst wird, also das Tiefenwasser von Seen, Flüsse mit einem alpinen Einzugsgebiet und (tieferes) Grundwasser. Angesichts des Erneuerungs- und Optimierungspotenzials bei bestehenden Anlagen und energieeffizienteren Neubauten sollten sich zusätzliche Gewässernutzungen für Kühlzwecke aber trotz Klimawandel begrenzen lassen.

4.4 Zielkonflikte

4.4.1 Zielkonflikte mit anderen Gewässernutzungen

Fliessgewässer und Seen

Die thermische Nutzung von Fliessgewässern und Seen wirkt sich in erster Linie auf deren Ökologie aus, indirekt auch auf die Fischerei. Die entsprechenden Effekte werden im Abschnitt 4.4.2. (Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz) besprochen.

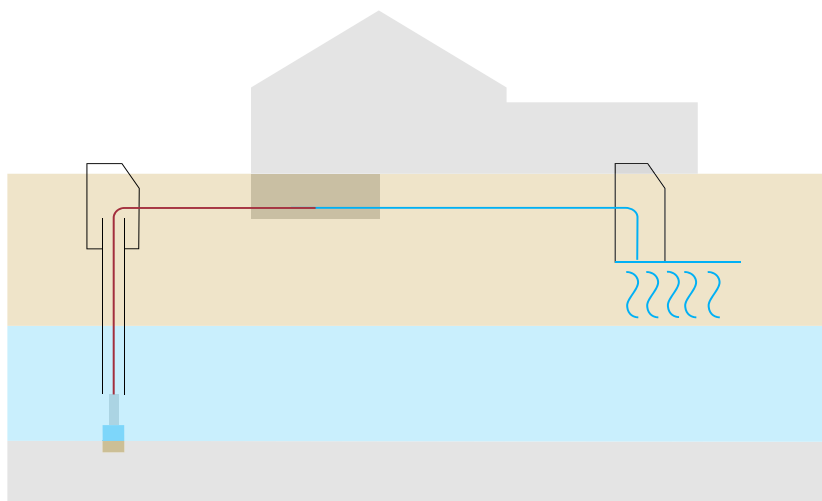
Grundwasser

Die thermische Nutzung von Grundwasser ist in der Regel mit Entnahme- und Rückgabebohrungen oder einer Versickerungseinrichtung für das genutzte Grundwasser verbunden. Diese Eingriffe verletzen die schützende Deckschicht des Grundwassers und stellen Pfade für den potenziellen Eintrag von Schadstoffen dar (siehe Abb 04-08).

Eine Grundwasserwärmenutzung ist besonders dort attraktiv, wo sich ausreichende Grundwasservorkommen befinden und wo viele Bezüger konzentriert sind. Der Verband Fernwärme Schweiz identifiziert daher vor allem die dicht besiedelten Tallagen des Mittellands und der grossen Alpentäler als Nutzungsschwerpunkt. Damit sind jene Grundwasservorkommen im Fokus, die auch das Rückgrat der Trinkwassergewinnung der Schweiz bilden. Es besteht ein direkter Zielkonflikt.

Abb. 04-06

Stets mit zwei Bohrungen ins Grundwasser verbunden, birgt die Grundwasserwärmenutzung das Potenzial von Schadstoffeinträgen in Vorkommen, die als Trinkwasser genutzt werden.



Die meisten Kantone beschränken die Grundwasserwärmenutzung auf Gebiete ausserhalb von Grundwasserschutz- und Schutzarealen. Soll die Rückgabe im Zustrom einer Schutzzone erfolgen, müssen im Kanton ZH mindestens 200 Meter Abstand eingehalten werden. Um eine Vielzahl von Kleinanlagen mit entsprechend vielen Verletzungen der Bodenschicht zu vermeiden, werden dort inzwischen nur noch grössere Anlagen (Kantone SH, TG, ZH mindestens 100 kW, BL, GR, SO, SZ mindestens 50 kW) bewilligt, zumindest in Bereichen, die sich zur Trinkwassergewinnung eignen. Die anderen Kantone kennen keine Untergrenze für Wärmenutzungen des Grundwassers oder beschränken die Nutzung über die Gebäudequalität (EnergieSchweiz 2017).

Gewöhnlich befinden sich die Bewilligungsbehörden für Grundwasserwärmeanlagen und die Aufsicht über die Trinkwasserversorgung in verschiedenen Abteilungen oder gar Direktionen der Kantonsverwaltung. Energiepolitische Zielsetzungen und die Sicherung der Trinkwasserversorgung können daher unbemerkt in Konflikt geraten. Dies drückt sich auch in einem Bericht des Kantons Zürich über die Koordination von Grundwasserwärmenutzungen aus, der sich ausführlich mit der unerwünschten Überlagerung von Kälteeffekten befasst (Kanton Zürich et al. 2017). Die qualitative Gefährdung der strategischen Trinkwasserressource Grundwasser erfährt in diesem Bericht hingegen keine Erwähnung.

4.4.2 Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz

Generell hat die Nutzung von Gewässern zur Kühlung bedeutendere Auswirkungen als der Entzug von Wärme. Je stärker sich die Gewässer in Zukunft erwärmen, desto schwieriger wird es, ihnen zusätzliche Abwärme zuzuführen, ohne ökologische Folgen zu riskieren.

Fliessgewässer

Im Vordergrund der Kühlnutzung stehen in der Schweiz bisher die Fliessgewässer. Besonders der Rhein mit seiner grossen Aufnahmekapazität für Abwärme ist ein bedeutender Standortfaktor für die dortige Industrie. Zahlreiche Anlagen (Produktionsstätten, Labors, Lager, Rechenzentren etc.) erzeugen ganzjährig Abwärme, die mittels Flusswasser energie- und kostensparend abgeführt werden kann.

Die Rückleitung aufgeheizten Kühlwassers trägt zur Erwärmung der Flüsse bei, was im Sommer zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen für Fische und andere Wasserlebewesen führt. Neben der direkten Wirkung erhöhter Wassertemperaturen auf die Fische nimmt auch der Sauerstoffgehalt des Wassers mit steigender Temperatur ab, wobei 25°C die absolute Obergrenze für ein Überleben strömungsliebender Fischarten darstellt.

Der Zielkonflikt zwischen Gewässerökologie und Kühlwassernutzung zeigt sich auch beim Betrieb der Kernkraftwerke. Wegen hoher Aaretemperaturen musste das Kraftwerk Mühleberg seine Leistung im Sommer 2018 und 2019 zeitweise drosseln. Im Juli 2019 verfügte das BFE, dass die Bestimmungen der GSchV, wonach keine Einleitungen von Kühlwasser oberhalb von 25°C Flusstemperatur erfolgen dürfen, neu auch für das Kraftwerk Beznau gelten (BFE 2019). Erreicht die Temperatur der Aare 25°C, müssen die Reaktoren gedrosselt oder heruntergefahren werden. Dies war im Sommer 2019 der Fall (Küng 2019).

Abb. 04-07



Mit dem Wegfallen des Wärmeeintrags durch die Abschaltung des KKW Mühleberg Ende 2019 ist die Aare vor allem im Winter deutlich kühler (um ca. 2°C an der Mündung in den Bielersee) (Råman Vinnå et al. 2017) © Klaus Lanz

Leiten mehrere Anlagen entlang eines Flusses erwärmtes Kühlwasser ein, kumuliert sich deren Effekt. Wie gross die Gesamtwirkung ist, könnte nur mit Hilfe eines Wärmeeinleitungskatasters ermittelt werden. Benachteiligt sind Nutzer am Unterlauf, da der Fluss durch die Oberlieger bereits einen Teil seines Kühlpotenzials (bzw. der Wärmeaufnahmekapazität) verloren hat. Anhand eines solchen Katasters könnten, wenn wegen geringen Abflusses oder hoher Flusstemperatur eine Drosselung der Abwärmeeinleitungen nötig wird, die Wärmeeinträge an Unter- und Oberlauf im gleichen Mass zurückgenommen werden.

Die Berechnung der Temperaturerhöhung im Fluss aufgrund einer Wärmeeinleitung geht in der Regel von einer vollständigen Durchmischung des Kühlwassers mit dem gesamten Abflussvolumen aus. Diese Annahme ist wegen der verzögerten lateralen Vermischung frühestens nach einigen Flusskilometern zutreffend (siehe 4.2.1). Wie stark das Flusswasser aufgrund von Wärmeeinleitungen lokal tatsächlich erwärmt wird, lässt sich nur durch Temperaturmessungen vor Ort ermitteln.

Seen

Bei den bisher an Seen verwirklichten Heiz- und Kühlsystemen wurde kein Zielkonflikt mit dem Gewässerschutz beobachtet. Es ist aber darauf zu achten, dass die Entnahme und Rückleitung in geeigneter Tiefe erfolgen, um bestehende Temperaturschichtungen möglichst wenig zu verändern (Wüest 2012). Bei geeigneter Dimensionierung sollten sich Folgen für die Seeökologie vermeiden lassen (Fink et al. 2014). Es sind aber Grenzen zu beachten: so ist zum Beispiel eine Kühlwassernutzung in der flachen Luzernerbucht des Vierwaldstättersees nicht möglich, weil sich der See in diesem Bereich durch die Einleitung des Kühlwassers stark erwärmen würde (Wüest et al. 2014).

Grundwasser

Ausschlaggebend für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen thermischer Nutzungen auf Grundwasser ist die Temperatur. Die Biozönoten im Grundwasser und ihre Sensibilität auf Temperaturänderungen sind noch wenig erforscht. Um diese zu schützen, sieht die GSchV vor, dass durch thermische Nutzungen die Temperatur des Grundwassers um maximal 3°C verändert werden darf (spätestens 100 Meter stromabwärts der Rückleitungsstelle). Da dieser Schwellenwert im Grundwasser schwer zu kontrollieren ist, erlauben die meisten Kantone bei der Wärmenutzung eine maximale Abkühlung des zurückgeleiteten Wassers um maximal 4°C. Damit soll insbesondere verhindert werden, dass sich die Wirkungen

verschiedener Einleitungen überlagern und verstärken (EnergieSchweiz 2017). Bei der Kühlung sind aber auch wesentlich wärmere Rückleitungen (nahe 20°C) in das Grundwasser üblich (AUE 2017).

4.5 Lösungsansätze: Anpassung thermischer Nutzungen an den klimatischen und sozioökonomischen Wandel

4.5.1 Wärmegewinnung

Das Wärmepotenzial der Gewässer ist nur ein Element in einem vielfältigen Wärmedargebot und stets im Kontext mit anderen Wärmequellen zu bewerten. Hierzu gehört Abwärme von industriellen Prozessen, von Kehrlichtverbrennungsanlagen oder aus Abwasser. Am effizientesten ist die Nutzung von Hochtemperaturabwärme (Industrie, KVA) welche verstärkt eingesetzt werden könnte (Sres 2016).

Die Rückgewinnung und Nutzung von Wärme aus erwärmtem Kühl- oder Abwasser ist eine Win-Win-Lösung. Denn neben dem Wärmegewinn wirken kühlere Abwassereinleitungen der klimabedingten Gewässererwärmung entgegen. In Rheinfeldern können mit der Abwasserwärme einer Brauerei 200 Haushalte beheizt werden (Müller et al. 2015). Auch zahlreiche Kläranlagen machen die im Abwasser enthaltene Wärme nutzbar. Das theoretische Potenzial allein von Kläranlagenabläufen wird in einer von VSA und BAFU beauftragten Studie auf 5 000 bis 6 000 GWh/a geschätzt (EBP 2015). Auch der Kanton Freiburg hat das Potenzial für Abwasserwärme ermitteln lassen (Staat Freiburg 2014).

Die Nutzung in Kühlwasser gebundener Abwärme hat grosses Potenzial, das bisher kaum dokumentiert und nur wenig erschlossen ist. Warum es von der Schweizer Industrie bisher nicht stärker genutzt wird, wurde anhand einer Expertenbefragung im Auftrag des BFE eruiert (Wolf et al. 2017). Hauptgründe sind offenbar der geringe Bekanntheitsgrad der Technologie sowie das Fehlen regulatorischer Vorgaben.

Wegen der von der GSchV vorgegebenen maximalen Temperaturdifferenz in Grundwasser und Flüssen kann diesen nur begrenzt Wärme pro m³ entzogen werden, d.h. grössere Anlagen erfordern erhebliche Wasserentnahmen. Vielversprechender ist die Wärmenutzung aus Seen, da das zurückgeleitete Wasser um mehr als 3°C abgekühlt werden kann und das Wärmepotenzial grosser Seen erheblich ist (Gaudard et al. 2017). Allerdings gibt es zum Teil kantonale Obergrenzen für die Abkühlung von See-
wasser.

Tabelle 04-02

	Fließgewässer	Seen	Grundwasser
Potenzial und Wirkung der Wärmenutzung von Gewässern			
Potenzial Wassertemperatur	+	++	+++
Verfügbarkeit	räumlich limitiert	räumlich limitiert	gross
Anlagengrösse	mittel bis gross	gross (MW)	klein (kW)
Ökologische Risiken Entnahme	gering	gering	mittel (Bohrung)
Ökologische Risiken Rückleitung	mittel	gering	unbekannt
Nutzungskonflikte	gering	gering	gross

4.5.2 Kühlung

Limitierend für die Kühlnutzung von Fließgewässern, Seen und Grundwasser ist in erster Linie die Rückleitung von erwärmtem Wasser. Der wichtigste Ansatz ist daher die Vermeidung und Verminderung des Kühlbedarfs. Hier sind vor allem bauliche und technische Massnahmen zu nutzen, um den (sommerlichen) Kühlbedarf von Gebäuden und Anlagen zu senken.

Viele industrielle und gewerbliche Anlagen müssen ganzjährig gekühlt werden. Hier bietet sich an, die nach der Nutzung im Wasser gebundene Wärme über Wärmetauscher zurückzugewinnen und für andere Zwecke einzusetzen (siehe 4.5.1).

Innovative Neubauten zeigen, dass es auch ganz ohne Wasserentnahmen aus Grundwasser, Fluss oder See geht. Beim Swisscom Rechenzentrum xDC in Bern-Wankdorf erfolgt die ganzjährige Kühlung in der Regel nur mit Aussenluft. Ein grosser Teil der Abwärme wird ins Fernwärmenetz der Stadt Bern eingespeist. Bei grosser Hitze steht zur Unterstützung der Luftkühlung Wasser aus Regenwassertanks auf dem Dach zur Verfügung (Eicher Pauli o. J.b).

Abb. 04-08



Ohne Kühlung mit Fluss- oder Seewasser:
Swisscom Rechenzentrum in Wankdorf, 2014
(Quelle: Swisscom)

Fraglich ist, ob sich solche Technologien ohne gesetzliche Vorgaben generell oder wenigstens bei Grossverbrauchern umsetzen lassen. Denn viele derzeit entstehende Neubauten von Rechenzentren setzen im Sommer weiterhin auf Wasserkühlung.

Beim Grundwasser stösst in urbanen Regionen die Kühlkapazität bereits heute an Grenzen. Der Kanton BS geht davon aus, dass «neue reine Kühlnutzungen in Gebieten mit erhöhten Grundwassertemperaturen kaum mehr möglich sein» werden (AUE 2017).

Ähnlich wie bei der Wärmenutzung könnte grossen Seen bei der Kühlung in Zukunft eine steigende Bedeutung zukommen. Ihr Kältepotenzial ist erheblich und sie können erwärmtes Kühlwasser in der Regel besser absorbieren. Um eine Überlastung zu vermeiden, ist aber eine gute Koordination der verschiedenen Projekte in einem See entscheidend. Und: je mehr sich der Kühlbedarf durch bauliche und betriebliche Massnahmen senken lässt, desto weniger muss das Natursystem See in Anspruch genommen werden.

Tabelle 04-03

	Fließgewässer	Seen	Grundwasser	
Potenzial und Wirkung der Kältenutzung von Gewässern	Potenzial Wassertemperatur	+	+++	++
	Verfügbarkeit	räumlich limitiert	räumlich limitiert	gross
	Anlagengrösse	mittel bis gross	gross (MW)	klein (kW)
	Ökologische Risiken Entnahme	gering	gering	mittel (Bohrung)
	Ökologische Risiken Rückleitung	gross (Sommer)	mittel	mittel
	Nutzungskonflikte	gering	gering	gross

4.6 Wissenslücken, Forschungsbedarf

- Einfluss thermischer Nutzungen auf Grundwasserbiozöosen
- Exemplarische Untersuchung des tatsächlichen Einflusses von Warm- oder Kaltwasserrückleitungen in Seen, Flüsse und Grundwasser (z.B. Abgleich Modell und Messung an einem kleinen See)
- Öffentliche Abwärmekataster, um Überblick über lokal nutzbare Wärmepotenziale zu gewinnen und so Gewässer von unnötigen thermischen Nutzungen zu entlasten
- Kantonale Inventare bestehender Wärme- und Kühlnutzungen von Gewässern
- Kantonale Abwärme-Inventare Industrie, KVA, ARA (wie Kanton FR)
- Entwicklung von Kühlnutzungsmodellen ohne Wasserentnahme aus Gewässern
(Kombination Regenwasser- und Luftkühlung, siehe Swisscom-Rechenzentrum Wankdorf)
- Kombination mit weiteren innovativen Technologien
(z.B. Nutzung der Kristallisationsenthalpie von Eis)
- Nutzung von Adsorptionswärmepumpen, um Abwärme in Kühlleistung umzuwandeln und so Kühlwasserentnahmen aus Gewässern zu minimieren (Klose 2019)

4.7 **Literatur**

AfU (2017)

Email AfU Solothurn 21.07.2017

AUE (2001)

Die Urheberschaft des verwendeten Bildes konnte trotz grosser Bemühungen nicht festgestellt werden. Sollten durch die Verwendung Bildrechte verletzt werden, bitten wir die Urheber um Nachricht.

AUE (2015)

[Grundwasserbericht Basel-Landschaft 2014](#)

Muttenz, 43 Seiten

AUE (2017)

[Bericht über den Umsetzungsstand der Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im Kanton Basel-Stadt](#)

AWA (2017)

[Das Grundwasservorkommen im Berner Seeland](#)

AWA Fakten Zustand der Gewässer – 2015 und 2016 Schwerpunkt Berner Jura /Seeland. Kanton Bern, 40 Seiten

AWE (2017)

Email Juli 2017

BAFU (2017)

Erläuternder Bericht zur Änderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV)

Verordnungspaket Umwelt Frühling 2018, AZ P464 – 1274, Bern, 9 Seiten

Baumgartner, H. (2015)

[Ökologische Vielfalt im Untergrund](#)

Umwelt No. 1, Seiten 49 – 51, BAFU Bern, 73 Seiten

BFE (2017)

[Nutzung von Oberflächengewässern für thermische Netze](#)

Bern, 73 Seiten

BFE (2019)

[Zwischenverfügung vom 04.07.2019 betreffend Verfahren bezüglich allfällige Anpassung bzw. Neuerteilung der Bewilligung des Bundesrates vom 15. Dezember 1997 betreffend Einleitung von Kühlwasser für die Kernkraftwerke Beznau I und II](#)

EBP (2015)

[Ressourceneffiziente Abwasserreinigungsanlagen](#)

Eicher-Pauli (o. J.a):

[Bürgerspital Solothurn - Vollständiger Um- und Neubau mit hohen Zielen für Energieeffizienz](#)

Eicher-Pauli (o. J.b)

[Swisscom Rechenzentrum DC, Bern-Wankdorf](#)

EnergieSchweiz (2017)

[Bewilligungsverfahren Grundwasserwärmenutzung in den Kantonen](#)

BFE, Bern

Engie Services AG o. J.

[Energiering Küssnacht – das Projekt](#)

EPFL (o. J.)

[Exploitation des énergies à l'EPFL](#)

Epting, J. et al. (2014)

Energie als Abfall?

Aqua & Gas No. 7/8, Seiten 34 – 39

ERZ (2013)

[Bewährt, sauber und sicher: Zürich Wärme](#)

Stadt Zürich

Figura, S. et al. (2013)

[Klima und Grundwasser – Rückblicke und Vorhersagen von Temperatur und Sauerstoff mittels historischer Aufzeichnungen](#)

Aqua & Gas, No. 7/8, Seiten 28 – 33

Fink, G. et al, (2014)

Large lakes as sources and sinks of anthropogenic heat: capacities and limits

Water Resources Research No. 50, Seiten 7285 – 7301

Gaudard, A. (2017) persönliche Mitteilung

Gaudard, A. et al. (2017)

Thermische Nutzung von Oberflächengewässern

Aqua & Gas No. 5, Seiten 40 – 45

Gaudard, A. et al. (2018)

Thermische Nutzung von Seen und Flüssen
Aqua & Gas No. 2, Seiten 26 – 33

Gemeindewerke Pfäffikon o. J

[Wärmeverbund Tumbelen/ Stogelen](#)

Gilli, L. (2017)

Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen
Vortrag beim Eawag-PEAK-Kurs «Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen» am 08.11.2017

IKSR (2013)

[Aktueller Kenntnisstand über mögliche Auswirkungen von Änderungen des Abflussgeschehens und der Wassertemperatur auf das Ökosystem Rhein und mögliche Handlungsperspektiven](#)
Fachbericht No. 204, Koblenz

Kanton SO (2014)

Richtlinie 11/2014 Witi zwischen Solothurn und Grenchen

Kanton Zürich et al. (2017)

[Initiierung und Koordination von Grundwasserwärmenutzungen](#)
Zürich, 69 Seiten

Klose, R. (2019)

[Kälte aus der Sonne](#)
EmpaQuarterly No. 64

Köttsch, S. (2014)

[Zellzahlen zum Grundwasser – Bestimmung mittels Zellcytometrie](#)
Aqua & Gas No. 3, Seiten 14 – 21

Kuchler, F. (2012)

Identification des rejets thermiques industriels en Valais
Centre de Recherches Energétiques et Municipales, Sion

Küng, M. (2019)

[Wegen der Hitze: AKW Beznau drosselt seine Leistung auf 50 Prozent](#)
Aargauer Zeitung vom 25.07.2019

Mulhollem, J.J. et al. (2016)

Effects of heated effluents on Midwestern US lakes: implications for future climate change
Aquatic Sciences No. 87, Seiten 734 – 753

Müller, E.A. et al. (2015)

[Abwasser als Energiequelle](#)

Aqua & Gas No. 7/8, Seiten 48 – 55

Munz, N. (2009)

Abwärmeimmissionen in Gewässer: Relevanzanalyse Praktikumsarbeit ETH Zürich

Råman Vinnå, L. et al. (2017)

[Physical effects of thermal pollution in lakes](#)

Water Resources Research, No. 53, Seiten 3968 – 3987

Regierungsrat des Kantons Basel (2015)

[Regierungsratsbeschluss vom 17. März 2015](#)

Repubblica e Cantone Ticino (2015)

[Bilancio dell'utilizzo termico delle acque sotterranee e del sottosuolo](#)

(geotermia) – stato 2014

Rust, P. (2017)

See-Energie Projektübersicht ewl (Energie Wasser Luzern)

Vortrag beim Eawag-PEAK-Kurs «Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen» am 08.11.2017

Schmid, F. (2017)

Koordinierte Energienutzung aus Gewässern

Vortrag beim Eawag-PEAK-Kurs «Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen» am 08.11.2017

Sres, A. (2014)

[Weissbuch Fernwärme Schweiz](#)

Verband Fernwärme Schweiz, Niederrohrdorf

Sres, A. (2016)

[Potenzialstudie Thermische Nutzung Rhein](#)

im Auftrag des Amts für Umwelt und Energie BS

Staat Freiburg (2014)

[Bericht 2014-DEE-2 des Staatsrats an den grossen Rat](#)

zum Postulat 2064.09 Christa Mutter – Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Stadt Lyss (2019)

[Baupublikation vom 18.11.2019](#)

Stein, H. et al. (2012)

[Stygoregions – a promising approach to a bioregional classification of groundwater systems](#)

Nature Scientific Reports

Tratschin, R. et al. (2019)

[Trockenheit im Sommer und Herbst 2018 – Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft](#)

Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Zollikon, 43 Seiten

Wicht, M. (2016)

[GeniLac, un principe simple au service d'une innovation](#)

Aqua & Gas No. 9, Seiten 68 – 71

Wolf, S. et al. (2017)

[Rahmenbedingungen für die Anwendung von Grosswärmepumpen in der Schweizer Industrie](#)

23. Tagung des BFE-Forschungsprogramms «Wärmepumpen und Kälte»

Wüest, A. (2012)

[Potential zur Wärmeenergienutzung aus dem Zürichsee – Machbarkeit](#)

Eawag

Wüest, A. et al. (2014)

[Potenzial zur Wärme- und Kühlenergienutzung aus dem Vierwaldstättersee – Machbarkeit](#)

Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV) und Umwelt und Energie Kanton Luzern, Dezember 2014



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Emmanuel Reynard, Martin Caliano
Marianne Milano

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel

Autoren **Emmanuel Reynard, Martin Calianno, Marianne Milano** Universität Lausanne

Titelfoto © Sputniktilt, Wikimedia

Fachliche Begleitung **Fabia Hüsler, Klaus Lanz, Olivier Overney †, Petra Schmocker-Fackel**

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Gestaltungskonzept, Layout, Infografik **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

5 **Wasser und Tourismus**

Inhaltsverzeichnis

- 5.1 Wasserbedarf des Tourismus
- 5.2 Auswirkungen des Tourismus auf die Wasserressourcen
- 5.3 Die Zukunft
 - 5.3.1 Einfluss des Klimawandels
 - 5.3.2 Einfluss auf die touristische Saisonalität
 - 5.3.3 Auswirkungen auf den Sommertourismus
 - 5.3.4 Auswirkungen auf den winterlichen Bergtourismus
- 5.4 Zielkonflikte und Synergien
- 5.5 Potentielle Lösungsansätze
- 5.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf
- 5.7 Literatur

Der Skitourismus geht zurück, doch im Sommer wird die Schweiz wegen ihrer erfrischenden Gewässer und kühlen Höhenlagen für Feriengäste noch attraktiver

Mit CHF 18.7 Milliarden Bruttowertschöpfung bzw. 2.4% des BIP sichert der Schweizer Tourismus über 160 000 Vollzeitstellen und ist ein wichtiger Wirtschaftszweig. Wasser spielt im heimischen Tourismus eine doppelte Rolle: zum einen als Grundlage touristischer Aktivitäten (Schnee, Gletscher, Seen, Flüsse, Feuchtgebiete), zum anderen als Ressource für den täglichen Bedarf von Touristen sowie für spezifische Verwendungen (z.B. künstliche Schneeherstellung, Golfbewässerung). Der Klimawandel vermutlich positiv auf den Tourismus im Berggebiet auswirken, da während Hitzephasen und im Sommer die Nachfrage nach kühlen alpinen Destinationen steigt. Der vom Schneesport geprägte Wintertourismus dagegen wird sich durch das Zurückgehen der Schneebedeckung deutlich verändern. Destinationen in tiefen und mittleren Lagen werden ohne durchgehende Schneesportsaison ihr Geschäftsmodell umstellen müssen. Hochgelegene Orte bauen derzeit zur Sicherung des Schneesports die Infrastruktur zur künstlichen Beschneigung aus. Für den Betrieb dieser Infrastrukturen sowie die nötige Wasserbeschaffung unter Klimawandelbedingungen müssen Lösungen erarbeitet werden, die im Einklang mit der hochalpinen Landschaft und Hydrologie stehen. Eine weitere Herausforderung stellt in Wintersportdestinationen die extrem schwankende Auslastung der Trinkwasser- und Abwasserinfrastruktur dar, die ressourcen- und kostenintensive technische Anlagen erfordert grosse Speicherkapazitäten, zusätzliche Wasserfassungen und hochdimensionierte Kläranlagen.

Résumé chapitre 5 eau et tourisme

Avec une valeur ajoutée brute de CHF 18,7 milliards, soit 2,4% du PIB, le tourisme suisse assure plus de 160 000 emplois à plein temps et constitue un secteur économique important. L'eau joue un double rôle dans le tourisme domestique : d'une part, comme base des activités touristiques (neige, glaciers, lacs, rivières, zones humides), et d'autre part, comme ressource pour les besoins quotidiens des touristes et pour des utilisations spécifiques (par exemple fabrication de neige artificielle, irrigation des golfs). Le changement climatique devrait avoir un impact positif sur le tourisme dans les zones de montagne, car la demande de destinations alpines fraîches augmente pendant les périodes de chaleur et en été. Le tourisme d'hiver, par contre, qui est dominé par les sports de neige, va changer de manière significative avec la diminution de la couverture neigeuse. En l'absence d'une saison de sports de neige ininterrompue,

les destinations de basse et moyenne altitude devront changer leur modèle économique. Les stations d'altitude développent actuellement leurs infrastructures pour l'enneigement artificiel afin de garantir la possible pratique des sports de neige. Pour l'exploitation de ces infrastructures et l'approvisionnement en eau nécessaire dans le contexte du changement climatique, il faut développer des solutions en harmonie avec le paysage et l'hydrologie de haute montagne. Un autre défi pour les destinations de sports d'hiver est l'utilisation extrêmement fluctuante des infrastructures d'eau potable et d'eaux usées. Celles-ci nécessitent des installations techniques très coûteuses et gourmandes en ressources, de grandes capacités de stockage, des captages d'eau supplémentaires et des stations d'épuration de grandes dimensions.

Riassunto capitolo 5 acqua e turismo

Con un valore aggiunto lordo di CHF 18,7 miliardi, pari al 2,4% del PIL, il turismo svizzero assicura oltre 160 000 posti di lavoro a tempo pieno ed è un importante settore economico. L'acqua svolge un duplice ruolo nel turismo domestico: da un lato, come base per le attività turistiche (neve, ghiacciai, laghi, fiumi, zone umide), dall'altro, come risorsa per le esigenze quotidiane dei turisti e per usi specifici (ad esempio l'innevamento artificiale, l'irrigazione dei campi di golf). Si prevede che il cambiamento climatico avrà un impatto positivo sul turismo nelle zone di montagna, poiché la domanda di destinazioni alpine fresche aumenta durante i periodi caldi e in estate. Il turismo invernale, invece, dominato dagli sport sulla neve, cambierà notevolmente con la diminuzione del manto nevoso. Le destinazioni a bassa e media altitudine non potranno più garantire una stagione invernale di sport sulla neve e dovranno quindi cambiare il loro modello commerciale. Le stazioni in alta quota stanno attualmente ampliando le loro infrastrutture per l'innevamento artificiale al fine di garantire la continuazione degli sport sulla neve. È necessario sviluppare soluzioni in armonia con il paesaggio e l'idrologia d'alta montagna al fine di garantire il funzionamento di queste infrastrutture e l'approvvigionamento idrico necessario in condizioni di cambiamento climatico. Un'ulteriore sfida delle destinazioni di sport invernali è l'utilizzo estremamente fluttuante delle infrastrutture di acqua potabile e di acque di scarico, il quale richiede impianti tecnici ad alta intensità di risorse e di costi, grandi capacità di stoccaggio, ulteriori bacini di raccolta dell'acqua e impianti di trattamento delle acque reflue altamente dimensionati.

5 Wasser und Tourismus

Der Tourismus ist in der Schweiz ein wichtiger Wirtschaftszweig, der 2.4% des BIP, 4.4% der Exporterlöse und CHF 18.7 Milliarden Bruttowertschöpfung ausmacht. Er generiert 53.3 Millionen Übernachtungen pro Jahr und ist mit 165 675 Vollzeitstellen (2018) ein wichtiger Arbeitgeber (STV 2018, BFS 2019).

Im Gegensatz zu anderen Wirtschaftssektoren gibt es kaum Statistiken über die Bedeutung von Wasser im Tourismussektor, zum Wasserbedarf fehlt es generell an Daten (Gössling et al. 2012). Dies ist auch in der Schweiz der Fall. Dieses Kapitel konzentriert sich auf den Wassergebrauch für den Tourismus in der Schweiz. Es basiert auf internationalen Publikationen, Übersichtsberichten über die Situation in der Schweiz (z.B. für die Beschneigung) und regionalen Fallstudien.

5.1 Wasserbedarf des Tourismus Vielfältige Bedürfnisse

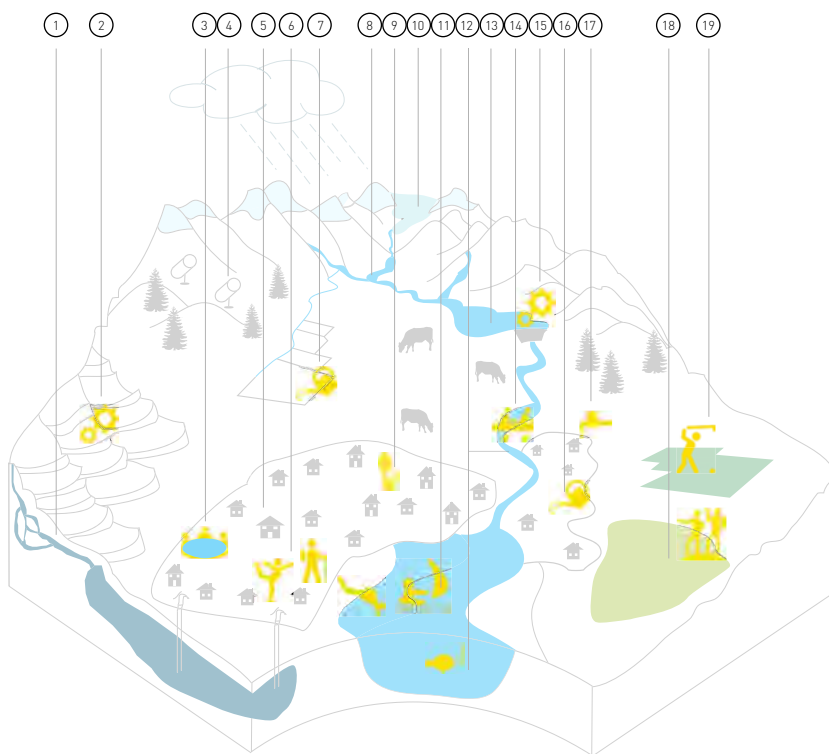
Wasser hat eine doppelte Bedeutung im Tourismus (Abb. 05-01). Zum einen ist es Grundlage für touristische Aktivitäten, die auf Wasser in seinen verschiedenen Erscheinungsformen angewiesen sind (Schnee für den Wintertourismus, Gletscher für Gletschertouren, Seen und Feuchtgebiete für den ornithologischen Tourismus). Zum anderen dient es als Ressource für den täglichen Bedarf von Touristen als auch für spezifische Verwendungen (z.B. künstliche Schneeherstellung, Golfbewässerung) (Gössling et al. 2012).

Abb. 05-01

Hauptbeziehungen zwischen Wasser und Tourismus

(eigene Darstellung)

- Höhlen-Tourismus (1)
- Wasserkraft und Bergbewässerung als Kulturgut (2)
- Thermal-Bäder (3)
- Beschneigung (4)
- Touristen-Ort (5)
- Freizeit (6)
- Bewässerung (7)
- Natürliche Gewässer-Landschaften (8)
- Abwasser-Management (9)
- Gletscher-Tourismus (10)
- Schiffahrt/ Bade- und See-Tourismus (11)
- Angel-Sport (12)
- Wasserkraft (13)
- Fluss-Tourismus (14)
- Wasserkraft als Attraktion (15)
- Garten-Bewässerung (16)
- Trinkwasser (17)
- Feuchtgebiets-Tourismus (18)
- Golfplatz-Bewässerung (19)



Hinzu kommt das virtuelle Wasser für die Produktion der für den Tourismus eingesetzten Waren, hauptsächlich für die Herstellung von Brennstoffen (18 Liter pro Liter Treibstoff) und Lebensmitteln (Gössling et al. 2012). Der virtuelle Wasserverbrauch für den touristischen Transport und Lebensmittelbedarf – geschätzt auf 2000 bis 7500 Liter pro Kopf und Übernachtung (Gössling et al. 2012) – ist jedoch nicht Gegenstand dieses Kapitels.

Direkte Nutzung

Bei der Nutzung von Wasser für touristische Aktivitäten lassen sich direkte und indirekte Verwendungen unterscheiden.

- Wasser als Unterstützung bestimmter touristischer Angebote:
 - Schnee zum Skifahren und anderen Wintersportarten
 - Eis zum Eislaufen und für andere Eisaktivitäten
 - flüssiges Wasser zum Baden, für Wassersport, Canyoning, Rafting und Angeln
 - Thermalwasser für Wellness und Medizintourismus
- Wasser als Landschaftselement:

Wasser ist ein prägendes Merkmal der Landschaft und in vielen Regionen Grundlage der touristischen Attraktivität. Dies gilt etwa für Destinationen an Seeufern (z.B. Luzern, Zürich, Genf, Genfersee, Bodensee, Tessiner oder Engadiner Seen, Bergseen), Flussufern (z.B. Basel, Bern, Schaffhausen, St. Ursanne) Wasserfällen (z.B. Lauterbrunnen, Rheinfall, Saut du Doubs), Schluchten (z.B. Aare-Schlucht), Gletschern (Aletsch-, Rhone-, Titlisgletscher, Walliser Alpen, Bernina-Gletscher) und unterirdischen Landschaften (Vallorbe-Höhlen, unterirdischer See von St. Léonard)
- Wasser als Teil der Kulturlandschaft: Im Wallis sind seit Mitte der 80er Jahre die landwirtschaftlichen Infrastrukturen (Bewässerungskanäle) Teil des touristischen Angebots (Reynard 1998). Auch andere hydraulische Infrastrukturen sind touristisch attraktiv, seien es alte Mühlen (unterirdische Mühlen des Col-des-Roches in Le Locle), Wasserkraftanlagen (Staudämme von Grande-Dixence, Mauvoisin, Emosson oder Grimsel) oder Entwässerungsinfrastruktur wie die der Ebene von Orbe (Waadt) und bei der Juragewässerkorrektion; Wasser ist auch Hauptthema einiger Museen (z.B. Léman Museum in Nyon) und es prägt das Landschaftsbild bestimmter Destinationen (z.B. Rheinfall bei Schaffhausen, Jet d'Eau in Genf)
- Wasser als unterstützendes Element: Wasser wird in Tourismusdestinationen für Springbrunnen, künstliche Gewässer oder Kanäle sowie in Sportanlagen verwendet.

Indirekte Nutzung

Unter indirekter Nutzung versteht man den Wasserbedarf touristischer Aktivitäten oder Dienstleistungen:

- Wasser für die Bewässerung von öffentlichen Parks, Hotelanlagen, Campingplätzen, Zweitwohnungsgärten oder Golfplätzen
- Wasser zur Beschneidung künstlicher Skipisten und Loipen
- Wasser zum Waschen und für Transportzwecke

Schliesslich werden Wasserressourcen für die Trinkwasserversorgung der Kommunen verwendet, die auch für die Reinigung des anfallenden Abwassers verantwortlich sind. Diese beiden kommunalen Aufgaben und die damit verbundenen Infrastrukturen werden durch die saisonal schwankende Auslastung durch den Tourismus stark beansprucht (Calianno 2018). Sie hängen vom persönlichen Verhalten der Touristen ab (Tendenz zur Verschwendung) (Martin 2006), aber auch von den jeweiligen touristischen Angeboten sowie von Managementpraktiken wie dem täglichen Wäschewechsel in Hotels. Der Tagesbedarf von Touristen übersteigt den durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch in der Schweiz (Gössling et al. 2012) und liegt bei schätzungsweise 300 Liter pro Tag und Person (Pro-Kopf-Haushaltsbedarf 142 Liter).

Die touristische Pro-Kopf-Wassernutzung wird von mehreren Faktoren beeinflusst (Gössling 2006, Gössling et al. 2012), etwa von der Hotelkategorie (je mehr Sterne, desto höher der Verbrauch), den regionalen Klimabedingungen (z.B. Bewässerung von Gärten), von Schwimmbädern oder Thermen, der Anzahl von Restaurants (Wasser zum Kochen) und von der Jahreszeit. Gehobene Zweitwohnungen mit Schwimmbädern spielen ebenfalls eine Rolle bei der touristisch genutzten Wassermenge (Calianno 2018).

In touristisch geprägten Gemeinden kann die an Hotels und Zweitwohnungen abgegebene Trinkwassermenge im gleichen Bereich liegen wie die Abgabe an die Haushalte. In Celerina beispielsweise beziehen Hotels gleich viel Wasser wie alle ständigen Einwohner des Ortes (198 000 bzw. 196 000 m³ pro Jahr, Lanz 2016). In Zermatt liegt der Verbrauch der lokalen Bevölkerung zwischen 60 000 und 70 000 m³ pro Monat, während der touristische Verbrauch zwischen 15 000 m³ (in den Monaten Mai und November) und 80 000 m³ pro Monat während der Hochwintersaison schwankt (Bonriposi 2013).

Saisonaler Wasserbedarf im Tourismus

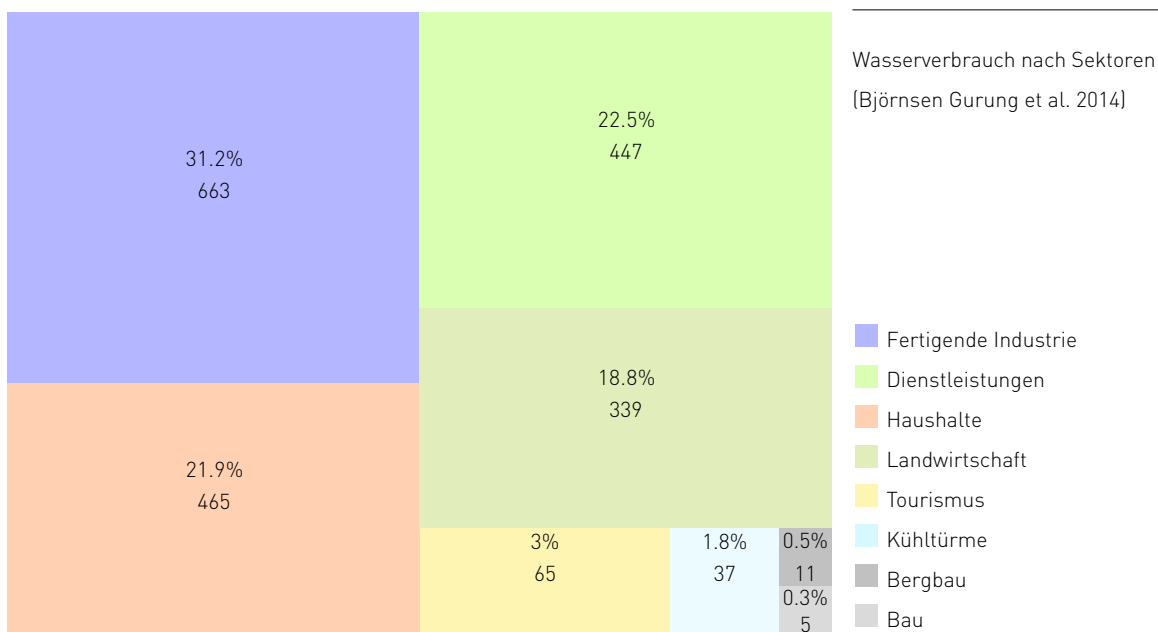
Weltweit beträgt der Wasserverbrauch im Tourismus (direkte Nutzung durch Touristen) unter 1% der gesamthaft genutzten Wassermenge, in der Schweiz bei 0,34% (Gössling et al. 2012). Der touristische Trinkwasserverbrauch wird auf 8.78 Mio. m³ (ausländische Gäste) und 17.06 Mio. m³ (inländische Gäste) geschätzt. Dies macht 3.18 bzw. 6.18% des gesamten Trinkwasserverbrauchs aus, insgesamt also 9.36%, wodurch die Schweiz weltweit nach Spanien und Frank-

reich und vor Griechenland auf Platz 7 liegt (Gössling et al. 2012). Dieser hohe Verbrauch ist jedoch unproblematisch, da die Schweiz nur einen geringen Teil der verfügbaren Ressourcen als Trinkwasser verwendet. Lange Trockenzeiten wie im Sommer und Herbst 2018 können aber zu lokalen Engpässen führen und auch den Tourismus betreffen (BAFU et al. Hrsg. 2019).

Eine andere Rechnung wurde im Rahmen des NFP 61 durchgeführt (Björnsen Gurung et al. 2014). Der Wasserbedarf für den Tourismus wird auf 65 Mio. m³ oder 3% des inländischen Wasserbedarfs (2 122 Millionen m³) geschätzt (Abb. 05-02a). Nur 10.3% davon (10 Mio. m³) gehen auf Übernachtungen zurück, der Rest wird für Schwimmbäder, Heilbäder, Kunstschnee, Zoos und Tierparks eingesetzt (Abb. 05-02b).

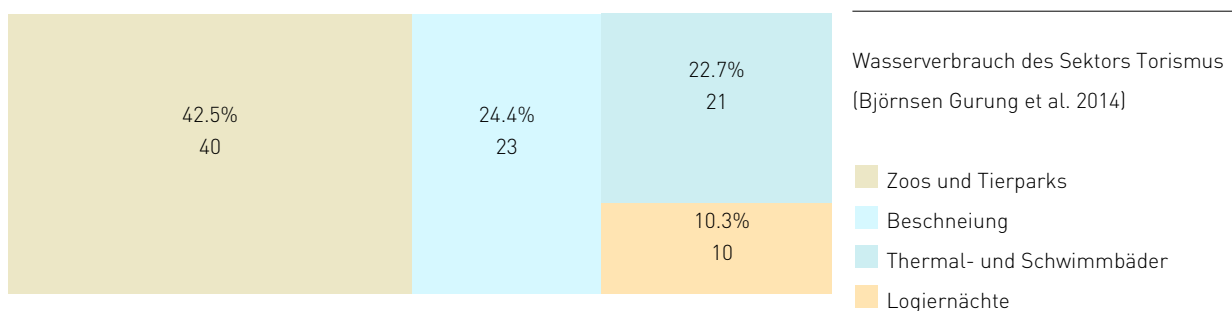
Wasserverbrauch nach Sektoren in Mio. m³ pro Jahr 2 122 Mio. m³/a = 100%

Abb. 05-02a



Wasserverbrauch des Tourismus in Mio. m³/a 95 Mio. m³/a = 100%

Abb. 05-02b



Die Sicherheit der kommunalen Wasserversorgung wird durch viele Faktoren beeinflusst, unter anderem durch saisonal schwankende Einwohnerzahlen und Wassernutzung. Das Bundesamt für Umwelt hat die schweizerischen Gemeinden in Bezug auf die Verletzlichkeit ihrer Wasserversorgung in fünf Klassen eingeteilt: Tourismusregionen werden in die zweithöchste Klasse 4 eingestuft, wobei die Verletzlichkeit insbesondere durch saisonbedingte Schwankungen verursacht wird (BAFU 2014). So wurden z.B. die Gemeinden Davos, Gstaad, St. Moritz und Lenzerheide sämtlich der Klasse 4 zugeordnet.

Wie stark die Touristenzahl saisonal schwankt, hängt vor allem von zwei Faktoren ab: vom touristischen Profil des Ortes (Wintersportort, Badeort, Vierjahreszeiten-Resort) und vom demographischen Profil (reiner Fremdenverkehrsort, Ort mit touristischer Aktivität, Ort mit monothematischem Tourismus). Am stärksten ausgeprägt ist die Saisonalität in reinen Skiresorts, in denen ausschliesslich Wintersport stattfindet (sog. Resorts der dritten Generation, vor allem in Frankreich). Hier kann die Auslastung der Übernachtungsmöglichkeiten bis um den Faktor 10 schwanken. In klassischen, aus älteren Orten gewachsenen Destinationen (erste und zweite Generation) ist der Tourismus zwar die Haupt-, aber nicht die einzige Aktivität. Der Schwankungsbereich liegt hier bei einem Faktor von 1 bis 5. Auch Badeorte und Heilbäder können eine leicht saisonbedingte Aktivität aufweisen, in der Schweiz sind sie aber meist in ein Stadtgefüge integriert (z.B. Uferdestinationen an den Mittellandseen und im Tessin). Im Städtetourismus (Genf, Zürich, Bern) gibt es kaum saisonbedingte Variationen, da die Übernachtungen über das ganze Jahr verteilt sind und die Zahl der Touristen gegenüber der Gesamtbevölkerung gering ist.

In alpinen Destinationen ist die Variabilität des Wasserbedarfs dreifach getaktet: saisonal, wöchentlich und täglich (Calianno 2018, Abb. 05-03). Die saisonale Schwankung ist durch die Variabilität der Tourismusaktivität bedingt. Während der Ferienzeit und von Februar bis März ist die Belegung am höchsten, ein drittes Maximum tritt auf, wenn Ostern auf einen frühen Zeitpunkt fällt. Wöchentliche Variationen sind am deutlichsten im Januar oder März sichtbar. In diesen Monaten ist die Auslastung der Destinationen geringer, während an Samstagen und Sonntagen Zweitwohnungsbesitzer und Tagesskifahrer anwesend sind. Innerhalb des Tages schliesslich ist die Nachfrage gegen Abend am höchsten, wenn die Touristen vom Skifahren oder anderen Aktivitäten zurückkehren.

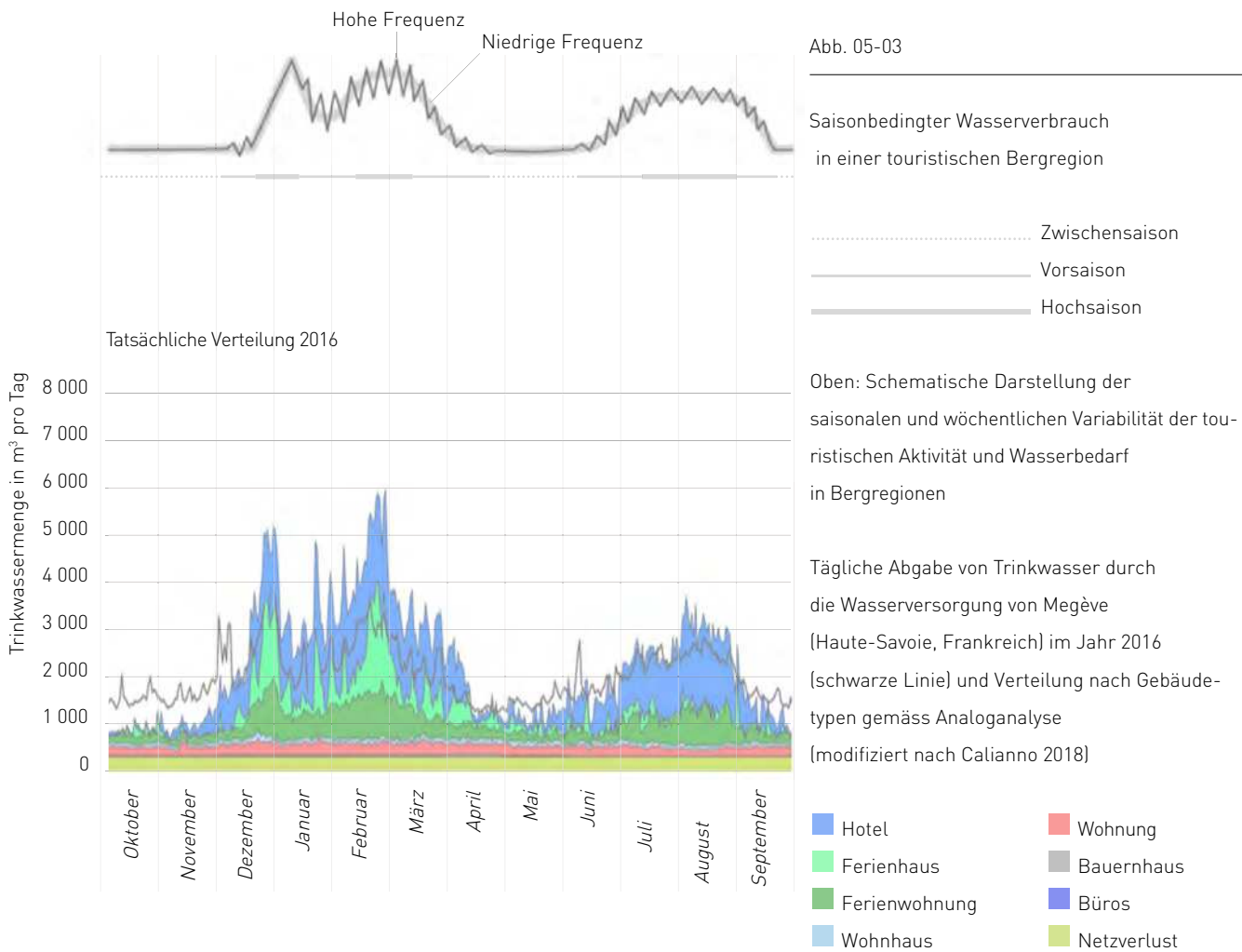


Abb. 05-03

Saisonbedingter Wasserverbrauch in einer touristischen Bergregion

..... Zwischensaison
 — Vorsaison
 — Hochsaison

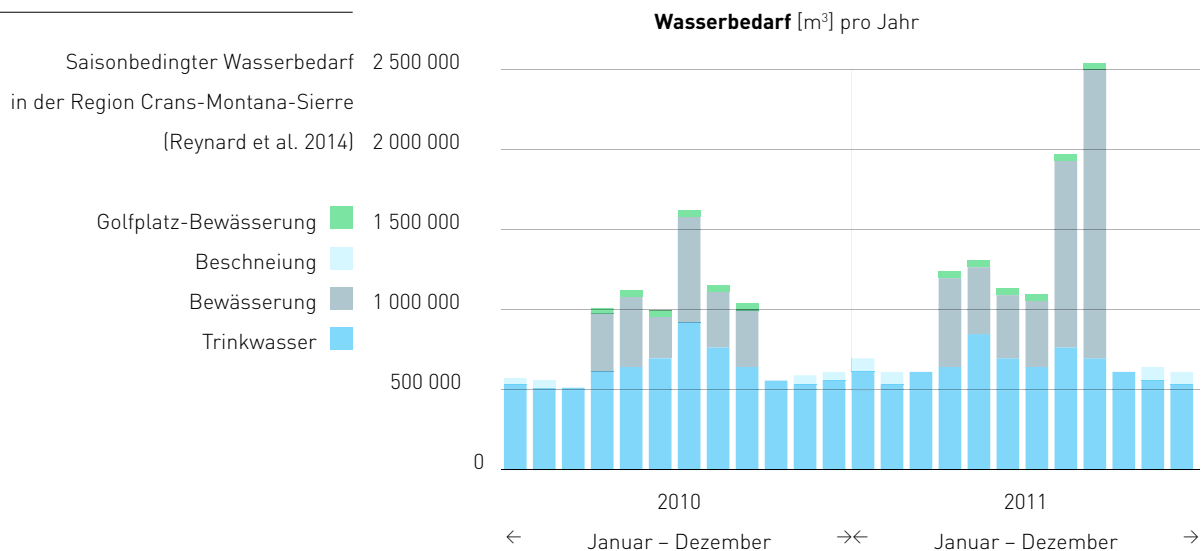
Oben: Schematische Darstellung der saisonalen und wöchentlichen Variabilität der touristischen Aktivität und Wasserbedarf in Bergregionen

Tägliche Abgabe von Trinkwasser durch die Wasserversorgung von Megève (Haute-Savoie, Frankreich) im Jahr 2016 (schwarze Linie) und Verteilung nach Gebäudetypen gemäss Analoganalyse (modifiziert nach Calianno 2018)

Hotel Wohnung
 Ferienhaus Bauernhaus
 Ferienwohnung Büros
 Wohnhaus Netzverlust

In touristischen Destinationen in inneralpinen Trockentälern wie dem Engadin und Teilen des Wallis wird der höchste Wasserverbrauch mitunter im Sommer beobachtet (obwohl die Übernachtungszahlen im Winter am höchsten sind). In trockenen Sommern werden grosse Wassermengen für die Bewässerung verwendet, beispielsweise in Crans-Montana (Reynard et al. 2012, Bonriposi 2013, Weingartner et al. 2014, NFP61 2015, Calianno 2018) (siehe Abb.05-04).

Abb. 05-04



Die stark saisonabhängige Nachfrage und die Deckung sehr hoher Bedarfsspitzen erfordern eine entsprechende Dimensionierung der Infrastrukturen für die Trinkwasserversorgung (Reservoirs, Leitungen, Aufbereitungsanlagen) sowie für die Sammlung und Reinigung des Abwassers. Die Anlagen müssen nicht nur maximale Auslastungsgrade, sondern auch plötzliche Verbrauchsschwankungen bewältigen können, insbesondere zwischen der Nebensaison (November bis Mitte Dezember) und der Hochsaison (Mitte bis Ende Dezember). Abwasserseitig kommt mitunter die Höhenlage erschwerend hinzu, da die für die biologische Reinigung nötige bakterielle Aktivität aufgrund der Kälte reduziert ist. Aus diesem Grund werden im Gebirge physikalischchemische Verfahren biologischen Verfahren vorgezogen (Reynard 1997, Reynard 2000). Einige Bergedestinationen leiten ihr Abwasser direkt ins Tal, wo es in grossen städtischen Anlagen behandelt wird, was die Auswirkungen des saisonbedingten Abwasseraufkommens verringert. Dies gilt zum Beispiel für Crans-Montana, dessen Abwasser von der ARA Sierre behandelt wird.

Touristischer Wasserbedarf nach Region und Tourismusart Städtetourismus

Der Wasserbedarf für touristische Aktivitäten variiert in der Schweiz je nach Region und Art des Tourismus. Der Städtetourismus hat wenig Einfluss auf die lokale Wassernachfrage. Die Belegung findet verstärkt am Wochenende statt und gleicht die geringere Wassernachfrage von Büros und Industrie aus. Für den Geschäftstourismus lässt sich kein spezifischer Wasserbedarf nachweisen. Die touristische Tätigkeit ist wenig sai-

sonabhängig, die Besucherzahl relativ niedrig im Vergleich zur Wohnbevölkerung (Zürich unter 15 000 Hotelbetten auf 400 000 Einwohner (3,75%), Genf circa 10 000 Betten auf 200 000 Einwohner (5%), Luzern 6000 Betten auf 80 000 Einwohner (7,5%)). Der Wasserbedarf grosser touristischer Infrastrukturen wie Schwimmbäder, Eisbahnen usw. lässt sich nicht dem Tourismus zuschlagen, da diese überwiegend von der Wohnbevölkerung genutzt werden.

Seetourismus

Der Seetourismus, ein wichtiger Teil des Sommertourismus in der Schweiz, insbesondere im Tessin und an den grossen Mittellandseen, ist vor allem von attraktiven Wasserlandschaften abhängig. Diese sind oft an touristische Bedürfnisse angepasst worden (Strände, Campingplätze, Flussufer usw.). Der Seetourismus erfordert Seewasser von guter mikrobiologischer Qualität. Derzeit weist ein grosser Teil der Strände an Schweizer Seen Wasser von guter Badegewässerqualität auf (EEA 2019).

Das war nicht immer so, wie aus historischen Karten der Internationalen Kommission zum Schutz der Gewässer des Genfersees (CIPEL) zur Qualität der Badestrände hervorgeht. Im Jahr 2018 wiesen 90% der 113 Strände eine hervorragende bis gute Qualität auf. Nur an einem Strand bestand zeitweise eine Wasserverschmutzung, doch sämtliche Strände waren zum Schwimmen geeignet (CIPEL 2019). Von 1992 bis 2016 stieg der Anteil der zum Schwimmen geeigneten Strände von 52% auf 86% (CIPEL 2017a). Der Anteil der Strände mit durchschnittlicher Qualität liegt seit zehn Jahren bei rund 13%.

Seit den 70er Jahren ist ein Trend zu steigenden Winter- und Sommertemperaturen in europäischen Seen zu beobachten (Arvola et al. 2010). Beispielsweise stieg die durchschnittliche Oberflächentemperatur im Genfersee von 11.7°C im Jahr 1974 auf 12.5°C im Jahr 2016, ein Anstieg von etwa 0.8°C in 42 Jahren (CIPEL 2017a, CIPEL 2017b). Dieser Anstieg der Seewassertemperaturen verlängert die Badesaison und erhöht so die Attraktivität des Sees. Andererseits fördern höhere Temperaturen die Zunahme von Phytoplankton und Algen im oberflächennahen Wasser, was für den Tourismus ungünstig ist. Höhere Wassertemperaturen können auch die winterliche Durchmischung des Sees beeinträchtigen, wodurch sich das Risiko eines übermässigen Wachstums von Phytoplankton erhöht.

Der Tourismus an den Seen bringt auch Schiffs- und Bootsverkehr mit sich, sowohl von Privaten als auch von gewerblichen Unternehmen. Beispielsweise können in den Häfen und Marinas am Ufer des Zürichsees

6 000 Boote Platz finden (Kanton Zürich 2013), und der Schiffsverkehr hat erhebliche Auswirkungen auf die Hydromorphologie der Seeufer. Die Schiffbarkeit der Seen erfordert auch eine ausreichende Wassertiefe bzw. einen Mindestwasserstand. So war die Schifffahrt am Bodensee und am Oberrhein im Hitzesommer 2003 erheblich beeinträchtigt (BUWAL/BWG/MeteoSchweiz 2004). Auch im Sommer 2018 waren mehrere Anlegestellen am Bodensee, am Untersee und am Altenrhein nicht mehr erreichbar. Der Lac des Brenets am Doubs, auf dem im Sommer Ausflugsschiffe verkehren, trocknete im Sommer und Herbst 2018 gänzlich aus, wodurch die Schifffahrt für Monate verunmöglicht wurde (BAFU et al. 2019).

Einige Seen sind auch im Winter touristische Attraktionen. Dies gilt insbesondere für die Jura-Seen (Lac de Joux, Lac des Taillères und Brévine) und die Engadiner Seenkette. Eislauf ist jedoch nur in den kältesten Winterperioden möglich. Mit der Abnahme der Frosttage in der Schweiz (Meteoschweiz o. J.) um circa 20% zwischen 1961 und 2016 nimmt das Potenzial dieser Seen für Eissport allmählich ab.

Flusstourismus

Der Flusstourismus ist in der Schweiz gut entwickelt und ermöglicht vielfältige Aktivitäten. Neben Flusswanderungen, Besuchen von Städten oder historischen Dörfern (Basel, Freiburg, Bern, St. Ursanne am Doubs, Stein am Rhein, Schaffhausen) oder dem Angelsport sind einige Flüsse kurz vor ihrer Mündung in einen See mit Booten befahrbar. Andere eignen sich für Rafting (Vorderrhein, Lütchine, Saane, Rhone, Vispa, Reuss, Ticino) und Canyoning vor allem im Tessin, Berner Oberland und Wallis). Viele Flüsse werden auch intensiv zum Schwimmen genutzt. Dies ist der Fall bei der Aare in Bern, der Limmat in Zürich, der Rhone in Genf oder der Verzasca, die von Touristen nach Empfehlung in einem Facebook-Video im Jahr 2017 geradezu gestürmt wurde und den Beinamen «Malediven der Schweiz» erhielt (Abb. 05-05).

Abb. 05-05



Starke touristische Nutzung der Verzasca (Tessin)
im August 2017

(Quelle: Emmanuel Reynard)

Der Flusstourismus ist auf zwei Ebenen vom Klimawandel betroffen: einerseits durch plötzliche Abflussschwankungen zum Beispiel bei Sommergewittern, andererseits durch Niedrigwasser. So kamen bei einer extremen Flutwelle des Saxetenbachs (Berner Oberland) am 27. Juli 1999 in einer Canyoning-Gruppe 21 Menschen ums Leben. Gefährlich sind auch plötzliche Flutwellen durch Instandhaltungs- oder Reinigungsarbeiten an Wasserkraftanlagen. Über längere Phasen ausbleibende Niederschläge und Dürreperioden erschweren auf den Flüssen die Schifffahrt, und steigende Wassertemperaturen können sich auf touristische Aktivitäten auswirken (Baden, Angeln).

Die möglichen Auswirkungen der erwarteten Klimaerwärmung auf den Rhein wurden kürzlich in einer detaillierten Studie zu Niedrigwasserständen abgeschätzt (IKSR-CIPR-ICBR 2018). Als Niedrigwasser wurde der niedrigste mittlere Abfluss über 7 aufeinanderfolgende Tage während eines Referenzzeitraums definiert, beispielsweise das Kalenderjahr (NM7Q). Die Autoren stellten fest, dass Trockenphasen in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts häufiger waren als in den letzten 50 Jahren. In der nahen Zukunft (2021-2050) lässt sich kein eindeutiger Trend identifizieren, für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts allerdings sind häufigere und längere Trockenphasen zu erwarten. Als Hauptkonsequenz der Trockenphasen wird ein Anstieg der Wassertemperaturen im Rhein um etwa 1,5° C Mitte des 21. Jahrhunderts und um 3° C gegen Ende des Jahrhunderts prognostiziert.

Während der Hitzewelle 2003 wurde am Hochrhein eine signifikante Sterblichkeit von Aalen und Äschen beobachtet (IKSR-CIPR-ICBR 2018), die entsprechende Auswirkungen auf die Freizeit- und Sportfischerei hatte. Dauerhafte und langfristige Auswirkungen von Trockenphasen auf den Rhein erwarten die Autoren nicht. Wie in Seen kann die Wasserqualität bei erhöhter Temperatur durch hohe Konzentrationen an Bakterien und Cyanobakterien beeinträchtigt werden (IKSR-CIPR-ICBR 2018). Verminderte Abflüsse senken auch den Wasserstand und die Breite der Schifffahrtskanäle, was sich auf verschiedene touristische Aktivitäten (Rafting, Schifffahrt) auswirken kann.

Eine der Herausforderungen des Seen- und Flusstourismus sind Unfälle. Zwischen 2009 und 2018 ertranken in der Schweiz durchschnittlich 45 Personen pro Jahr (BFU 2019), hauptsächlich beim Schwimmen im offenen Wasser (42%), bei Schiffs- oder Bootsunfällen (9%) und bei anderen Sportaktivitäten (23%). Während heisser Sommer war die Zahl der ertrunkenen Personen bei Wassersportaktivitäten deutlich höher als in kühlen und nassen Jahren (43 Ertrunkene im Hitzejahr 2015 gegenüber 12 im kühlen, feuchten Sommer 2014). Durch Aufklärungskampagnen gelang es aber, die Zahl der tödlichen Unfälle auf Seen und Flüssen zu senken, im langen, heissen Sommer 2018 auf 37 Personen (SLRG 2018).

Höhlentourismus

Höhlentourismus ist in der Schweiz hauptsächlich im Jura und in den Voralpen möglich, nur dort bestehen die geologischen Voraussetzungen dafür. Wasser spielt eine wichtige Rolle dabei: Es gibt unterirdische Flüsse (Quellen der Orbe in Vallorbe) oder Seen (unterirdischer See von St. Léonard) und sogar eine historische unterirdische Wasserkraftanlage (Mühle von Col-des-Roches bei Le Locle). Ein möglicher Effekt des Klimawandels auf den Höhlentourismus ist ein abruptes Ansteigen des unterirdischen Wasserstands nach extremen Niederschlägen an der Oberfläche. Unfälle waren aber bisher selten.

Thermalbäder

Auch der Tourismus in Thermalbädern hängt von spezifischen hydrogeologischen Gegebenheiten ab, die warmes und/ oder mineralienreiches Wasser an die Oberfläche bringen. Thermalbäder befinden sich hauptsächlich im Wallis (Leukerbad, Ovronnaz, Saillon), in Graubünden (Vals) und in der Ostschweiz (Bad Ragaz) (OVT 2013). Die Anzahl Gäste ist derzeit recht niedrig, insbesondere bei medizinischen Anwendungen.

Gletschertourismus

Die alpinen Gletscher gehören zu den wichtigsten Attraktionen der Schweiz (Aletsch, Zermatt, Saas Fee, Eifischtal, Bernina-Massiv, Oberland, Titlis). Sie spielen vor allem für den Sommertourismus eine grosse Rolle und werden oft mit entsprechenden Infrastrukturen aufgewertet (Bergbahnen, Eishöhlen des Titlis- oder Rhonegletschers, Abb. 05-05b). Die Anzahl der Gletscher, auf denen Sommerskilauf möglich ist, ging von neun Gebieten Mitte der 1990er Jahre (Zermatt, Saas Fee, Corvatsch, Diavolezza, Laax, Engelberg, Crans-Montana, Les Diablerets, Verbier) auf zwei im Jahr 2018 zurück (Zermatt und Saas Fee; Abegg et al. 1994). Aktuell verlieren die Alpengletscher jährlich zwischen 2 und 3% ihres Volumens, der Masseverlust der Schweizer Gletscher zwischen 2008 und 2018 wird auf 20% geschätzt (GLAMOS 2018). Die Gletscherlandschaften haben sich durch den Rückzug der Gletscher erheblich verändert, weite Moränen- und Geröllflächen wurden freigelegt. Die zunehmende Sedimentbedeckung einiger Gletscher lässt sie grau erscheinen. Es ist schwer einzuschätzen, wie diese Änderungen die Attraktivität von Gletscherlandschaften beeinflussen (FIF 2011). Eine Folge der Gletscherschmelze ist die Bildung neuer Seen, in jüngster Zeit der Gletscherseen an Grindelwald-, Trift-, Palü- und Rhonegletscher (Haeberti et al. 2013). Diese neuen Seen können wesentlich zur Landschaftsqualität beitragen und zu neuen Touristenattraktionen werden (Abb. 05-06).

Abb. 05-06



Teilweise künstlicher Schutz der Zunge des Rhonegletschers, um die dortige Eishöhle als Touristenattraktion zu bewahren (rechts weiss); links: Gletschersee, der sich durch den allmählichen Rückzug der Gletscherfront gebildet hat (Quelle: Emmanuel Reynard)

Wintertourismus

Der Wintertourismus in den Bergregionen hat von allen Tourismussektoren zweifellos den grössten Einfluss auf die Wasserressourcen, insbesondere aufgrund des stark saisonabhängigen Wasserverbrauchs der Übernachtungsgäste und des Ausbaus der künstlichen Beschneigung seit Ende der 1980er Jahre (siehe Abb. 05-06). Der Wasserbedarf ist im allgemeinen im Winter am höchsten (Abb. 05-03). In Orten mit einem hohen Anteil von Garten- und Parkbewässerung kommen Nachfragespitzen im Sommer hinzu. Dies ist etwa in Crans-Montana der Fall (Abb. 05-04), wo 1/8 des abgegebenen Trinkwassers für die Bewässerung verwendet wird (Reynard et al. 2012). Zudem manifestieren sich in alpinen Destinationen auch im Sommer teils extreme Tagesschwankungen bei Wasserverbrauch und Abwasseranfall, jedoch mit geringerer Intensität als im Winter.

Golfplätze

Als indirekte touristische Nachfrage nach Wasser kann die Bewässerung von Golfplätzen gesehen werden. In der Schweiz gibt es 100 Golfplätze. Die Zahl der Praktizierenden hat sich von 6796 im Jahr 1975 auf 83 839 im Jahr 2018 mehr als verzehnfacht (Golf Suisse 2019), wobei Golftouristen aus dem Ausland nicht berücksichtigt sind. Die für die Golfplatzbewässerung benötigte Wassermenge hängt von Klima, Boden und Platzgrösse ab (Gössling et al. 2012). So liegt sie in Südfrankreich zwischen 150 000 und 200 000 m³ pro Jahr, in Nordfrankreich zwischen 80 000 und 100 000 m³. Im Schweizer Mittelland wird der Bedarf in der Sommersaison auf 35 000 m³ oder 500 m³ pro Tag geschätzt (Lanz et al. 2014). In Crans-Montana verbrauchen die drei Golfplätze zwischen 85 000 und 90 000 m³ pro Jahr, was mit 0.66% verglichen mit der Gesamtnachfrage in einem trockenen Jahr von 13.6 Mio. m³ (ohne Wasserkraft) vernachlässigbar ist (Bonriposi 2013, Reynard et al. 2014, Weingartner et al. 2014).

Lokale Konflikte können insbesondere bei der Wasserentnahme aus Trinkwassersystemen oder in Grundwasserleitern oder Flüssen auftreten. Dies war im Oktober 2017 am Flüsschen Allondon (GE) der Fall, wo den acht Golfplätzen am Oberlauf in Frankreich vorgeworfen wurde, auf Kosten von Fischerei und Landwirtschaft zu viel Wasser zu entnehmen (20 minutes 2017). Zusätzlich können Düngemittel und chemische Pestizide für die Rasenpflege Grundwasser oder Oberflächenwasser verschmutzen. Potenzielle Nutzungskonflikte zwischen Golf und Gewässerschutz werden beispielsweise in Crans (See) und Samedan (Grundwasser) gemeldet (Lanz 2016).

Spezifische Verwendung: Beschneigung

Schneesicherheit ist für die meisten Skifahrer das Hauptkriterium für die Wahl eines Reiseziels für den Winterurlaub (Scott 2006). In der Schweiz wurde als Reaktion auf drei schneearme Winter in den späten 1980er Jahren (1987/ 88 - 1989/ 90) mit dem Ausbau der künstlichen Beschneigung begonnen (Elsasser et al. 2002). Ein Ort wird als dann als geeignet für den Skisport erachtet, wenn im Durchschnitt in sieben von zehn Wintern zwischen 1. Dezember und 15. April an mindestens 100 Tagen eine Schneeschicht von mindestens 30 cm vorhanden ist (Schneesicherheitskonzept) (Abegg 1996, König et al. 1997). In den frühen 2000er Jahren betrug die Untergrenze für das Skifahren in der Schweiz 1 200 m (Elsasser et al. 2002); 85% der 230 Schweizer Skigebiete erfüllten die Kriterien für optimalen Skisport.

Die Schweiz verfügt über circa 22 500 km Pisten (Seilbahnen Schweiz 2018). Künstlich beschneite Flächen haben seit den 1990er Jahren deutlich zugenommen: Zwischen 2000 und 2010 stieg der Anteil künstlich beschneiter Pisten in der Schweiz von 10 auf 33% (Pütz et al. 2011), 2016 lag er bei rund 49% (Seilbahnen Schweiz 2018, siehe Abb. 05-06). Aktuellere Zahlen für die Gesamtschweiz sind nicht vorhanden. Zum Vergleich: In den italienischen Alpen und in Österreich werden 87% bzw. 70% der Pisten künstlich beschneit, in Frankreich 32%.

Der Anteil der beschneiten Pisten nimmt auch in der Schweiz weiter zu, variiert aber von Station zu Station stark: Während mehr als 95% des Skigebiets Nendaz-Veysonnaz im Wallis mit Beschneigungsinfrastruktur ausgestattet sind (Remontées mécaniques Nendaz-Veysonnaz 2019), verfügen viele kleine Skigebiete über keinerlei Beschneigungsanlagen, oft mangels finanzieller Mittel. Mancherorts werden auch Langlaufloipen mit Kunstschnee präpariert, etwa im Engadin (Lanz 2016).

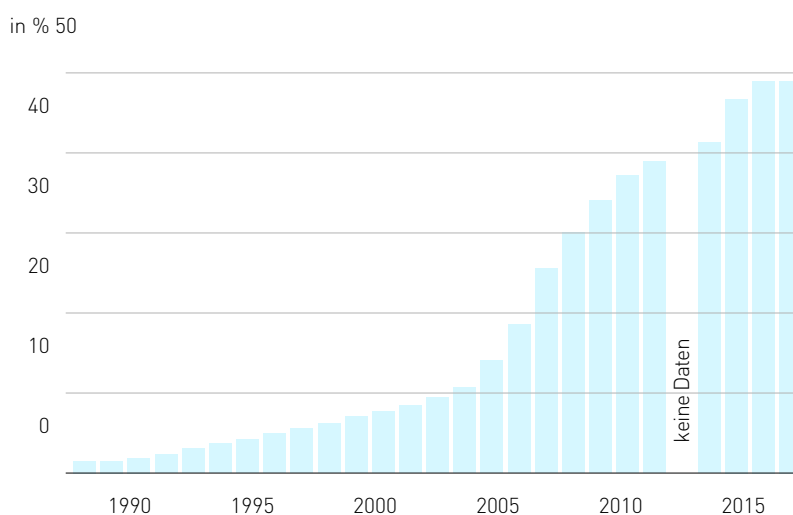


Abb. 05-07

Entwicklung des Anteils der künstlich beschneiten Skipisten an der Summe der Skipisten in der Schweiz (Seilbahnen Schweiz 2018)

Mit einem Kubikmeter Wasser lassen sich je nach Witterungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) zwischen 2 und 2.5 m³ Kunstschnee erzeugen. Um eine Hektare Piste mit einer Grundschrift von 30 cm zu bedecken, sind zwischen 600 und 1 500 m³ Wasser nötig (Steiger et al. 2008). Geht man rechnerisch von einem durchschnittlichen Wasserbedarf von 1 000 m³ pro Hektare aus (Hahn 2004), wären etwa 11 Millionen m³ Wasser erforderlich, um alle 11 000 Hektaren in der Schweiz künstlich beschneiter Pisten mit einer Grundschrift Schnee zu bedecken. Für die gesamten Alpen wurden 2004 etwa 95 Millionen Kubikmeter geschätzt, dem Jahreswasserbedarf einer Stadt von 1.5 Millionen Einwohnern (Hahn 2004). Für die Schweiz liegen die Schätzungen zwischen 8.4 und 17 Millionen m³ pro Jahr (Freiburghaus 2009, Björnsen Gurung et al. 2014) bzw. 23 Millionen m³ pro Jahr (Freiburghaus 2009, Björnsen Gurung et al. 2014). Diese Mengen entsprechen 0,45% der Gesamtnachfrage nach Wasser in der Schweiz (Wasserkraft ausgenommen) (Naturwissenschaften Schweiz o. J.).

Detaillierte Studien zum Wassereinsatz für die Beschneigung sind spärlich. Rixen et al. (2011) berechneten den Wasserbedarf der Beschneigung für Davos und Scuol (GR) im Winter 2006/07 (Tabelle 05-01). Er macht 21.5% bzw. 36.2% der von der Trinkwasserversorgung abgegebenen Mengen dieser Städte aus. In Crans-Montana (Bonriposi 2013) ist der Anteil mit 11% bedeutend niedriger, weil wegen des trockenen Sommerklimas im Wallis sehr grosse Mengen an Trinkwasser für die Bewässerung von Gärten und Rasenflächen verwendet werden (Reynard et al. 2012). Vanham et al. (2009) berechneten den Wassereinsatz für den Kunstschnee im gesamten Ski-gebiet Kitzbühel (Österreich) in Höhenlagen zwischen 800 und 2 000 m.

Für das gegenwärtige Klima (1961 - 1990) ermittelten sie 5.55 Mio. m³ pro Jahr, für ein Erwärmungsszenario 2050 von 2 °C 9.03 Mio. m³ pro Jahr. Sie kamen zum Schluss, dass in einem Jahr mit durchschnittlichen Niederschlägen die lokal verfügbaren Wasserressourcen (berechnet mit dem PREVAH-Modell) ausreichen, um alle regionalen und saisonalen Bedürfnisse zu decken. Während trockener Winter allerdings reichen die Wasserressourcen nicht aus, um die im Dezember notwendige Grundbedeckung mit Kunstschnee zu gewährleisten.

Tabelle 05-01

Eigenschaften	Parsenn – Davos	Scuol	Crans-Montana
Pistenflächen mit Kunstschnee ha	150	144	49.5
Wasserbedarf für Kunstschnee m ³	300 000	200 000	450 000
Anteil an der kommunalen Trinkwasserversorgung %	21.5	36.2	11.0*

Wasserbedarf für Kunstschnee in den Skigebieten Davos und Scuol im Winter 2006/ 07 (Rixen et al. 2011) und Crans-Montana 2010/ 11 (Bonriposi 2013, Reynard et al. 2014)

* Bezogen auf die Trinkwasserversorgung der sechs Gemeinden, die die Station in 2011 abdeckte

Paradoxerweise vermindert sich der Wasserbedarf für Kunstschnee in schneereichen Jahren nicht. Denn der Grossteil des Kunstschnees wird im November und Anfang Dezember noch vor Beginn der Skisaison produziert, um eine Grundschicht zu bilden. In dieser Periode kann noch nicht vorausgesehen werden, wie die Schneeverhältnisse im bevorstehenden Winter sein werden (Rixen et al. 2011).

Im Verhältnis zum Trinkwasserbedarf der gesamten Schweiz sind die für die Schneeproduktion eingesetzten Mengen mit 0,2% gering (Freiburghaus 2009). Die regionalen oder lokalen Auswirkungen können dagegen erheblich sein. Für die Station Crans-Montana liegt der Wasserbedarf für Kunstschnee bei etwa 300 000 m³ in normalen Wintern und 450 000 m³ in trockenen Wintern (Bonriposi 2013), was einem maximalen Bedarf von 11% der jährlichen Trinkwasserversorgung in den betroffenen Gemeinden entspricht (Tabelle 05-01). Dieser Anteil reduziert sich auf 5.5%, wenn alle Gemeinden im Einzugsgebiet berücksichtigt werden (Reynard et al. 2014). Im Verhältnis zu allen Wassernutzungen unter Einbezug der Wasserkraft ist der Anteil von Kunstschnee gar nur 0.6%, (Tabelle 05-02) bzw. 3.3% ohne Wasserkraft (Reynard et al. 2014). Dies entspricht 0.3% der auf regionaler Ebene verfügbaren Ressourcen (140 Mio. m³ pro Jahr).

In höherer zeitlicher Auflösung stellt sich die Situation anders da. In trockenen Wintern werden zwischen November und Februar monatlich rund 100 000 m³ Wasser für die Beschneigung benötigt. Dies entspricht einem Drittel des kommunalen Trinkwasserbedarfs in der Hochsaison (etwa 300 000 m³ pro Monat) und einem Zehntel der gesamten in dieser Zeit regional verfügbaren Wassermenge (geschätzt nach Berechnungen von Bonriposi 2013). Dieser detaillierte Fall zeigt, dass es nicht genügt, die Auswirkungen der Kunstschneeherstellung auf die Wasserressourcen im allgemeinen (z.B. auf Ebene Schweiz) zu untersuchen. Jede Situation muss anhand der lokal verfügbaren Ressourcen und der saisonalen benötigten Wassermengen

gen betrachtet werden. Betrachtet man nur die übers Jahr verfügbaren Wassermengen in durchschnittlichen Jahren, ist der Wasserbedarf für Kunstschnee im Vergleich zu den auf regionaler Ebene verfügbaren Mengen und zu anderen Verwendungszwecken wie Trinkwasserversorgung und Bewässerung begrenzt (Bonriposi 2013, Weingartner et al. 2014, NFP61 2015). Auf monatlicher und lokaler Ebene dagegen – besonders in trockenen Jahren – können die Auswirkungen erheblich sein. In solchen Fällen ist ein gutes Management von Wasserspeicherung und Ressourcenzuteilung während der Winterhochsaison nötig, um Nutzungskonflikte zu vermeiden (Vanham et al. 2009, Reynard et al. 2014).

Tabelle 05-02

	Nutzung	Volumen Mio. m³	Anteil am gesamten Wasserbedarf %
Wasserbedarf in der Region Crans-Montana-Sierre (11 Gemeinden) im Trockenjahr 2011 (Bonriposi 2013, Reynard et al. 2014)	Wasserkraft	61.2	81.9
	Trinkwasserversorgung	8.2	11
	Bewässerung	4.8	6.4
	Bewässerung Golfanlagen	0.09	0.1
	Beschneigung	0.45	0.6
	Total	74.74	100

Ein weiteres Problem der Beschneigung ist die Herkunft des benötigten Wassers. In den 1990er Jahren verwendeten künstliche Beschneigungsanlagen sowohl Oberflächenwasser (direkt aus Bächen, Flüssen oder Seen) als auch Grundwasser, Trinkwasser und Wasser aus Stauseen. Da direkte Entnahmen aus der Umwelt durch winterlichen Wassermangel begrenzt sind, wurden zusätzliche künstliche Speicherseen erstellt, die im Sommer Wasser aus der Schneeschmelze zurückhalten. Mitunter wird auch auf die Speicherseen bestehender Wasserkraftwerke zurückgegriffen: So stammt in Zermatt das meiste Wasser für die Beschneigung aus Kraftwerksspeichern (Lanz et al. 2014), ebenso wie auch in Crans-Montana (Bonriposi 2013). In solchen Fällen erhalten die Kraftwerksbetreiber eine Entschädigung für den Verlust an Stromerzeugung.

Da viele Speicherseen unterhalb der Skipisten liegen, entstehen den Bergbahnen erhebliche Energiekosten für das Pumpen von Wasser. Einige Engadiner Destinationen (St. Moritz, Pontresina, Scuol, Samnaun) haben

Speicherseen in grosser Höhe errichtet, die ebenfalls überwiegend mit Wasser aus tieferen Lagen beschickt werden müssen (Lanz 2016). Der grösste eigens für die Beschneigung erstellte Speichersee der Schweiz (400 000 m³) wurde 2015 im Skigebiet Corviglia (St. Moritz) gebaut (Lanz 2016). Im Engadin stammt ein erheblicher Teil des Beschneigungswassers aus Quellen, manchmal mit speziellen Quelldienstbarkeiten zugunsten der Beschneigung (Silvapiana) (Lanz 2016). In vielen Gemeinden des Engadins ist die Verfügbarkeit von Wasser ein limitierender Faktor für die Produktion von Kunstschnee (Lanz 2016).

Eindrücklich sind der hohe Technisierungsgrad und die Kapazität heutiger Kunstschneefraktionen. In gut ausgestatteten Skigebieten können alle Pisten vor Beginn der Saison in etwa 5 Tagen mit einer Grundsicht von 30 cm bedeckt werden (Vanham et al. 2009), wobei der stündliche Verbrauch pro Schneekanone 40 m³ erreichen kann. Deshalb haben die grossen Skidestinationen unabhängig vom Trinkwassernetz regelrechte Schneefabriken geschaffen. Die Schneekanonen am Speichersee von Corviglia (St. Moritz) zum Beispiel können 1 900 m³ pro Stunde versprühen. Dies ist mehr als der durchschnittliche Stundenbedarf der Stadt Bern (1 600 m³ pro Stunde) (Lanz 2016). Im benachbarten Celerina werden in der Hochsaison 1 600 m³ pro Tag für die Beschneigung eingesetzt, das Dreifache des Tagesbedarfs der ständigen Wohnbevölkerung von 537 m³ pro Tag (Lanz 2016).

5.2 Auswirkungen des Tourismus auf die Wasserressourcen

Die drei Hauptkategorien des Tourismus in der Schweiz – Städtetourismus, Seetourismus, Bergtourismus – wirken sich in unterschiedlicher Weise auf die Wasserressourcen aus.

- Der Städtetourismus hat keine spürbaren Auswirkungen auf die Wasserressourcen.
- Der Seetourismus hängt stark von der Qualität der Ressource ab (Landschaft, Wasserqualität zum Schwimmen). Er hat Auswirkungen auf die Seenlandschaft (Küstenurbanisierung, Jachthäfen) und kann die Wasserqualität sowie die Hydromorphologie der Seeufer beeinträchtigen. Da Seetourismus in der Schweiz überwiegend in urbanen Gebieten stattfindet, lassen sich deren Auswirkungen auf Wasserverbrauch und Gewässerqualität nur schwierig von den Umweltwirkungen der Städte trennen.
- Der Bergtourismus hat den grössten Einfluss auf die Wasserressourcen. Detaillierte Studien (z.B. in Crans-Montana) zeigen, dass der saisonbedingte Trinkwasserbedarf hoch ist (Verhältnis von 1 zu 3 in Crans-Montana) und in drei Zeittakten erfolgt (saisonal, wöchentlich, täglich) (Calianno 2018). Der Spitzenverbrauch in Hochsaisonzeiten muss vor allem in Phasen niedrigen Abflusses im Winter oder Spätsommer (für schneebedeckte Einzugsgebiete) mit ausreichenden Speicherkapazitäten und einer guten Vernetzung gedeckt werden.

In Bezug auf die verschiedenen indirekten Verwendungen von Wasser können folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Die Beschneigung hat erhebliche Auswirkungen auf die Wasserressourcen, insbesondere aufgrund der hohen Nachfrageintensität in abflussarmen Monaten (hohe Nachfrage über kurze Zeiträume, von einigen Stunden bis zu wenigen Tagen). Detaillierte Studien zeigen, dass die eingesetzten Wassermengen im Verhältnis zur ganzjährigen Wasserbilanz zwar verhältnismässig niedrig sind (weniger als 1% des Gebietsabflusses). Betrachtet man aber kürzere Zeiträume (täglich, wöchentlich, monatlich), zeigen sich deutliche Auswirkungen auf die Wasserressourcen, insbesondere wenn das Wasser während der winterlichen Niedrigwasserperiode direkt aus der Umgebung entnommen wird. Um eine Übernutzung der lokalen Gewässer zu vermeiden, haben die Bergbahnbetreiber in den letzten Jahren grosse Anlagen mit autonomen Speichermöglichkeiten gebaut und zum Teil auch Vereinbarungen zur Wasserentnahme aus bestehenden Stauseen geschlossen. Zwei weitere Auswirkungen der Beschneigung auf die Umwelt sind zu beachten: die Verstärkung der Abflüsse während der Schneeschmelze im Frühling,

die sich gegenüber Naturschnee verdoppeln können (SLF 2002), und die Verdunstung aus Stauseen, welche 10 bis 30 betragen und den Abfluss entsprechend reduzieren kann (Björnson Gurung et al. 2014).

- Studien zu den Auswirkungen von Golfplätzen gibt es nur wenige. In Crans-Montana ist der Bedarf relativ zum Verbrauch im Einzugsgebiet vernachlässigbar (Reynard et al. 2014). In anderen Fällen kann der während Trockenphasen besonders hohe Verbrauch Probleme bereiten, wenn das Wasser aus lokalen Gewässern entnommen wird (z.B. Allondon).

Schliesslich kann die Umwelt auch anderweitig durch touristische Aktivitäten betroffen sein:

- Auswirkungen auf die Wasserqualität sind nicht spezifisch auf den Tourismus zurückzuführen. Die Abwasserbehandlung in Tourismusdestinationen wurde gleichzeitig wie in nicht-touristischen Regionen aufgebaut. Die extremen Spitzen beim Abwasseranfall während der Hauptsaison im Winter haben in der Vergangenheit (1960-1980) sogar eine beschleunigende Rolle beim Ausbau der Kläranlagen gespielt. Die schwere abwasserbedingte Typhusepidemie in Zermatt im Jahr 1963, bei der drei Menschen ums Leben kamen und mehr als 450 Menschen hospitalisiert werden mussten, tat während der grossen Bauwelle von Bergresorts in den 1960er Jahren das ihrige, die Abwasserbehandlung zu verbessern.
- Touristische Infrastrukturen wirken sich auch auf Ufer und Feuchtgebiete aus (Davenport et al. 2006). In der Schweiz sind dies im wesentlichen Häfen und Jachthäfen sowie Uferverbauungen und Aufschüttungen für Strände. Zudem können Wasserentnahmen für die Bewässerung von Golfplätzen oder für die Beschneigung lokale Ökosysteme wie Moore und Feuchtgebiete beeinträchtigen.

5.3 Die Zukunft

5.3.1 Einfluss des Klimawandels

Der Tourismus ist als Wirtschaftssektor besonders stark vom Klimawandel betroffen (Müller et al. 2008, FIF 2011). In der Schweiz macht sich dies vor allem durch die Verringerung der Schneebedeckung bemerkbar (Anstieg der Schneegrenze, Verringerung der Anzahl der Schneetage pro Winter, Anstieg des flüssigen Niederschlagsanteils im Winter). Durch den Rückgang des Permafrosts und das Abschmelzen von Gletschern verändern sich die alpinen Landschaften, entstehen neue Naturgefahren und können Hochgebirgsinfrastrukturen (Bergbahnen, Gebäude) instabil werden, so dass touristische Aktivitäten erschwert sind.

Auf der anderen Seite bietet der Klimawandel aber auch Chancen für den Schweizer Tourismus. Graubünden und das Wallis verfügen im Vergleich zu den Nachbarländern über höher gelegene Destinationen (Abegg et al. 2007). Dies nützt auf lange Sicht dem Wintertourismus (Wettbewerbsvorteil durch längere Schneesicherheit) als auch dem Sommertourismus. Denn bei zukünftigen Hitzewellen im mediterranen Bereich werden in grosser Höhe weiterhin angenehme Temperaturen herrschen und die Attraktivität der Bergregionen gegenüber Städten erhöhen (BAFU 2012a). Die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Wasserressourcen und ihre Nutzung durch den Tourismussektor sind daher vielfältig und unterschiedlich. Sie überlagern sich mit sozioökonomischen Veränderungen.

5.3.2 Auswirkungen auf die touristische Saisonalität

Die Entwicklung des Ganzjahrestourismus wird besonders von den Bergkantonen angestrebt und auch von vielen heute noch stark von der Wintersaison abhängigen Urlaubsorten verfolgt. Sollte eine solche Umorientierung gelingen, dürften die saisonalen Unterschiede beim Wasserbedarf abnehmen, die Gesamtnachfrage aber steigen. Bonriposi (2013) konnte nachweisen, dass der Trinkwasserbedarf bei höherer Lufttemperatur zunimmt. In einigen besonders trockenen Gebieten der Schweizer Alpen (Zentralwallis, Engadin) könnte der doppelte Effekt erhöhter touristischer Belegung im Sommer und erhöhten Pro-Kopf-Wasserbedarfs das Risiko für Wasserknappheit im Sommer und Herbst erhöhen. Denn mit dem Klimawandel werden die Wassermengen in den Gebirgsflüssen vor allem in der zweiten Hälfte des Sommers und im Frühherbst deutlich abnehmen (BAFU 2012b). In Crans-Montana wird der Wasserstress in der zweiten Sommerhälfte unter verschiedenen sozioökonomischen Szenarien sehr wahrscheinlich zunehmen (Weingartner et al. 2014). Zurückgehende Abflüsse im Spätsommer und Herbst könnten auch dazu führen, dass

in den künstlichen Beschneigungsteichen nicht genügend Wasser für die Wintersaison gespeichert werden kann.

5.3.3 **Auswirkungen auf den Sommertourismus**

Städtetourismus

Der Klimawandel wird den städtischen Wärmeineffekt verstärken (Sachindra et al. 2015). Es ist unklar, wie sich dies in Zukunft auf den Städtetourismus auswirken wird. Allenfalls kann davon ausgegangen werden, dass in den Städten neue Wasserinfrastrukturen (Brunnen, Wasserstellen) geschaffen werden müssen, um Hitzewellen und Trockenheit zu bewältigen. Es ist zu erwarten, dass der Städtetourismus im Sommer abnehmen und sich auf Frühjahr und Herbst verlagern wird – besonders dort, wo es keine Seen oder Flüsse gibt. Signifikante Auswirkungen auf das zukünftige urbane Wassermanagement wird voraussichtlich nicht haben, da der Städtetourismus wenig saisonal ist.

Fluss- und Seetourismus

Es gibt nur wenige empirische Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den naturbezogenen Tourismus (Scott 2006). Wie sich der Tourismus an Seen und Flüssen in Zukunft entwickeln und wie er sich auf die Wasserressourcen auswirken wird, ist daher kaum vorherzusehen. Wenn sich die klimatischen Trends fortsetzen (weniger Frosttage, höhere Wassertemperaturen, geringere Abflüsse, Abnahme der winterlichen Seendurchmischung), wird dies das touristische Angebot einiger Standorte langfristig verändern (Eissport, Schwimmen). Der Trend zunehmender Trockenperioden könnte die touristische Nutzung der Flüsse beeinträchtigen, besonders wenn Flussbetten zeitweilig austrocknen (NFP61 2015). Dagegen sollte die Attraktivität der Seen durch wärmere Temperaturen eher zunehmen, insbesondere in der Höhe.

Gletschertourismus

Der Gletschertourismus ist schon heute stark vom Klimawandel betroffen. Seit einigen Jahren ist in der Schweiz Skifahren im Sommer nur noch in zwei Skigebieten möglich (Zermatt, Saas Fee), und auch deren Bestand ist nicht dauerhaft gesichert. Die Verringerung der Gletscheroberflächen, ihre allmähliche Bedeckung mit Geröll und Sedimenten bis hin zum völligen Verschwinden im Laufe des 21. Jahrhunderts werden viele alpine Landschaften grundlegend verändern. Die Auswirkungen auf den Tourismus sind jedoch schwer abzusehen, da dieser auch von anderen

Faktoren abhängt, z.B. vom globalen Markt und den Präferenzen der Touristen. Mögliche Folgen für den Wasserbedarf können daher derzeit nicht abgeschätzt werden.

Nach dem Abschmelzen der Gletscher werden vielerorts neue Gletscherseen entstehen. Ein völliges Abschmelzen der Schweizer Gletscher würde 500 bis 600 Vertiefungen freigeben, in denen sich Seen bilden können. Ein Drittel davon wird ein Volumen von mehr als 1 Million m³ haben und in den Vertiefungen unter den Gletschern von Aletsch, Gorner, Otemma, Corbassière und Gauli könnten sich gar Seen von mehr als 50 Mio. m³ bilden (Haeberli et al. 2013). Solche Gletscherseen könnten zu Speicherseen für die Wasserkraft ausgebaut, aber auch zu neuen, für den Sommertourismus attraktiven Gebirgsseelandschaften werden (NFP61 2015).

Golftourismus

Der Bewässerungsbedarf für Golfplätze dürfte sich in Zukunft regional unterschiedlich entwickeln. So wurde z.B. für Crans-Montana (in einer inneralpinen Trockenzone, wo Golfplätze stets bewässert werden) ein Anstieg des Bedarfs bis 2050 von bis zu 15% berechnet (um 15 000 m³ pro Jahr) (Bonriposi 2013, Reynard et al. 2014). Nördlich der Alpen, wo die Golfplätze bisher seltener bewässert werden, dürfte der Wasserverbrauch in Zukunft markant ansteigen, vor allem in längeren Trockenperioden.

Schifffahrt auf Seen und Flüssen

Die lange Trockenheit im Sommer und Herbst 2018 war ein Vorbote für die Auswirkungen des Klimawandels. Die Schifffahrt auf Bodensee, Zugersee, Hallwilersee und Greifensee war beeinträchtigt, vor allem wegen fehlendem Tiefgang an den Anlegestellen kamen einige kritische Flusspassagen hinzu (siehe Tabelle 05-03). Solche Ereignisse könnten sich künftig häufen. Andererseits sind lange Phasen ohne Regen und die Verlängerung der Sommersaison für touristische Aktivitäten im Freien günstig und würden die Zwischensaison rentabler machen (Rebetez et al. 2016). Häufigere Hochwasserereignisse könnten der Schifffahrt ebenfalls im Weg stehen und zu wirtschaftlichen Einbußen führen, wie dies vor allem im Sommer 2005 der Fall war. Auch könnten wiederkehrende gefährliche Hochwasser einen Imageschaden mit sich bringen und bei einigen Touristen ein Gefühl der Unsicherheit hervorrufen (Rebetez et al. 2016).

Tabelle 05-03

Einschränkung der Schifffahrt auf Schweizer Seen und Flüssen im Sommer und Herbst 2018 (Lanz 2019)

Gewässer	Auswirkungen, Einschränkungen
Bodensee	Landstellen Bad Schachen ab 23. Juli Langenargen ab 24. September ausser Betrieb seit Juli an mehreren Stationen kein Rollstuhlzugang
Bodensee Untersee	Keine Kursschiffe zwischen Diessenhofen und Stein am Rhein ab 23. Juli bis Oktober
Bodensee Altenrhein	Ab 30. Juli keine Kursschiffe zwischen Rorschach und Rheineck, bis Ende September
Walensee	Verlegung Anlegestelle Quinten, steilere Rampen an allen Anlegestellen
Zugersee, Ägerisee	Trotz rekordtiefer Sommerpegel alle Stationen erreichbar aber sehr steile Rampen
Greifensee	Landstelle Mönchaltorf ab 16. Juli ausser Betrieb weil Seepegel ein Meter unter normal
Hallwilersee	Seepegel mehr als 60 cm unter normal grosse Probleme beim Zustieg (Rampe nötig) aber alle Stationen erreichbar
Lago Maggiore	Landstelle Isola Madre (Italien) ab August wegen niedrigen Pegels nicht anfahrbar
Zürichsee	Trotz rekordtiefem Sommerwasserstand keine Einschränkungen
Limmat	Schifffahrt wegen zu hohen Temperaturen an Bord (verglaste Schiffe) zeitweise eingestellt
Vierwaldstättersee	Trotz rekordtiefem Sommerwasserstand keine Einschränkungen

5.3.4 Auswirkungen auf den winterlichen Bergtourismus

Der Skitourismus hängt nicht nur vom Klima, sondern auch von den Marktbedingungen ab (Steiger et al. 2017). Der Klimawandel mit dem Anstieg der Schneegrenze wird die Wirtschaftlichkeit der Skigebiete stark beeinflussen. Bei einem Anstieg der Schneegrenze von 1 200 auf 1 500 m wären nur noch 63% der Mitte der 1990er Jahre bestehenden Destinationen zum Skifahren geeignet (Abegg 1996, König et al. 1997), bei einer Erwärmung um 4°C (Schneegrenze 1 800 m) würde die Zahl auf 44% sinken (Elsasser et al. 2002, Abegg et al. 2007). Diese Änderungen betreffen vor allem den Jura, die Ost- und Zentralschweiz, die Kantone Waadt, Freiburg und das Tessin. In den Kantonen Wallis und Graubünden sind die Aussichten für Schneetourismus weit besser, denn die durchschnittliche Höhe der Gipfelstationen liegt bei 2 500 m (Abegg 1996).

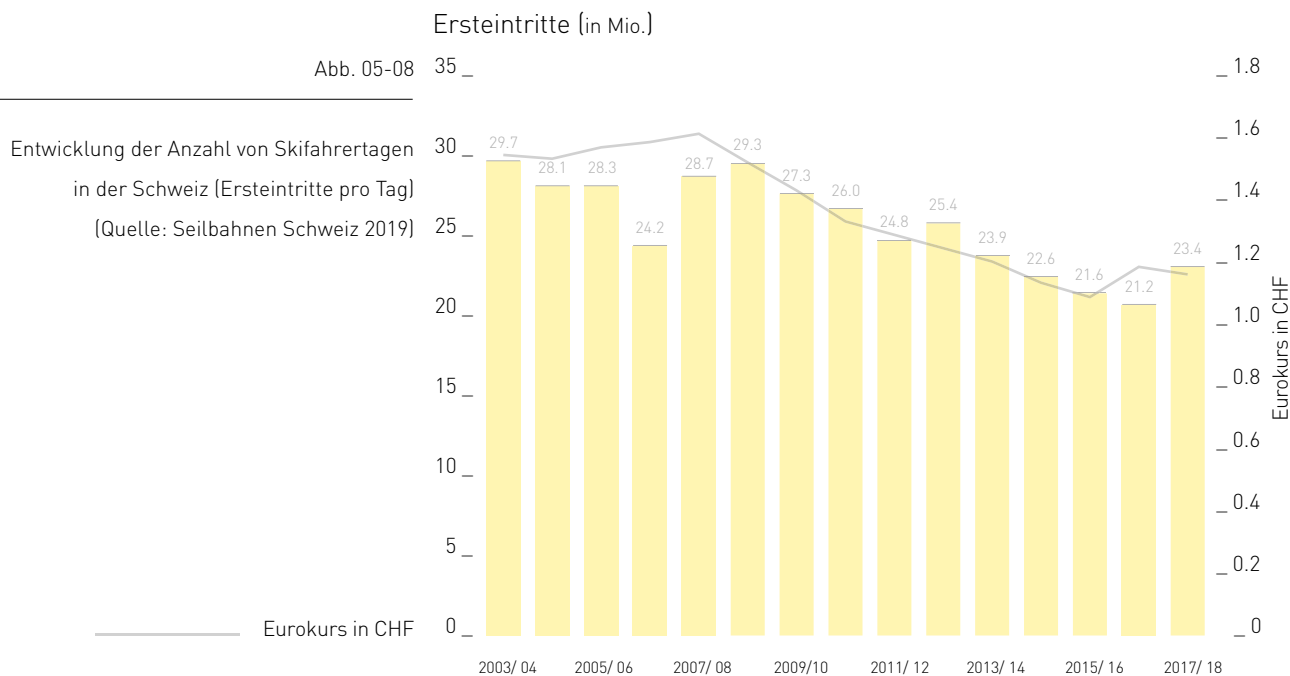
Die Empfindlichkeit gegenüber ausbleibendem Naturschnee kann durch den Einsatz von Beschneiungsanlagen vermindert werden (Scott et al. 2012, Gonseth 2013, Steiger et al. 2017). Um die «Überlebensfähigkeit» der europäischen Skigebiete bis 2050 zu sichern (Steiger et al. 2017), wäre ein Ausbau von Beschneigungsinfrastrukturen um 50 – 100% erforderlich. Dadurch würde der Wassereinsatz für Kunstschnee mit Zuwachsraten wie in den letzten drei Jahrzehnten zunehmen (Rixen et al. 2011). Nach Ansicht des Bundes (BAFU 2012a) ist die Beschneigung eine mittelfristige Massnahme zur Anpassung an den Klimawandel, und Beschneigungsinfrastrukturen werden vom Bund im Rahmen der Neuen Regionalpolitik (NRP) gefördert (Remontées mécaniques Nendaz-Veysonnaz 2019). Manche Skigebiete setzen auf eine Vollbeschneigung aller Pisten, (z.B. Zermatt und Nendaz Veysonnaz). Für Crans-Montana wurde berechnet, dass eine Beschneigung sämtlicher Pisten einen Anstieg des Wasserverbrauchs um 77% mit sich bringen und insgesamt 0,8 Mio. m³ pro Jahr erfordern würde (Weingartner et al. 2014).

Beschneigung erfordert nicht nur entsprechende Anlagen und verfügbares Wasser, sondern auch ausreichend tiefe Temperaturen. Die potenziellen Beschneigungsfenster werden sich aufgrund der Erwärmung verkleinern (Rixen et al. 2011, Bonriposi 2013). Dies könnte einen dreifachen Effekt auf den Wasserbedarf für Kunstschnee haben. Wenn in niedrigen Höhenlagen die Kunstschneeherstellung unmöglich wird – es sei denn, es werden neue Beschneigungstechniken entwickelt, die auch bei höheren Temperaturen funktionieren –, wird der dortige Wasserbedarf abnehmen bzw. gegen null gehen. Die Folge wäre eine Konzentration des Skisports in höheren Lagen mit einem entsprechenden Anstieg der dortigen Nachfrage. Da aber auch in höheren Lagen die Zeitfenster mit ausreichend tiefen Temperaturen

kleiner werden, wird dort die Nutzungsintensität steigen und einen sehr hohen Wasserbedarf in sehr kurzer Zeit mit sich bringen.

In Destinationen von mittlerer und grosser Höhenlage und guten Temperaturvoraussetzungen für die Beschneigung ist mit einer Zunahme der Anzahl und Grösse von Wasserspeicherinfrastrukturen zu rechnen, um eine höhere Intensität der Schneeproduktion zu ermöglichen. Wie vom NFP 61 empfohlen könnten solche Reservoirs auch multifunktional genutzt werden, etwa für Beschneigungszwecke im Winter und für Bewässerung im Sommer (Tuth et al. 2016). Auch wird erwartet, dass Wasserkraftspeicher vermehrt als Ressource für die Beschneigung eingesetzt werden, selbst wenn diese häufig tiefer als die Skigebiete liegen, was hohe Pumpkosten mit sich bringt.

Die Auswirkungen sozioökonomischer Veränderungen auf den Wasserbedarf für die Beschneigung sind schwierig abzuschätzen. Sie hängen von mehreren Faktoren ab, vor allem der zukünftigen Attraktivität des Skisports, gemessen an der Anzahl der Skifahrtage (Anzahl Ersteintritte am untersten Drehkreuz pro Tag): nach steilem Abwärtstrend seit 2010 (Seilbahnen Schweiz 2018, Vanat 2018) wurden im Winter 2016/ 17 noch 21.2 Millionen Skifahrtage gemessen (Seilbahnen Schweiz 2018), 2019 stiegen die Zahlen wieder leicht an (Seilbahnen Schweiz 2019). Die Schweiz hat seit Mitte der 2000er Jahre 25% der Skifahrtage verloren, während die Auslastung der französischen, österreichischen und italienischen Skigebiete mehr oder weniger stabil geblieben ist. Dies dürfte mit dem für ausländische Touristen ungünstigen Wechselkurs des Schweizer Frankens zusammenhängen. Auf der anderen Seite sinkt generell die Anzahl der Skifahrer, besonders während schneearmer Winter, z.B. 2006/ 07 (Seilbahnen Schweiz 2018). Die Anzahl der Skifahrtage beeinflusst den Umsatz und die Investitionskapazität der Skianlagenbetreiber.



Die Betriebskosten der Skigebiete sind in den letzten Jahren stark gestiegen, so dass einige kleine Skigebiete geschlossen werden mussten (Steiger et al. 2017). Die Betriebskosten für ein grosses Skigebiet werden auf CHF 250 000 pro Tag geschätzt, etwa hälftig für Aufstiegskosten (Skilifte, CHF 130 000 pro Tag) und Abfahrtskosten (Präparation und Sicherheit der Pisten, Beschneigung) (Seilbahnen Schweiz 2018). Die täglichen Kosten für die Beschneigung liegen bei durchschnittlich CHF 43 000 bzw. 17% der gesamten Betriebskosten pro Tag, etwa gleich hoch wie für die Pistenpräparation. Der finanzielle Aufwand der Beschneigung ist ausschlaggebend für deren Entwicklung in der Zukunft. Dabei spielen die Wasserkosten eine wichtige Rolle: derzeit ist das Wasser abgesehen von Pumpkosten oft kostenfrei verfügbar; in einem Umfeld schwindender Ressourcen könnte es jedoch in Zukunft den Betreibern der Skigebiete verrechnet werden.

Ein weiterer Klimaeffekt bei der Ausübung des Skifahrens ist der Prozess der räumlichen Substitution: Bei schlechten Schneeverhältnissen weichen die Skifahrer eher auf schneesichere Destinationen aus als dass sie ihre Tourismuspraktiken anpassen (Scott et al. 2008, Gonseth 2013, Steiger et al. 2017). Es ist davon auszugehen, dass der Wasserbedarf in den grossen Skigebieten im Wallis und Graubünden in Zukunft weiter steigen wird. In Regionen unter 1 500-1 600 m (Jura, Voralpen) wird er zunächst zunehmen (mittlerer Horizont) und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ganz verschwinden (Steiger et al. 2008).

5.4 Zielkonflikte und Synergien

Die meisten Konflikte zwischen touristischer Nutzung von Wasser und anderen Nutzungen hängen mit den saisonbedingten Belegungsspitzen zusammen. Allgemeine Folgerungen sind nicht möglich, da die Bedingungen je nach Grösse des Ortes, touristischer Struktur und Klimazone sehr unterschiedlich sein können. Nutzungskonflikte bestehen jedoch und manifestieren sich meist lokal und punktuell.

Kostenträchtige Infrastruktur

Ein ausgeprägtes touristisches Profil erfordert eine wesentlich grössere Dimensionierung der Anlagen für Trinkwasserversorgung und Abwasserreinigung. Nur so lässt sich der Spitzenbelastung bei Wasserverbrauch und Abwasseranfall begegnen, die sich meist nur auf einige Wochen oder gar wenige Tage konzentriert. Die grosse Dimensionierung verursacht beträchtliche zusätzliche Bau- und Unterhaltskosten, die von den Gemeinden finanziert werden müssen. Die Frage nach der Verteilung dieser Kosten stellt sich besonders in Orten mit hohem Zweitwohnungsanteil. Verschiedene Walliser Tourismusdestinationen haben ihre Gemeindeordnungen jüngst angepasst, um deren Eigentümer stärker in die Finanzierung einzubeziehen. Die Kosten der Infrastruktur dürften in den kommenden Jahrzehnten vermehrt zum Thema werden, da Trinkwasser- und Abwassernetze eine Lebensdauer von etwa 50 Jahren haben (Blanc et al. 2014). Viele alpine Gemeinden haben ihre Infrastrukturen in den 1960er und 1980er Jahren ausgebaut, so dass deren Erneuerung in den nächsten Jahrzehnten ansteht. Ein weiterer potenzieller Nutzungskonflikt besteht in Regionen mit trockenem Klima (Wallis, Engadin), wo die Verwendung von Trinkwasser für die Bewässerung von Gärten und Rasenflächen die touristisch bedingten saisonalen Wasserengpässe verschärft (Reynard et al. 2012; Reynard et al. 2014, Weingartner et al. 2014).

Beschneigung

Die Beschneigung kann Zielkonflikte mit dem Gewässerschutz (Restwasser), der Landwirtschaft und der Trinkwasserversorgung auslösen (Lanz et al. 2014). Wenn Beschneigungsanlagen Wasser aus dem öffentlichen Leitungsnetz entnehmen, kann die Trinkwasserversorgung beeinträchtigt werden, wie zum Beispiel im Winter 2006/ 2007 im Ferienort Les Gets in der Haute-Savoie (Magnier 2016). Temporäre Konflikte werden auch in Scuol und Pontresina gemeldet (Lanz 2016). Im Engadin werden zum Teil Quellen, die für die Trinkwasserversorgung erschlossen wurden, nun für die Beschneigung genutzt (Lanz 2016). So liess die Gemeinde Samnaun 2015 eine neue Grundwasserfassung für die Trinkwasserversorgung bauen, um eine andere Trinkwasserquelle für die Beschneigung umnutzen zu können (Lanz 2016).

Eine ähnliche Nutzungskonkurrenz besteht auch in Silvaplana (Lanz 2016). Ausserdem werfen Wasserentnahmen für die Beschneigung auch die Frage nach der Einhaltung von Restwassermengen auf, insbesondere wenn das Wasser hochalpinen Bächen und Quellen während Niedrigwasserperioden entnommen wird. In Graubünden wird zur Vermeidung ökologischer Konflikte mancherorts bereits im Oktober mit der Beschneigung begonnen (Lanz 2016).

Natur- und Landschaftsschutz

Interessenkonflikte treten zudem zwischen Wassersport (Canyoning, Kanufahren, Rafting) und dem Schutz von Natur und Landschaft in geschützten Gebieten auf, z.B. in Auengebieten von nationaler Bedeutung (Mönnecke et al. 2004). Auch die Fischerei kann durch den Wassersport beeinträchtigt werden. Beispielsweise kam es in den 1980er Jahren zu einem Konflikt um das Rafting am Vorderrhein in der Nähe von Ilanz. Durch eine Anpassung des Bündnerischen Schifffahrtsgesetzes wurde das Rafting im Kanton eingeschränkt und in sensiblen Bereichen ganz verboten (Mönnecke et al. 2005).

Die Beziehung zwischen der Revitalisierung von Flüssen und Erholungsaktivitäten ist ambivalent: Einerseits ist die Erholungsfunktion ein wichtiges Argument für die Revitalisierung von Flüssen, andererseits kann die touristische Nutzung eines renaturierten Wasserlaufs mit ökologischen Zielen kollidieren, insbesondere bei Baumassnahmen (Paccaud et al. 2013). Während leichte Eingriffe wie Wanderwege toleriert werden können, sind Verbauungen wie zum Beispiel Rampen zum Einwassern von Booten problematisch. In urbanen Gebieten erhöht eine Revitalisierung die touristische Attraktivität gegenüber stark befestigten, künstlichen Ufern.

Landwirtschaft

Zwischen der Wassernutzung für den Tourismus und der Landwirtschaft bestehen kaum Konflikte. In begrenzter Form sind Konflikte zwischen Golfbewässerung und landwirtschaftlicher Bewässerung bekannt. Sie könnten sich in der Zukunft im Mittelland und in den Voralpen akzentuieren, wenn sich Trockenperioden im Sommer und Herbst häufen. Im Wallis stösst die touristische Nutzung der Suonen mancherorts auf Widerstand, wenn das Verhalten der Touristen ihre Nutzung durch die Landwirtschaft behindert. Haftungsprobleme können durch überlaufende Suonen entstehen, insbesondere dort, wo auf den früheren Wasserwiesen Zweitwohnungen erstellt wurden. Im allgemeinen funktioniert bei den Suonen das Nebeneinander von touristischer und landwirtschaftlicher Nutzung der Suonen aber gut, Konflikte treten eher zwischen verschiedenen tou-

ristischen Nutzern auf (z.B. Wanderern und Radfahrern). Eine ungelöste Frage bleibt der geringe finanzielle Beitrag des Tourismussektors zur Instandhaltung der Suonen. Angesichts des wirtschaftlichen Drucks auf den Agrarsektor könnten neue Formen der Kofinanzierung oder Beteiligung durch den Tourismussektor entwickelt werden.

Wasserkraft

Auch zwischen Wasserkraft und Tourismus herrscht eine ambivalente Beziehung. Einerseits steht die Nutzung der Wasserkraft im Konflikt mit der touristischen Nutzung von Flüssen, insbesondere wegen der Unfallgefahr durch Schwallbelastungen und bei automatischen Spülvorgängen. Seit Jahrzehnten informieren die Betreiber Besucher über die Risiken von Aktivitäten an und in Flüssen mit Wasserkraftnutzung. Seit 2008 beschäftigt die Firma Hydro Exploitation, die 46 Wasserkraftwerke in der Westschweiz betreibt, jeden Sommer Hydro-Guides, die stromabwärts von Wasserkraftwerken auf Risiken in den Flüssen hinweisen (Hydro Exploitation o. J.).

Auf der anderen Seite stellen Staudämme und Wasserkraftwerke eigene Touristenattraktionen dar (Rodriguez et al. 2014, Loloum 2016). Der Staudamm Grande Dixence im Wallis zieht jährlich 100 000 Besucher an, von denen ein Zehntel an geführten Touren im Inneren des Damms teilnimmt. In Mauvoisin dient der Staudamm künstlerischen Performances, die für die Entwicklung des Kulturtourismus von Interesse sind. In Emosson wurden die alten, für den Bau des Damms errichteten Materialbahnen in touristische Seilbahnen umgewandelt.

5.5 **Potenzielle Lösungsansätze**

Vier Grundfragen stellen sich beim Nexus Wasser-Tourismus: (I) Bewertung des Wassers als touristischer Attraktivitätsfaktor; (II) ausgeprägte Saisonalität des Verbrauchs; (III) Wasser für die künstliche Beschneidung; (IV) Abdeckung von Verbrauchsspitzen.

(I) Wasser ist eine Grundvoraussetzung für den Tourismus in der Schweiz, sowohl als Gewässer (Seen, Flüsse, Gletscher) als auch in seiner technischen Beherrschung (hydraulische Infrastruktur). Die Attraktivität der Flüsse nahm in den Jahren 1960-2000 ab, hauptsächlich aufgrund von Verbauungen, Ableitungen und des Ausbaus der Wasserkraft. Mit der Revitalisierung werden die Flüsse wieder attraktiver, besonders in städtischen Gebieten besteht ein erhebliches Synergiepotenzial mit dem Tourismus.

Das vergletscherte Hochgebirge muss in Bezug auf seine touristische Nutzung noch eingehender untersucht werden: Die Attraktivität bestimmter Regionen könnte durch das Verschwinden der Gletscher abnehmen, anderswo könnte sie durch das Entstehen neuer Seen steigen.

(II) Die Saisonalität der Wassernutzung in touristischen Gebieten ist eine wesentliche Herausforderung für die Siedlungswasserwirtschaft. Die wenigen detaillierten Regionalstudien im Wallis (Crans-Montana) oder Graubünden (Engadin) zeigen, dass die lokalen und kantonalen Behörden oft keinen Überblick über die Situation haben. Statt abgestimmter, langfristiger Managementkonzepte werden meist flexible und ad-hoc-Lösungen für temporäre und lokale Engpässe entwickelt (Weingartner et al. 2014). Mit abnehmender Verlässlichkeit der Wasserressourcen durch den Klimawandel werden Zuteilung und Priorisierung der verschiedenen Wassernutzungen immer wichtiger, um Konflikte in Zeiten von Knappheit besonders im Spätsommer und Herbst zu antizipieren und zu bewältigen. Dafür müssen auch rechtliche Fragen (alte Wasserrechte, rechtlicher Status neuer vergletschelter Landschaften) geklärt werden.

(III) Der Wasserbedarf der Beschneigung wirft mehrere Fragen auf. 2016 konnten 49% der Schweizer Skipisten künstlich beschneit werden, und im Wettbewerb mit ausländischen Skiorten findet ein weiterer zügiger Ausbau statt. Bisher fehlte es beim Ausbau von Beschneigungsinfrastrukturen oft an angemessener Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Wasserressourcen und andere Wassernutzer. Einen solchen umfassenden und integrierten Ansatz gibt es weder in Graubünden (Lanz 2016) noch im Wallis. Eine vorausschauende Planung ist jedoch notwendig, schon um die oft ideologische Debatte zwischen Befürwortern und Gegnern der Beschneigung zu entschärfen. Die Beschneigung gilt als wirksamer Ansatz zur Anpassung an steigende Temperaturen (Steiger et al. 2017). Während ihre Auswirkungen regional und im Jahresmittel relativ gering erscheinen, können sie lokal besonders in wasserarmen Monaten erheblich sein. Daher sind bei zukünftigen Investitionen die Wirkungen auf die lokalen Wasserressourcen und auf andere Wassernutzungen umfassend zu berücksichtigen. Ohne übergeordnete Planung lässt sich die wirtschaftliche Bedeutung des Wintersports für die regionale Wirtschaft nicht mit den ökologischen und sozialen Folgen der Beschneigung in Einklang bringen (Lanz 2016).

(IV) Auch in der Schweiz kann es in längeren Trockenperioden und bei erhöhtem Spitzenverbrauch zu Wasserknappheit kommen. In touristischen

Gebirgsregionen ist dieses Phänomen besonders ausgeprägt. Seit den 1960er Jahren erreicht die Wassernachfrage während der Spitzenbelegung im Winter vielerorts nahezu die Kapazitätsgrenze (Reynard 2000). Seit den 1990er Jahren hat der Ausbau der Beschneigung das Problem verschärft. Im Sommer liegt der tägliche Spitzenbedarf oft mehr als doppelt so hoch wie im Jahresdurchschnitt. Dies wurde insbesondere in den trockenen Jahren 1976 und 2003 beobachtet. Um Verbrauchsspitzen abdecken zu können, wird häufig die Trinkwasserinfrastruktur erweitert. Multifunktionale Mehrzweckspeicher (Tuth et al. 2016, Brunner et al. 2019) könnten dazu beitragen, einen übermässigen Ausbau der Trinkwasserinfrastruktur zu vermeiden.

5.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

Die wichtigsten Wissenslücken betreffen die Statistik. Während die Datengrundlage für den Tourismus generell gut ist, fehlen auf Bundesebene Daten zu Wasser und Tourismus. Wie bei den meisten anderen Wassernutzungen sind auch für den Tourismus die Daten zum Wasserverbrauch unvollständig und teilweise widersprüchlich. Aufgrund des Föderalismus werden sie von verschiedenen Akteuren erhoben und sind nicht aggregiert. Statistiken über die für die Beschneigung eingesetzten Wassermengen sind kaum zu bekommen, da sie von den Betreibern als wirtschaftlich und politisch sensibel erachtet werden. Darüber hinaus ist die Saisonalität, ein zentrales Merkmal der Wassernutzung in Ferienorten, wegen des Fehlens verlässlicher Daten zur touristischen Belegung (Übernachtungen) schwierig zu analysieren. Aktuelle, lokal und regional durchgeführte Studien (Bonriposi 2013, Lanz 2016, Caliano 2018) sollten vertieft werden.

Abgesehen von einzelnen Studien auf regionaler Ebene (Engadin, Crans-Montana) gibt es kaum Studien zur Beschneigung und deren Auswirkungen auf die Wasserressourcen. Den Kantonen fehlt daher die Grundlage für eine gewässerkompatible, integrierte Planung und Entwicklung von Beschneigungsinfrastrukturen. Wegen der Auswirkungen der Beschneigung auf das hydrologische System und anderer lokaler Wassernutzungen sollten detaillierte Studien intensiviert werden.

Wie sich Wasser in all seinen Formen auf die Attraktivität von Tourismusregionen im Kontext des Klimawandels konkret auswirkt (Trinkwasserbedarf, Anziehungskraft von Seen, neue Gletscherseen, Änderungen der Schneeverhältnisse, Wasser als Faktor in städtischen Gebieten), wurde bisher noch wenig untersucht.

5.7 **Literatur**

20 minutes (2017)

[Les golfs accusés d'assécher l'Allondon](#)

20 minutes, Ausgabe Genève vom 10.12.2017

Abegg, B. (1996)

Klimaänderung und Tourismus – Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen
Schlussbericht NFP 31

Zürich, vdf Hochschulverlag

Abegg, B. et al. (1994)

Klimaänderung und Gletscherskitourismus Geographica Helvetica No. 3, Seiten 103 – 114

Abegg, B. et al. (2007)

Climate change impacts and adaptation in winter tourism In: Agrawala, S. (Hrsg.)

Climate Change in the European Alps. Adapting winter tourism and natural hazards management

In: Agrawala, S. (Hrsg.)

Paris, OECD, Seiten 25 – 60

Arvola, L. et al. (2010)

The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes

In: George D.G. (Hrsg.). The impact of Climate Change on European Lakes Aquatic Ecology No. 4, Seiten 85 – 102

BAFU (2012a)

[Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz, Ziele Herausforderungen und Handlungsfelder](#)

Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2.3.2012

Bern, Bundesamt für Umwelt

BAFU (2012b) (Hrsg.)

[Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer](#)

Synthesebericht Klimänderung und Hydrologie in der Schweiz, Umweltkenntnis 1217

Bern, Bundesamt für Umwelt

BAFU (2014)

[Grundlagen für die Wasserversorgung 2025 – Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen](#)

Bern, Bundesamt für Umwelt

BAFU et al. (Hrsg. 2019)

[Hitze und Trockenheit im Sommer 2018 – Auswirkungen auf Mensch und Umwelt](#)

Umwelt-Zustand Nr. 1909

Bern, Bundesamt für Umwelt, 91 Seiten BFS (2019)

[Schweizer Tourismusstatistik 2017](#)

Neuchâtel, Bundesamt für Statistik, 81 Seiten

BFU (2019)

[STATUS 2019 – Statistik der Nichberufsunfälle und des Sicherheitsniveaus in der Schweiz](#)

Bern BFU

Björnsen Gurung, A. et al. (2014)

[«Nachhaltige Wassernutzung» – Wasserressourcen der Schweiz – Dargebot und Nutzung – heute und morgen](#)

Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern, SNF

Blanc, P. et al. (2014)

[Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick](#)

Bern, Schweizerische hydrologische Kommission CHy, 28 Seiten

Bonriposi, M. (2013)

[Analyse systémique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre](#) (Suisse)

Thèse de doctorat, Université de Lausanne

Brunner, M.I. et al. (2019)

Present and future water scarcity in Switzerland: Potenzial for alleviation through reservoirs and lakes

Science of the Total Environment, No. 666, Seiten 1033 – 1047

BUWAL/BWG/MeteoSchweiz (2004)

[Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer](#)

Bern, 174 Seiten

Calianno, M. (2018)

[Quantifier les usages de l'eau en territoire touristique de montagne](#)

Thèse de doctorat, Université de Lausanne

CIPEL (2017a)

[Plan d'action 2011-2020 en faveur du Léman, du Rhône et de leurs affluents](#)

Tableau de bord technique

Lausanne, CIPEL

CIPEL (2017b)

[Rapports de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution](#)

Campagne 2016

Lausanne, CIPEL

CIPEL (2019)

[Carte des plages du Léman 2019](#)

Genf

Davenport, J. et al. (2006)

[The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments – A review](#)

Estuarine Coastal and Shelf Science No. 67, Seiten 280 – 292

EEA (2019)

[Swiss bathing water quality in 2018](#)

Luxembourg, European Environment Agency

Elsasser, H. et al. (2002)

[Climate change as a threat to tourism in the Alps](#)

Climate Research No. 20, Seiten 253 – 257

FIF (2011)

[Der Schweizer Tourismus im Klimawandel Auswirkungen und Anpassungsoptionen](#)

Bern, SECO

Freiburghaus, M. (2009)

[Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft](#)

Gas, Wasser, Abwasser No. 12, Seiten 1001 – 1009

GLAMOS (2018)

[Pressemitteilung CC/SCNAT «Ein Jahr der Extreme für Schweizer Gletscher»](#) 16.10.2018

Golf Suisse (2019)

[Développement du golf en Suisse depuis 1975](#)

Gonseth, C. (2013)

[Impact of snow variability on the Swiss winter tourism sector: implications in an era of climate change](#)

Climatic Change No. 119, Seiten 307 – 320

Gössling, S. (2006) Tourism and water

In: Gössling, S. et al. (Hrsg.) (2006)

Tourism and Global environmental change: Ecological, social, economic and political interrelationships

Abingdon, Routledge, Seiten 180 – 194

Gössling, S. et al. (2012)

[Tourism and water use: Supply, demand, and security – An international review](#)

Tourism Management No. 33, Seiten 1 – 15

Haeberli, W. et al. (Hrsg.) (2013)

[Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken](#)

Forschungsbericht NFP 61

Zürich, vdf Hochschulverlag

Hahn, F. (2004)

[L'enneigement artificiel dans l'arc alpin – Rapport de synthèse](#)

Vaduz, CIPRA International

Hydro Exploitation (o. J.)

[Hydro Guides, Faktenblatt](#)

IKSR-CIPR-ICBR (2018)

[Bestandsaufnahme zu den Niedrigwasserverhältnissen am Rhein](#)

Koblenz, Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

Kanton Zürich (2013)

[Zürichsee 2050](#)

Grundlagenbericht: Analyse, Zielbild, Massnahmen (Beilage zu Leitbild)

Kanton Zürich, Baudirektion, Volkswirtschaftsdirektion, 111 Seiten

König, U. et al. (1997)

[Impacts of climate change on tourism in the Swiss Alps](#)

Journal of Sustainable Tourism No. 5, Seiten 46 – 58

Lanz, K. (2016)

[Wasser im Engadin – Nutzung, Ökologie, Konflikte](#)

Studie im Auftrag des WWF Schweiz Zürich Evillard, 101 Seiten

Lanz, K. et al. (2014)

[«Nachhaltige Wassernutzung» Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck](#)

Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61

Bern, SNF

Lanz, K. (2019):

persönliche Mitteilung

Loloum, T. (2016)

[La vie touristique des grands barrages](#)

Mondes du Tourisme No. 12

Magnier, E. (2016)

[Les impacts hydrologiques de la production de neige dans un domaine de moyenne montagne](#)

VertigO No. 16 [en ligne]

Martin, S. (2006)

[Influence du tourisme sur la gestion de l'eau en zone aride – Exemple de la vallée du Drâa \(Maroc\)](#)

Mémoire de licence en géographie, Université de Lausanne

MeteoSchweiz (o. J.)

[Hitzetage, Frosttage und andere Indikatoren](#)

Bern

Mönnecke, M. et al. (2004)

Auswertung des SANU-Expertenworkshops vom 23. Januar 2004

[Sport- und Freizeitaktivitäten in Natur und Landschaft](#)

Standortbestimmung und Perspektiven

Rapperswil, Forschungsstelle für Freizeit, Tourismus und Landschaft FTL

Mönnecke, M. et al. (2005)

[Sportaktivitäten im Einklang mit Natur und Landschaft – Handlungsorientierte Lösungen für die Praxis](#)

Rapperswil, Hochschule für Technik, Institut für Landschaft und Freiraum

Müller H. et al. (2008)

[2030: Der Schweizer Tourismus im Klimawandel](#)

Bern, Schweiz Tourismus

Naturwissenschaften Schweiz (o. J.)

[Wassermengen in der Schweiz](#)

NFP61 (2015)

[Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz](#): NFP 61 weist Wege in die Zukunft

Gesamtsynthese des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61

Bern, SNF

OVT (2013)

[Thermalisme 2013](#)

Sierre, Observatoire valaisan du tourisme

Paccaud, G. et al. (2013)

[Espace nécessaire aux grands cours d'eau de Suisse](#)

Yverdon-les-Bains, Service conseil Zones alluviales

Pütz, M. et al. (2011)

[Winter tourism, climate change, and snowmaking in the Swiss Alps – Tourists' attitudes and regional economic impacts](#)

Mountain Research and Development No. 31, Seiten 357 – 362

Rebetez, M. et al. (2016) Tourismus

In: Hosi, S. et al. (Hrsg.) (2016)

[Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven](#)

Bern, Akademien der Wissenschaften Schweiz, Swiss Academies Reports No. 11, Seiten 117 – 120

Reynard, et al. (1997)

L'épuration des eaux usées en zone rurale In: Benninghoff M. et al. (Hrsg.) (1997)

L'écobusiness – enjeux et perspectives pour la politique de l'environnement

Basel/ Frankfurt am Main, Helbing & Lichtenhahn, Seiten 133 – 168

Reynard, E. (1998)

Réhabilitation de canaux d'irrigation de montagne à des fins touristiques L'exemple des bisses du Valais

[L'eau, l'industrie, les nuisances](#)

No. 213, Seiten 24 – 30

Reynard, E. (2000)

[Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne](#)

Les cas de Crans-Montana-Aminona et Nendaz (Valais)

Thèse de doctorat, Université de Lausanne

Reynard, E. et al. (2012)

Water use management in dry mountains of Switzerland The case of Crans-Montana-Sierre area

In: Neményi, M. et al. (Hrsg.) (2012): The impact of urbanisation, industrial, agricultural and forest technologies on the natural environment. Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem, Seiten 281 – 301.

Reynard, E. et al. (2014)

[Interdisciplinary assessment of complex regional water systems and their future evolution](#)

How socioeconomic drivers can matter more than climate. WIREs Water 2014 No. 1, Seiten 413 – 426

Rixen, C. et al. (2011)

[Winter tourism and climate change in the Alps](#)

An assessment of resource consumption, snow reliability, and future snowmaking potential
Mountain Research and Development No. 31, Seiten 229 – 236

Rodriguez, J.-F. et al. (2014)

[Paysages de l'hydroélectricité, tourisme et protection de la nature en haute montagne : le Valais suisse](#)

Projets de Paysage

Sachindra, D.A. et al. (2015)

Impact of Climate Change on urban heat island effect and extreme temperatures: A case study
Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society No. 142, Seiten 172 – 186

Scott, D. (2006)

Global environmental change and mountain tourism In: Gössling, S. et al. (Hrsg.) (2006)

Tourism and Global Environmental Change

London, Routledge, Seiten 54 – 75

Scott, D. et al. (2008)

[Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation – tourism sector](#)

Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change No. 13, Seiten 577 – 596

Scott, D. et al. (2012)

[International tourism and climate change](#)

WIREs Climate Change No. 3, Seiten 213 – 232

Seilbahnen Schweiz (2018)

[Fakten und Zahlen über die Entwicklung der Seilbahnbranche](#)

Bern

Seilbahnen Schweiz (2019)

[Saisonbilanz 2018/19](#)

Bern

SLF (2002)

[Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten](#)

Davos, SLF

SLRG (2018)

[Ertrinkungsstatistik 2018](#)

Luzern, Schweizerische Lebensrettungsgesellschaft

Steiger, R. et al. (2008)

[Snowmaking and climate change: Future options for snow production in Tyrolean ski resorts](#)

Mountain Research and Development No. 28, Seiten 292 – 298

Steiger, R. et al. (2017)

[A critical review of climate change risk for ski tourism](#)

Current Issues in Tourism No. 22, Seiten 1343 – 1379

STV (2018)

[Schweizer Tourismus in Zahlen 2018](#)

Bern, SchweizerTourismus-Verband

Tuth, W. K. et al. (2016)

[Mehrzweckspeicher sichern Wasser- und Energieversorgung](#)

Universität Bern

Vanat, L. (2018)

[2018 international report on snow and mountain tourism](#)

Geneva

Vanham, D. et al. (2009)

[Impact of snowmaking on alpine water resources management under present and climate change conditions](#)

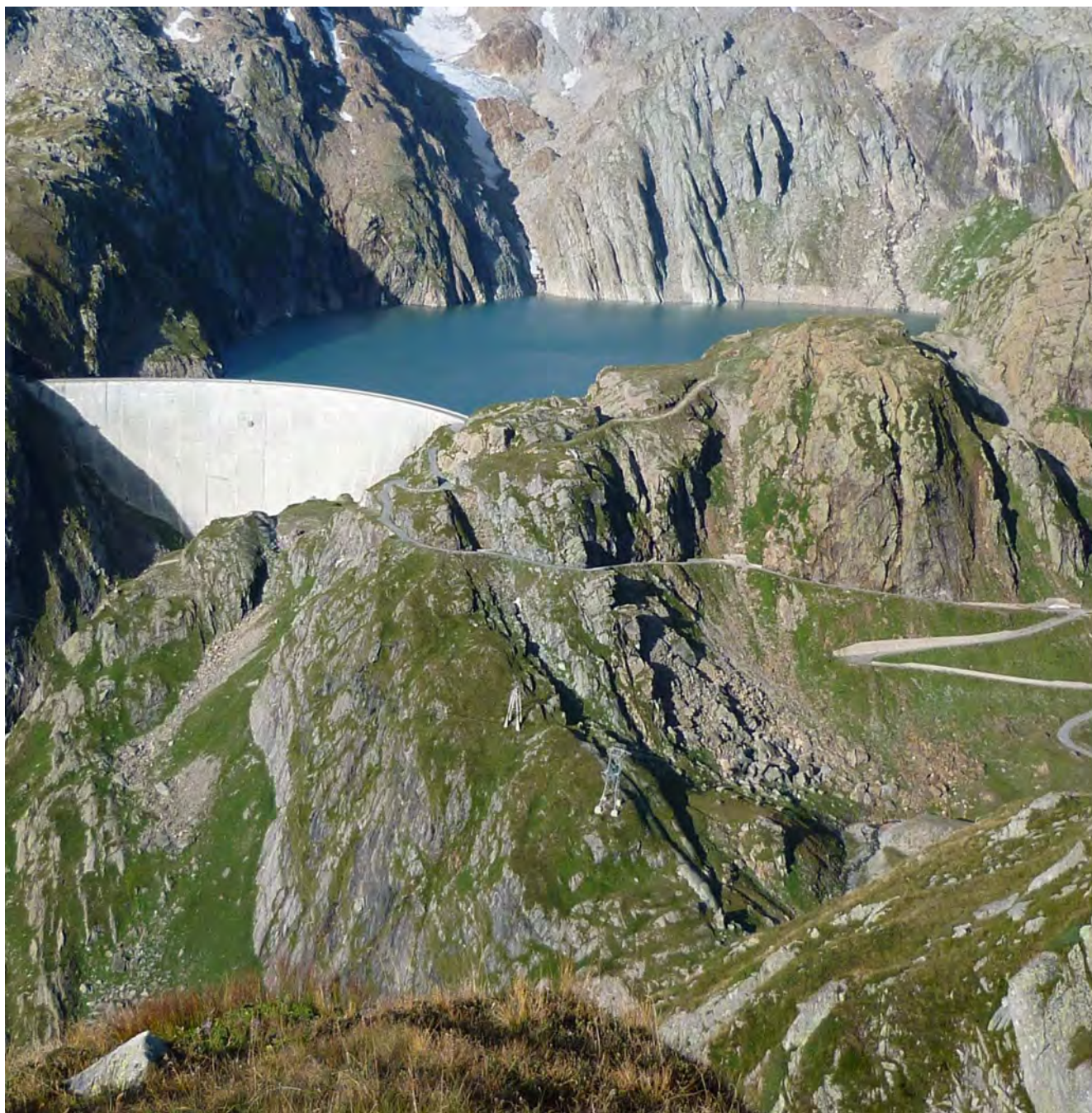
Water Science & Technology No. 59, Seiten 1793 – 1801

Weingartner, R. et al. (2014)

[MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel](#)

Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis

Bern, Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz, Tobias Wechsler

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Martin Pfaundler, Petra Schmocker-Fackel

Autoren **Klaus Lanz, Tobias Wechsler** WSL, Universität Bern

Titelfoto Lago dei Cavagnöö, Tessin © wikimedia/ Paebi

Fachliche Begleitung **Manfred Stähli** WSL, **Rolf Weingartner**

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Gestaltungskonzept, Layout, Infografik **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Juni 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

6 **Wasserkraft**

Inhaltsverzeichnis

- 6.1 Aktuelle Nutzung der Gewässer
 - 6.1.1 Entwicklung und nationale Bedeutung
 - 6.1.2 Wasserkraftnutzung heute
- 6.2 Einfluss auf die genutzten Gewässer
- 6.3 Die Zukunft
 - 6.3.1 Einfluss des Klimawandels
 - 6.3.2 Sozioökonomische Entwicklungen
- 6.4 Zielkonflikte und Synergien
 - 6.4.1 Zielkonflikte und Synergien mit anderen Nutzungen
 - 6.4.2 Zielkonflikte und Synergien mit dem Gewässerschutz
- 6.5 Potenzielle Lösungsansätze
- 6.6 Wissenslücken / Forschungsbedarf
- 6.7 Literatur

Die Flexibilität der Wasserkraftproduktion ist bei einem Ausbau von Sonnenenergie und Windkraft von zentraler Bedeutung für eine stabile Stromversorgung

Wasserkraft trägt in der Schweiz aktuell etwa 57% zur inländischen Stromproduktion bei. Die Bereitstellung solcher Elektrizitätsmengen erfordert die Ausnutzung des überwiegenden Teils der Gewässer und hat erhebliche ökologische Auswirkungen auf Abflüsse, Durchgängigkeit, Geschiebehaushalt und Morphologie. Das Gewässerschutzgesetz zielt auf eine Begrenzung der negativen Einflüsse ab, zugleich soll die Wasserkraftproduktion laut Energiestrategie des Bundes noch gesteigert werden. Durch den Klimawandel wird sich die winterliche Wasserspeicherung in Schneedecke und Gletschern deutlich vermindern, wodurch sich ein Teil der Abflüsse vom Sommer in den Winter verlagert. Günstig ist, dass sich dadurch die Wasserkraftproduktion in den nachfragestarken Wintermonaten tendenziell erhöhen lässt. Andererseits wird die Wasserkraft mit dem Rückgang des Schnee- und Eisspeichers zunehmend vom aktuellen Niederschlag abhängig, d.h. die Produktion wird anfälliger gegenüber längeren Trockenphasen (nicht nur im Sommer, auch im Winter). Die Bewirtschaftung der Speicherseen könnte sich infolgedessen von heute saisonaler Bevorratung (Speicherung sommerlicher Abflüsse für die Winterproduktion) zu künftig ganzjähriger Bevorratung einer Trockenheitsreserve für die Wasserkraft verlagern. Zur weiteren Steigerung der Wasserkraftproduktion kommt der Optimierung bestehender Anlagen mit modernen Analyse- und Rechenmethoden eine zentrale Rolle zu. Dieses Potenzial kann ohne zusätzliche Belastung der Gewässerökologie erschlossen werden.

Résumé chapitre 6 L'hydroélectricité

L'énergie hydraulique représente actuellement environ 57% de la production nationale d'électricité en Suisse. La fourniture de telles quantités d'électricité nécessite l'exploitation de la majorité des plans d'eau et a des impacts écologiques considérables – sur le ruissellement, la continuité des cours d'eau, le régime de charriage et la morphologie. La loi sur la protection des eaux vise à limiter les effets négatifs, tout en augmentant encore la production d'énergie hydraulique, conformément à la stratégie énergétique fédérale. En raison du changement climatique, le stockage hivernal de l'eau dans la couverture neigeuse et les glaciers sera considérablement réduit, ce qui déplacera une partie du ruissellement de l'été vers l'hiver. Il est favorable que cela tende à augmenter la production d'hydroélectricité pendant les mois d'hiver, lorsque la demande est forte. D'autre part, avec la diminution des réserves de neige

et de glace, l'hydroélectricité deviendra de plus en plus dépendante des précipitations du moment, c'est-à-dire que la production sera plus sensible à des périodes sèches plus longues (non seulement en été, mais aussi en hiver). Par conséquent, à l'avenir, la gestion des bassins d'accumulation pourrait passer du stockage saisonnier actuel (stockage des eaux de ruissellement estivales pour la production hivernale) au stockage annuel d'une réserve afin d'assurer la production d'hydroélectricité lors de sécheresses. Afin d'augmenter encore la production d'énergie hydraulique, l'optimisation des installations existantes avec des méthodes d'analyse et de calcul modernes jouera un rôle central. Ce potentiel peut être exploité sans un impact supplémentaire sur l'écologie aquatique.

Riassunto Capitolo 6 energia idroelettrica

L'energia idroelettrica rappresenta attualmente circa il 57% della produzione nazionale di elettricità in Svizzera. La fornitura di tali quantità di energia elettrica richiede lo sfruttamento della maggior parte dei corpi idrici e ha un notevole impatto ecologico sul deflusso, sulla continuità dei corsi d'acqua, sull'equilibrio del trasporto solido di fondo e sulla morfologia. La legge sulla protezione delle acque mira a limitare gli impatti negativi, mentre allo stesso tempo, secondo la strategia energetica della Confederazione, la produzione di energia idroelettrica deve essere ulteriormente aumentata. A causa dei cambiamenti climatici, lo stoccaggio invernale dell'acqua nel manto nevoso e nei ghiacciai si ridurrà notevolmente, spostando parte del deflusso dall'estate all'inverno. È positivo che ciò tenda ad aumentare la produzione di energia idroelettrica nei mesi invernali, quando la domanda è forte. D'altra parte, con il calo dello stoccaggio di neve e ghiaccio, l'energia idroelettrica diventerà sempre più dipendente dalle attuali precipitazioni, cioè la produzione sarà più suscettibile a periodi di siccità più lunghi (non solo in estate, ma anche in inverno). Di conseguenza, la gestione dei bacini potrebbe passare dall'attuale stoccaggio stagionale (stoccaggio del deflusso estivo per la produzione invernale) allo stoccaggio di una riserva annuale contro la siccità per l'ottenimento dell'energia idroelettrica in futuro. Per aumentare ulteriormente la produzione di energia idroelettrica, l'ottimizzazione degli impianti esistenti con metodi di analisi e calcolo moderni avrà un ruolo centrale. Questo potenziale può essere sfruttato senza alcun impatto aggiuntivo sull'ecologia acquatica.

6 Wasserkraft

6.1 Aktuelle Nutzung der Gewässer

6.1.1 Entwicklung und nationale Bedeutung

Wasserkraft ist in der Schweiz weit mehr als eine Energiequelle. Sie ist nationales Identifikationsmerkmal, Garant der Versorgungssicherheit, Stolz schweizerischer Bau- und Ingenieurskunst, ökonomisches Bindeglied zwischen finanzschwachen Bergkantonen und wohlhabenden urbanen Zentren. In kaum einem anderen Politikfeld sind technische und wirtschaftliche, soziale und ökologische, raumplanerische und kulturelle Aspekte enger verknüpft als bei der Wasserkraft. Entsprechend komplex gestaltet sich die Suche nach einer angemessenen Rolle für die energetische Nutzung der einheimischen Fließgewässer in einer von Klimawandel und neuen Energiestrategien geprägten Zukunft.

Die Ursprünge dieser Sonderrolle liegen im 19. Jahrhundert. Dank Wasserkraft konnte sich die Schweiz schon vor 1850 zu einer der frühesten Industrienationen entwickeln, obwohl sie – anders als Deutschland, England oder Frankreich – über keine ergiebigen Kohlevorkommen zum Betrieb von Dampfmaschinen verfügte. Vor allem kleinere und mittlere Fließgewässer etwa im Zürcher Oberland und den Kantonen Thurgau, Luzern und Glarus trieben über Wasserräder und Transmissionsriemen Walkwerke, Holz- sowie Marmorsägen, Papiermühlen, Maschinen zum Drahtziehen, Metallschleifen oder enorme Blasebälge an. Auf mindestens 10 000 wird die Zahl der Wasserräder in der Schweiz Mitte des 19. Jahrhunderts geschätzt (Schnitter 1992). Am meisten profitierten die Textilindustrie sowie der Uhren- und Schmucksektor, welche die Schweiz schon früh zu einer Exportnation machten. Im Umfeld dieser Branchen etablierten sich mechanische Werkstätten, aus denen eine eigene, innovative und exportorientierte Maschinenindustrie hervorging (Escher Wyss, Sulzer, Rieter) und zugleich den Grundstein der schweizerischen Ingenieurwissenschaften legte.

Abb. 06-01

Historische Werkstätte in Eschlikon.
Bis in 20. Jahrhundert hinein trieb die Wasserkraft
die Maschinen nicht elektrisch,
sondern über Wellen und Transmissionsriemen an
(Quelle: VSM/ASAM)



Von dieser frühen Industrialisierung zeugen noch heute unzählige Stauwehre, Ableitungen und Werkskanäle. Sie erlaubten es, die unregelmässige Wasserzufuhr der Flüsse zu verstetigen, den Wasserdruck zu erhöhen und an Kanälen mehrere Nutzungen hintereinander aufzureihen. Mit dem Ersatz der Wasserräder durch gusseiserne Turbinen konnten die Wasserkräfte ab 1850 immer effizienter genutzt werden. Hierbei handelte es sich aber immer noch um mechanische Anlagen. Der endgültige Durchbruch der Wasserkraft kam erst mit der Möglichkeit, die Fließkraft des Wassers in Elektrizität umzuwandeln. Mit der Entwicklung der Stromübertragung über längere Strecken wurden kurz nach 1900 industrielle Tätigkeiten schliesslich auch abseits der Flüsse möglich.

Trotz ihrer reichlichen Wasserkräfte verlor die Schweiz um 1850 ihre Energieautarkie. Der Betrieb von Dampflokomotiven erforderte Kohle, die aus Frankreich und Deutschland importiert werden musste. Obwohl die Eisenbahnen sehr früh elektrifiziert wurden, blieb die Schweiz von Kohleimporten für Heizzwecke und die Gewinnung von Stadtgas abhängig. Nach dem Zweiten Weltkrieg verlagerten sich die Importe durch den Individualverkehr und den Umstieg auf Ölheizungen mehr und mehr auf Erdöl, noch später auch Erdgas. Heute entfallen rund zwei Drittel des Gesamtenergieverbrauchs der Schweiz auf importierte Brennstoffe, während die Wasserkraft rund 13% dazu beiträgt (57% bezogen auf die Elektrizitätsproduktion).

Die Importabhängigkeit führte in Krisenzeiten (deutsch-französischer Krieg 1870/71, Bergarbeiterstreiks, Weltkriege, Ölkrise) mehrfach zu schmerzhaften Mangelsituationen – und wurde zum wichtigsten Argument für den Ausbau der heimischen Wasserkraft. Schon die ersten Laufkraftwerke am Hochrhein sollten Anfang des 20. Jahrhunderts die inländische Elektrizitätsversorgung sichern. Die beiden Weltkriege mit ihren winterlichen Versorgungsengpässen führten zu einem Ausbauboom bei der Wasserkraft. Schon früh ging man auch den Bau von Speicherseen an, um mit im Sommer zurückgehaltenem Wasser im Winter Strom erzeugen zu können (erste Talsperre Montsalvens/FR, 1920).

Zwischen 1928 und Ende 1946 wurden insgesamt 52 neue Kraftwerke über 300 kW in Betrieb genommen, etwa Grimsel- und Sihlsee (Eidgenössisches Post- und Eisenbahndepartement 1947). Nach dem Zweiten Weltkrieg beschleunigte sich der Ausbau noch: Von 1950 bis 1970 wurden rund 80 Stau-mauern von mehr als 15 m Höhe errichtet (Eggmann et al. o. J.). Der Schwerpunkt lag auf den alpinen Kantonen Wallis und Graubünden, die

dadurch überproportional vom Aufschwung der Schweiz nach dem Krieg profitierten. Die Elektrizitätsproduktion überstieg erstmals den inländischen Bedarf und machte die Schweiz zum Stromexporteur. Zugleich avancierte die Beherrschung der alpinen Wasserkräfte zur Quelle nationalen Selbstbewusstseins und ingenieurtechnischen Stolzes; monumentale Staudämme wie die Grande Dixence wurden zu beliebten Ausflugszielen. Die Ausbauphase endete erst in den 1970er Jahren, als mit der Atomkraft eine vermeintlich unerschöpfliche und billige Stromquelle bereitstand.

6.1.2 Wasserkraftnutzung heute

Am 31.12.2019 standen in der Schweiz 443 Kraftwerke mit einer Leistung von mindestens 1 MW in Betrieb (BFE 2020). 203 grosse Stauanlagen, 29 davon höher als 100 Meter, stehen gemäss Art. 29 Stauanlagenverordnung (StAV) unter direkter Aufsicht des Bundes (BFE 2018). Die installierte Leistung des Kraftwerksparks betrug 15 480 MW, die Stromerzeugung im Jahr 2019 (mittlere Produktionserwartung) 36 567 GWh, wovon 48.7% aus Laufkraftwerken, 47.0% aus Speicherkraftwerken und 4.3% aus Pumpspeicherkraftwerken stammten. Die vier Bergkantone Wallis, Graubünden, Uri und Tessin trugen 63% bei, gefolgt von Aargau und Bern. 11% der Produktion wurden von internationalen Kraftwerken an Grenzgewässern bereitgestellt (BFE o. J.). Der Anteil an der heimischen Stromerzeugung betrug circa 57%.

Die Wasserkraft ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor für die Schweiz: Bezogen auf einen Durchschnittspreis von 5 Rp./ kWh errechnet sich für 2018 ein Marktvolumen von rund CHF 1.8 Mrd. (BFE o. J.). Rund CHF 550 Mio. jährlich kommen als Wasserzins den Standortgemeinden und Kantonen zugute. Wasserkraft ist nicht nur eine kostengünstige, einheimische Energiequelle, sie trägt auch massgeblich zur Stabilität der Stromnetze bei.

Um diese Leistungen zu erbringen, werden die Fliessgewässer der Schweiz intensiv in Anspruch genommen. Insgesamt fliessen in einem Jahr rund 550 Milliarden m³ Wasser durch Turbinen, ein Mehrfaches des gesamten jährlichen Abflusses (Björnsen Gurung et al. 2014). Rechnerisch wird jeder Kubikmeter Flusswasser rund 13 mal energetisch genutzt, bevor er über die Landesgrenzen abfließt. Durch diese hohe Nutzungsintensität unterliegt die heimische Strombranche einer enormen Hebelwirkung von Niederschlagsschwankungen: Jeder Kubikmeter Wasser, der weniger aus den Alpen abfließt, fehlt bei der Elektrizitätsproduktion mehrfach.

Das Potenzial der Schweizer Fließgewässer für die Stromproduktion ist praktisch vollständig erschlossen, nur wenige kleine Einzugsgebiete sind frei von direkten Eingriffen. Ein wesentlicher Ausbau ist nicht mehr möglich, vielversprechender ist eine Steigerung der Produktion durch technische Optimierungen (Nicolet et al. 2019) oder Neudimensionierungen bestehender Kraftwerke (Nicolet et al. 2019). Zusätzliche Potenziale entstehen ggf. an neuen hochalpinen Seen, die nach dem Abschmelzen der Gletscher zurückbleiben (siehe 6.3.1).

6.2 Einfluss auf die genutzten Gewässer

Die intensive Nutzung der Gewässer durch die Elektrizitätswirtschaft ist unweigerlich mit ökologischen Beeinträchtigungen verbunden. Dabei unterscheiden sich alpine Kraftwerke mit Speicherseen in ihrer Einwirkung grundsätzlich von Laufkraftwerken, die den aktuellen Abfluss nutzen.

Speicherkraftwerke

Schon oberhalb von Staumauern wird der Wasserhaushalt verändert. Einerseits verschwindet ein Teil des Fließgewässers im Seebecken, andererseits werden in vielen Fällen Bergbäche aus benachbarten Tälern über Stollen in den Stausee umgeleitet. Die Rückleitung des abgezweigten Wassers erfolgt viele Höhenmeter tiefer, wodurch in den dazwischen liegenden Gewässerabschnitten sogenannte Restwasserstrecken mit vermindertem Abfluss entstehen.

Da die Turbinierung des gespeicherten Wassers nicht kontinuierlich erfolgt, sondern nach Massgabe von Nachfrage und Strommarkt, können bei der Rückgabe des Wassers in die Unterläufe starke Fluktuationen von Wassermenge, Strömung und Wasserstand (Schwall und Sunk) auftreten. Die Wasserhöhe steigt und sinkt dabei innert kürzester Zeit erheblich, teils um mehrere Meter. Dieses An- und Abschwollen von Abfluss und Strömung gefährdet Fische und andere Wasserlebewesen und kann deren Laichgebiete und Nahrungsgrundlagen beeinträchtigen (Bruder 2012).

Laufkraftwerke

Laufkraftwerke arbeiten ohne Wasserspeicherung, d.h. sie profitieren allein vom aktuellen Abfluss und der Fallhöhe eines künstlichen Wehres. Oberhalb des Wehres entsteht ein seeartiges Gewässer mit völlig anderen ökologischen Bedingungen. Flusswehre stellen für Fische und andere Wasserbewohner Hindernisse dar, die den Auf- und Abstieg erschweren oder teils sogar verunmöglichen, selbst mit einem Fischpass. Anders als bei Speicherkraftwerken treten praktisch keine Schwall-Sunk-Effekte auf.

Viele Laufkraftwerke verfügen zusätzlich über künstlich angelegte Kanäle oder Stollen, die einen Teil des Flusswassers abzweigen, zu einer Zentrale leiten und nach der Turbinierung unterhalb in den Fluss zurückgeben. Als Beispiel sei die Aare in den Kantonen Solothurn und Aargau genannt, deren Abfluss durch Ausleitungen in Industriekanäle über weite Strecken reduziert ist.

Wasserkraft und Umwelt in Einklang bringen

Jahrzehntelange politische Abstimmungsprozesse führten zu einer komplexen Austarierung der Interessen von Wasserkraftnutzung und Gewässerökologie (siehe Kapitel 7). Heute schreiben das Gewässerschutzgesetz und die entsprechende Ausführungsverordnung definierte Restwassermengen vor. Diese sind nötig «zur Bewahrung der Artenvielfalt bei Tieren und Pflanzen, die vom Fließgewässer abhängig sind, zur Erhaltung der einheimischen Fischpopulation und ihrer Fortpflanzung und zur Erhaltung der landschaftlichen Vielfalt» (BAFU 2019a). Diese Bestimmungen müssen von allen Kraftwerken eingehalten werden, die seit 1992 gebaut oder neu konzessioniert wurden.

Bei den älteren Konzessionen müssen die Restwassermengen unterhalb der Entnahmestellen «so weit saniert werden, als dies ohne entschädigungs begründende Eingriffe in bestehende Wassernutzungsrechte möglich ist.» (Art. 80 Abs. 1 GSchG). Bis Ende 2018 wurden 87% der bestehenden Fassungen saniert (BAFU 2019b). In Schutzgebieten kann zusätzliches Restwasser angeordnet werden (Art. 80 Abs. 2 GSchG), die Betreiber müssen aber für wirtschaftliche Nachteile solcher Sanierungen entschädigt werden.

Die Sicherung der Durchgängigkeit für Fische, ein ausgeglichener Geschiebehaushalt und die Minderung von Schwall-Sunk-Effekten müssen bis Ende 2030 an allen Wasserkraftanlagen angegangen werden. Für die Fischwanderung sind Anpassungen an rund 1000 bestehenden Wehranlagen nötig (677 Aufstieg, 724 Abstieg) (Estoppey et al. 2016). Schwall-Sunk-Effekte betreffen circa 1 000 km Gewässerstrecke mit Handlungsbedarf an etwa 100 Kraftwerken. Geschiebesanierungen stehen an circa 150 Wasserkraftanlagen an (BAFU 2015). Da die Betreiber durch die Sanierungen finanziell nicht belastet werden sollen, werden die nötigen Massnahmen vollständig aus dem von allen Stromkonsumenten zu zahlenden Netzzuschlag finanziert (Art. 15b EnG).

Bei der Fischwanderung funktionieren Aufstiegshilfen gut, doch gibt es vor allem bei grossen Kraftwerken offene Fragen zum Fischabstieg, bei

dem die Tiere zuverlässig an Turbinen oder mehrere Meter hohen Abstürzen vorbeigeführt werden müssen. Nach wie vor hat die Mehrzahl der Fische kaum eine Chance, eine Wanderung über mehrere grosse Staustufen flussabwärts zu überleben (Müller 2019). Zur Zeit wird intensiv untersucht, wie man mit unterschiedlich gestalteten und positionierten Rechen die Fische lenken kann, ohne den Zufluss zu den Turbinen hydraulisch zu stark zu beeinträchtigen (Meister 2019).

Für die Sanierung von Schwall-Sunk-Effekten sind normalerweise Ausgleichsbecken für die Zwischenspeicherung des verstärkten Abflusses nötig. Eine andere Möglichkeit sind Schwall-Ausleitkraftwerke, wobei das Wasser des Schwalls zusätzlichen Strom liefert. Hierbei können allerdings neue Wanderungshindernisse und Restwasserstrecken resultieren sowie ggf. eine Verlagerung des Schwall-Sunk-Effekts flussabwärts (BAFU 2017).

Nach Abschluss aller Sanierungsmassnahmen zu Schwall/Sunk, Geschlebehahshalt und Fischgängigkeit sollte sich die Gewässerverträglichkeit der Wasserkraft bis in die 2030er Jahre weiter deutlich verbessern.

Abb. 06-02

Auswirkungen der Wasserkraft auf die Gewässer (Lanz et al. 2014):
 Stauhaltung durch Kraftwerke (BFE 2018)
 – Schwall-Sunk-Effekte (BAFU 2001)
 – Unterschreitung von Restwassermengen (Eawag 2011), SwissTLMRegio@Swisstopo

Laufkraftwerk Leistung (MW)

- ▲ weniger als 50
- ▲ 50-200

Speicherkraftwerk Leistung (MW)

- ▲ weniger als 50
- ▲ 50-200
- ▲ mehr als 200

□ **Schwall-Sunk-Effekte**

Stauseen Volumen (in Mio. m³)

- 0-50
- 50-150
- 150-401

Restwasserstrecke*

- weniger als 10%
- 10-50%
- 50-90%
- mehr als 90%
- keine Angaben

* Prozentualer Anteil der Dotiermenge an der Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs.1 GSchG



6.3 Die Zukunft

6.3.1 Einfluss des Klimawandels

Die Wasserkraft hängt von der in den Fließgewässern abfließenden Wassermenge und deren saisonaler Verteilung ab. Die Abflüsse werden zum einen vom Niederschlag bestimmt, zum anderen von der atmosphärischen Temperatur. Höhere Temperaturen bedeuten mehr Evaporation und verminderten Abfluss. Noch wichtiger ist aber, dass höhere Temperaturen die saisonale Verteilung der Abflüsse verändern: Steigt die Schneegrenze, wird im Winterhalbjahr weniger Niederschlag in der Schneedecke gespeichert und fließt sofort ab. Entsprechend vermindert sich im Frühjahr und Sommer die Schneeschmelze, zudem tritt sie um einige Wochen früher ein.

Weniger genau als der Temperaturanstieg lässt sich die Entwicklung der zukünftigen Niederschläge absehen, zudem sind die Schwankungsbreiten von Jahr zu Jahr ausgeprägter. Erwartet wird, dass sich der Jahresniederschlag im langjährigen Mittel nur wenig verändert. Bei der saisonalen Verteilung dagegen geht man für die Mitte des Jahrhunderts von einer Zunahme um bis zu 20% im Winter und einer Abnahme um bis zu 25% im Sommer aus. Zum Ende des Jahrhunderts könnten im Winter durchschnittlich bis zu 24% mehr, im Sommer bis zu 39% weniger Niederschlag fallen (NCCS 2018).

Trotz wenig veränderter Gesamtniederschläge wird für den durchschnittlichen Jahresabfluss eine leichte Abnahme erwartet, die vor allem auf den zunehmenden Wasserverlust durch Evaporation zurückzuführen ist. Die Evaporation wird zusätzlich durch den Rückzug der Schneedecke angetrieben. Denn ohne Schneebedeckung vermindert sich die Rückstrahlung (Albedo), die aperen Böden erwärmen sich stärker, die Verdunstung nimmt zu und die Abflüsse vermindern sich zusätzlich.

Der alpine Wasserspeicher schwindet

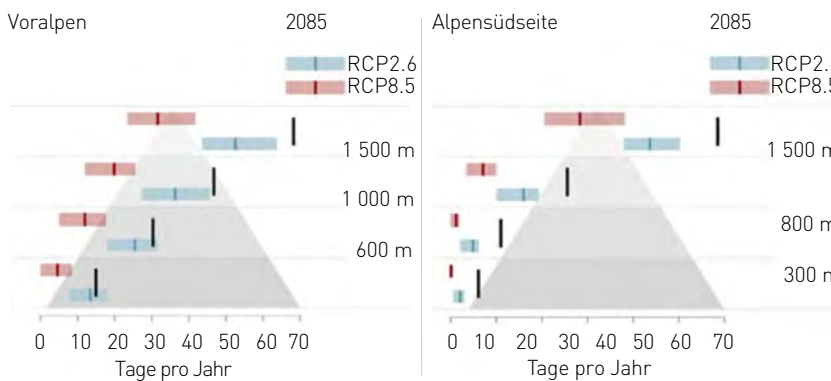
Die Bestände von Schnee und Eis sind für Flüsse und die Wasserkraftnutzung von zentraler Bedeutung. Sie speichern Niederschläge und sichern auch in trockenen Sommermonaten die Abflüsse, die für das Auffüllen der Kraftwerksspeicher ausschlaggebend sind. Schmelzwasser beeinflusst die Schweizer Flüsse bis an die Landesgrenze: Noch beim Abfluss ins Ausland besteht der Rhein im Jahresmittel zu knapp 40%, die Rhone zu 60% aus Schneeschmelzwasser (Zappa et al. 2012). Für das Ende des Jahrhunderts wird ohne Klimaschutzmassnahmen (Szenario RCP8.5) eine Abnahme des winterlichen Schneevolumens um 25% bis 2035 und bis zu

70% gegen Ende des Jahrhunderts erwartet. Werden dagegen wirksame Klimaschutzmassnahmen ergriffen (Szenario RCP2.6), lässt sich der Rückgang bis 2100 auf circa 30% begrenzen (Marty et al. 2017b). Der Einfluss von Klimaschutzmassnahmen wird auch bei der Zahl der zukünftig erwarteten Neuschneetage sichtbar.

Abb. 06-03

Neuschneetage

Normperiode 1981-2010



Anzahl der Neuschneetage in verschiedenen Höhenlagen, links in den nördlichen Voralpen, rechts auf der Alpensüdseite (NCCS o. J.a).

Der schwarze vertikale Strich stellt den beobachteten Durchschnittswert für die Jahre 1981-2010 dar. Die farbigen Balken zeigen die mögliche Bandbreite der beiden Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5 für die Periode 2070-2099.

Die vertikalen farbigen Striche entsprechen dem erwarteten Wert (Medianwert über die Simulationen mit verschiedenen Klimamodellen)

© Klimaszenarien CH 2018

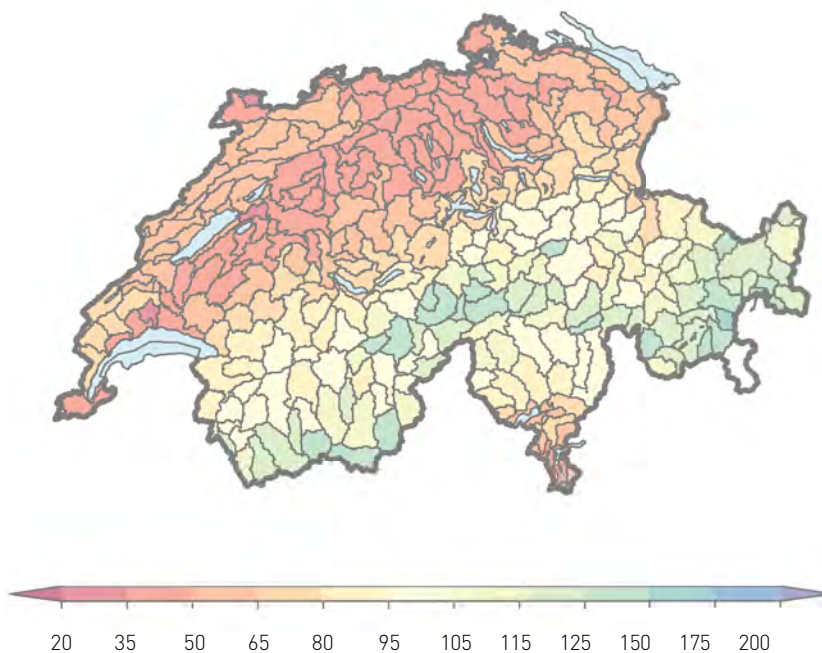
Der Rückzug des Schnees lässt sich bereits aus Messdaten der jüngeren Vergangenheit ablesen: Die am 1. April gemessene Schneemenge hat seit den 1960er Jahren unter 1 000 m.ü.M. um 80%, in 2 500 m.ü.M. um 10% abgenommen. Wie schnell sich diese Entwicklung fortsetzen wird, ist noch schwer abzusehen. Für das Ende des Jahrhunderts wird jedenfalls ein drastischer Rückgang der Schneemenge (Schneewasseräquivalent SWE) erwartet: in 2 500 Meter Höhe um 35%, auf 1 500 m.ü.M. um 85%, auf 500 m.ü.M. um 95% (Schmucki et al. 2015). Gleichzeitig wird der Schnee wegen höherer Frühjahrs- und Sommertemperaturen um einige Wochen früher abschmelzen und der Schneefall im Herbst später einsetzen. Die winterliche Nullgradgrenze steigt von derzeit 850 auf bis 1 500 m.ü.M. Im Mittelland werden aufeinanderfolgende Tage mit geschlossener Schneedecke zu einer seltenen Ausnahme werden (Marty et al. 2019).

Dementsprechend wird bis zum Ende des Jahrhunderts der Anteil der Schneeschmelze am Gesamtabfluss deutlich zurückgehen. Mit wirksamem Klimaschutz (Szenario RCP2.6, Temperaturanstieg unter 2°C) sinkt der Schneebeitrag über das ganze Jahr gesehen in den Alpen nur moderat, im Mittelland aber bis über 50% (Abb. 06-04 obere Karte). Ohne Klimaschutzmassnahmen (RCP8.5) würde der Abfluss im Mittelland fast vollständig aus Regen gebildet, der Anteil der Schneeschmelze dort unter 20% der früheren Werte sinken (Abb. 06-04 untere Karte).

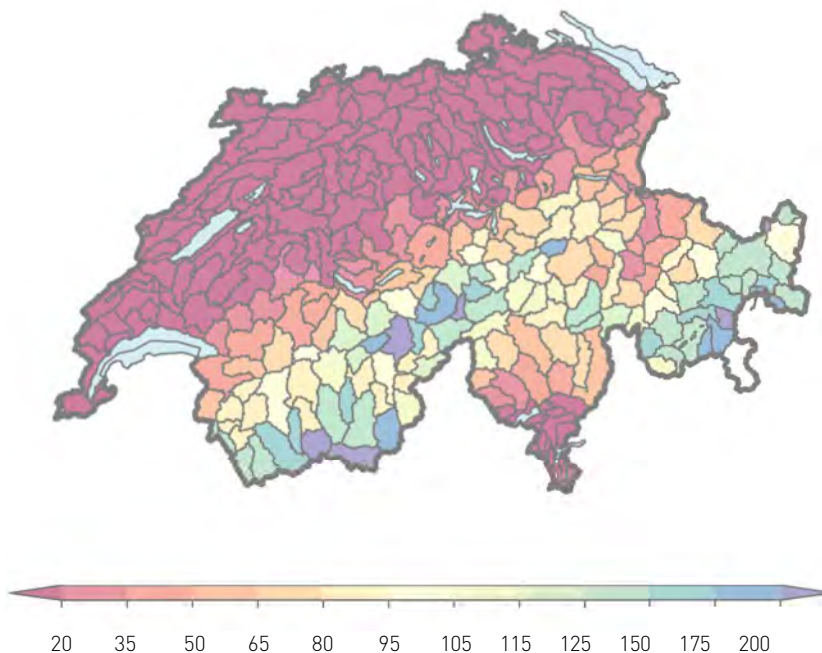
Abb. 06-04

Anteil der Schneeschmelze an den jährlichen Abflussmengen gegen Ende des Jahrhunderts (2070-2099, prozentuale Veränderung gegenüber der Periode 1981-2010).

Mit konsequentem Klimaschutz und Klimaerwärmung unter 2°C (RCP2.6)



Ohne Klimaschutz (RCP8.5)
(eigene Grafiken auf Datenbasis Brunner et al. 2019)



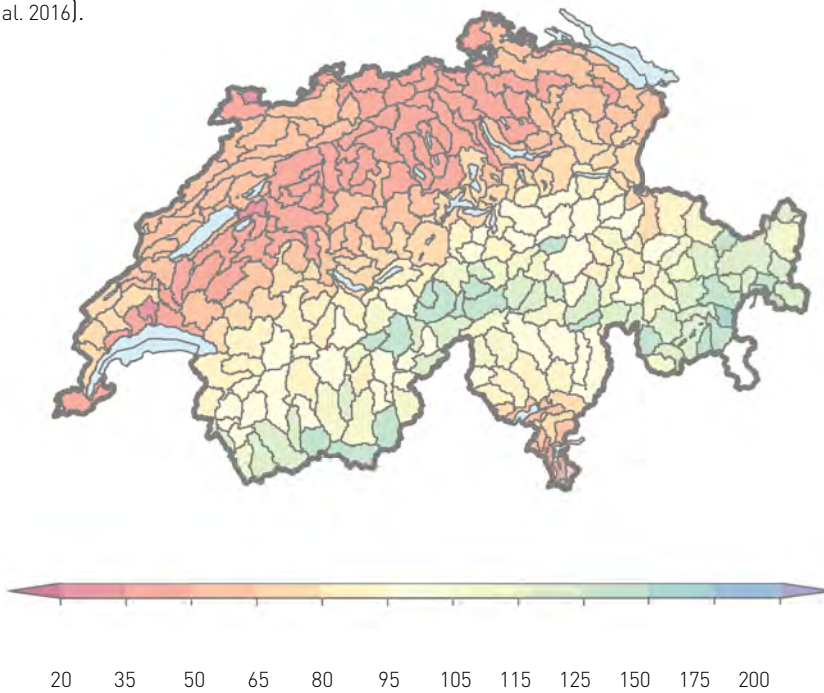
Besonders drastisch wird sich das Fehlen des Schnees in den Sommermonaten auswirken (Juni, Juli, August). Selbst bei gebremstem CO₂-Ausstoss (RCP2.6) wird der Beitrag der Schneedecke zu den sommerlichen Abflüssen im Mittelland um 80% und mehr schwinden (Abb. 06-05, obere Karte).

Ohne Klimaschutz (RCP8.5) sinkt der sommerliche Abfluss aus der Schneeschmelze auch in den meisten alpinen Einzugsgebieten unter 20% des heutigen Wertes (Abb. 06-05, untere Karte). Einen Vorgeschmack darauf gab es im August und September des trockenen und heißen Sommers 2003, als der Schneeanteil des Rheinabflusses bei Basel auf circa 10% sank (Stahl et al. 2016).

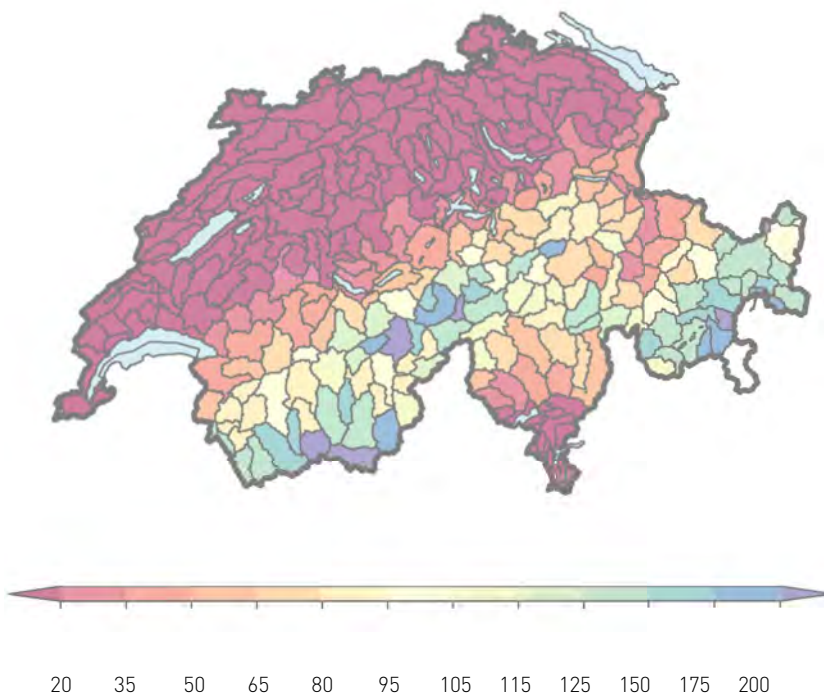
Abb. 06-05

Anteil der Schneeschmelze an den sommerlichen Abflussmengen (Juni, Juli, August) gegen Ende des Jahrhunderts (2070-2099, prozentuale Veränderung gegenüber der Periode 1981-2010).

Mit Klimaschutz und Erwärmung unter 2°C (RCP2.6)



Ohne Klimaschutz (RCP8.5)
(eigene Grafiken auf Datenbasis Brunner et al. 2019)



Noch kann Gletscherschmelzwasser in schneearmen Zeiten den Abfluss alimentieren (im Sommer 2003 bis zu 30% Abflussanteil in Basel). Durch den Rückgang der Gletscher wird sich dieses Potenzial aber nach und nach verringern. Die heute im Schweizerischen Gletscherinventar (SGI) gelisteten 1 420 Gletscher mit ihrem geschätzten Eisvolumen von aktuell 53 km³ (Langhammer et al. 2019) werden weiter zurückgehen. Im Durchschnitt wird unabhängig vom CO₂-Emissionsszenario für die alpinen Gletscher (CH, F, A, I) für die Mitte des Jahrhunderts (2045-2074) ein Volumenverlust von circa 47-52% erwartet (Zekollari et al. 2019). Erst in der zweiten Jahrhunderthälfte wirken sich Klimaschutzmassnahmen spürbar aus: Während bei einem Temperaturanstieg unter 2°C (Szenario RCP2.6) gegen Ende des Jahrhunderts (2070-2099) noch rund ein Drittel des Volumens der europäischen Gletscher erhalten bleibt, würden sie ohne Klimaschutzmassnahmen (Szenario RCP8.5) zu über 90% verschwinden (Zekollari et al. 2019, SCCER 2019).

Der rapide Eisschwund wird sich auch flussabwärts bemerkbar machen, wo heute in einem durchschnittlichen Spätsommer (August) Gletscherwasser zum Rheinabfluss in Basel 8%, zum Rhone-Abfluss in Genf-Chancy 36% beiträgt (Huss 2011). Dieser Anteil wird während des beschleunigten Gletscherabbaus in den kommenden beiden Jahrzehnten noch erhalten bleiben, spätestens in der zweiten Jahrhunderthälfte aber drastisch einbrechen. Wann der Abflusshöhepunkt der Gletscherschmelze erreicht wird («peak water»), hängt stark von den lokalen Gegebenheiten des jeweiligen Gletschers ab. Für die meisten europäischen Gletscher wird dieser Zeitpunkt vor 2050 erwartet (Huss et al. 2018, SCCER 2019).

Neue Seen

In den von Gletschern hinterlassenen Hochtälern entstehen zum Teil neue Seen. Ihre Zahl wird auf 500 geschätzt und ihr Gesamtvolumen auf 2 km³ (Haeberli et al. 2012). Das ist verglichen mit dem aktuellen Eisvolumen der Gletscher von 53 km³ wenig, im Vergleich zu den bestehenden Stauseen (4 km³) aber beträchtlich. Ob das Potenzial solcher Seen eines Tages für zusätzliche Wasserspeicher und Wasserkraftanlagen genutzt wird, hängt von Faktoren wie Zugänglichkeit, Topografie, Geschiebehalt und Niederschlag ab – und nicht zuletzt von den politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen (Ehrbar et al. 2018, Farinotti et al. 2019).

Permafrost und Geschiebe

Wenn in grossen Höhen der Permafrost zurückgeht, kann zusätzliches Gesteinsmaterial in Bewegung kommen. Dies bringt erhöhte Sturz- und Schwallgefahren und eine beschleunigte Verlandung mit sich. Feinere

Sedimente können den Verschleiss von Druckleitungen und Turbinen verstärken (Leguizamón et al. 2017).

Auswirkung auf Speicherkraftwerke

Derzeit wird erwartet, dass sich der klimabedingte Wandel in Evaporation, Menge und Dauer von Schneebedeckung und Gletscherschmelze auf den Betrieb von Speicherkraftwerken in den nächsten Jahrzehnten eher positiv auswirken wird, zumindest in durchschnittlichen Jahren. Im Winter sollten sie zukünftig von erhöhtem Zufluss profitieren (mehr Regen, weniger Schnee) und potenziell mehr Elektrizität produzieren können. Die zusätzliche winterliche Produktion führt allerdings nicht unbedingt zu höheren wirtschaftlichen Erträgen, denn diese werden durch begrenzte Phasen mit hohen Strompreisen bestimmt (Savelsberg et al. 2018).

Da sich Speicherseen in mittleren Höhenlagen (unter 2 000 m.ü.M.) mit dem Übergang zu einem regendominierten Abflussregime im Winter schneller wieder auffüllen (bzw. langsamer entleeren), könnte dies den Speicherbedarf für die winterliche Stromerzeugung vermindern. Sollte dann nur noch ein Teil des Speichervolumens für die Abfederung mangelnden winterlichen Zuflusses nötig sein, würde sich auch der Nutzen von Speichervergrößerungen (Erhöhung von Staumauern) relativieren (Marty et al. 2019).

Speicherseen sind zudem wichtig für die Sicherung der Stromproduktion in längeren Trockenphasen, wenn die Abflüsse durch ausbleibende Niederschläge vermindert sind. Damit könnte zur heutigen Bewirtschaftung der Speicherseen mit saisonaler Bevorratung (d.h. Speicherung sommerlicher Abflüsse für die Stromproduktion im Winter) künftig die ganzjährige Bevorratung einer Trockenheitsreserve hinzukommen. So wäre bei sommerlicher als auch winterlicher Trockenheit eine durchgehende Stromerzeugung gewährleistet.

Für Speicher mit einem Einzugsgebiet oberhalb 2 000 m.ü.M. (KWO, Mattmark, Grand Dixence, Mauvoisin, etc.) dürften die Änderungen im Winter geringer ausfallen, denn in dieser Höhe werden im 21. Jahrhundert keine grundlegenden Änderungen des Abflussregimes erwartet.

Auswirkung auf Laufkraftwerke

Die Laufkraftwerke an den Flüssen der Alpentäler und des Mittellands werden von einer winterlichen Abflusszunahme ebenfalls profitieren und zusätzliche Elektrizität in Monaten mit hoher Stromnachfrage bereitstellen können (Abb. 06-06) (SCCER 2019). Oberhalb 1 400 m.ü.M. könnte der

Zuwachs mehr als 30% betragen (Schaeftli et al. 2019, SCCER 2019). Dies gilt notabene für durchschnittliche Jahre, in niederschlagsarmen Wintern wie 2011 ist auch eine Minderproduktion möglich. Trotz der winterlichen Zunahme wird die Jahresproduktion tendenziell abnehmen, da sowohl Niederschläge als auch Schneeschmelzwasser im Sommer deutlich zurückgehen werden (SCCER 2019). Von sommerlicher Trockenheit sind Laufkraftwerke unmittelbar betroffen, da sie anders als Speicherkraftwerke nur die aktuell abfliessenden Wassermengen nutzen können.

Abb. 06-06

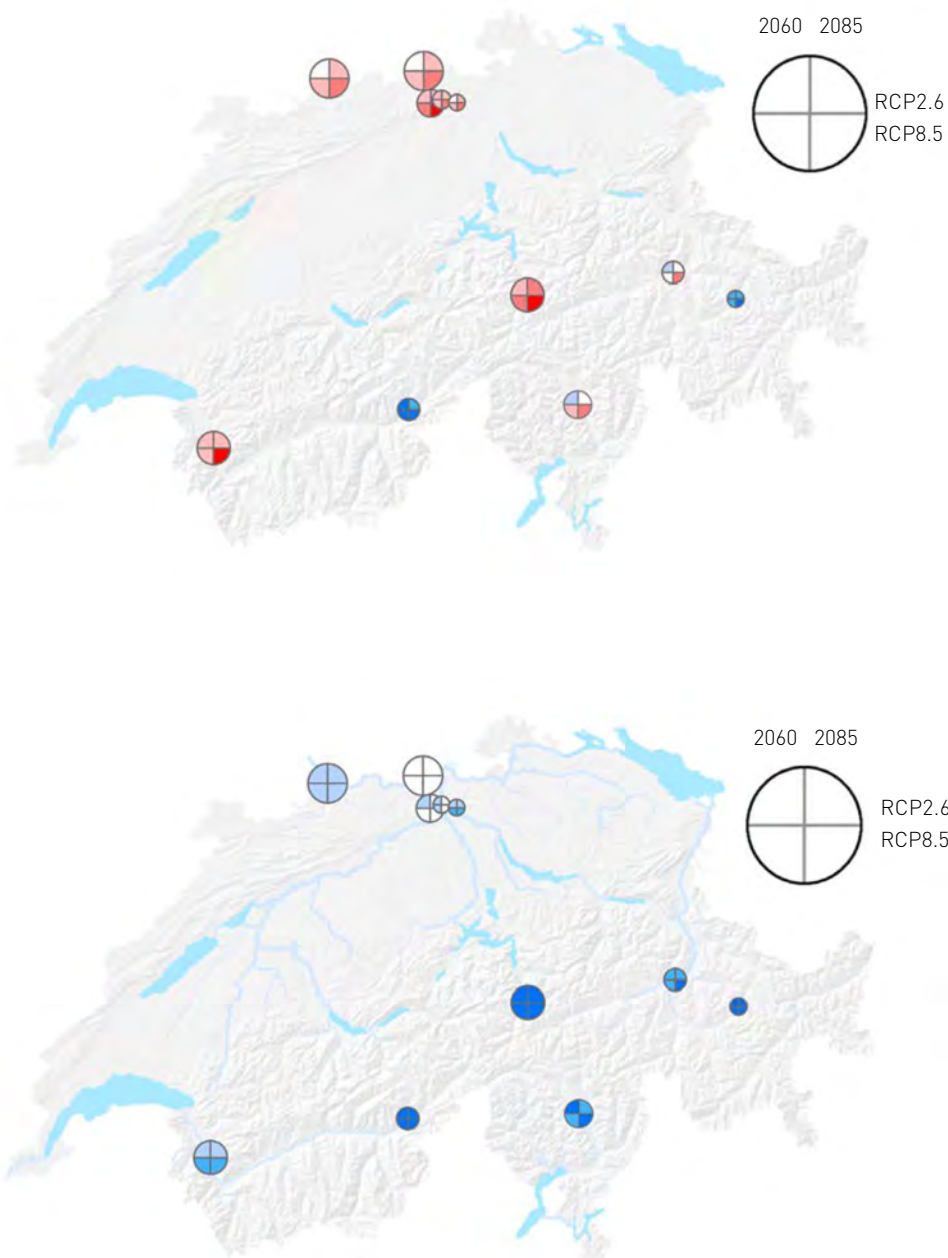
Stromproduktion von Laufkraftwerken für die Perioden 2045–2074 (2060, linke Kreishälfte) und 2070–2099 (2085, rechte Kreishälfte)

Die obere Kreishälfte gibt das Emissionsszenario RCP2.6 wider, die untere Kreishälfte das Emissionsszenario RCP8.5 ohne Klimaschutzmassnahmen.

Für die Kraftwerksdimensionierungen sowie Restwasserbestimmungen wurden unveränderte Bedingungen angenommen (SCCER 2019)

- weniger als 50 GWh/ a ●
- weniger als 200 GWh/ a ●
- weniger als 400 GWh/ a ●
- weniger als 500 GWh/ a ●
- mehr als 500 GWh/ a ●

- 10% ■
- 5% ■
- 1.5% ■
- 0% □
- 1.5% ■
- 5% ■
- 10% ■



Voraussichtlich können noch bis gegen die Jahrhundertmitte die abschmelzenden Gletscher in durchschnittlichen Jahren den sommerlichen Abflussrückgang etwas dämpfen. Deren Abflussbeitrag, der sich aus über Jahrhunderte angesammeltem Niederschlag speist, stellte in den Jahren 1980-2010 rund 4.0% der schweizerischen Wasserkraft bereit. Die relative Bedeutung des Gletscherwassers war dabei für den Abfluss der Rhone in Genf mit 7.8% wesentlich grösser als am Rhein in Basel mit 2.2% (Schaeffli et al. 2019). In den Jahren 2040-2060 dürfte der Gletscherbeitrag im Rhonegebiet auf 7.1%, am Rhein auf 0.4% zurückgehen. Im weiteren Verlauf des Jahrhunderts (2070-2090) werden die Gletscher zur Wasserkraftproduktion im Rheingebiet kaum noch etwas beitragen (0.1%), während das Rhonegebiet von seinen grossen Gletschern profitiert, die weiterhin 3.8% beitragen (Schaeffli et al. 2019). Die Produktionsmengen werden sich wegen des verringerten Eisvolumens im Zeitraum 2040-2060 um circa 0.54 TWh/ a und 2070-2090 um circa 1.00 TWh/ a verringern (Schaeffli et al. 2019).

Szenarien für durchschnittliche Jahre

Zu berücksichtigen ist, dass die zuvor referierten Szenarien für durchschnittliche Jahre gelten. Von Jahr zu Jahr können grosse Schwankungen auftreten: schneereiche Winter und verregnete Sommer ebenso wie lang anhaltende Trockenheit unabhängig von der Jahreszeit. Der Wechsel zwischen trockenen und feuchten Jahren könnte sich stärker auf die Wasserkraftproduktion auswirken als die langfristigen Änderungen durch den Klimawandel (Savelsberg et al. 2018). Die Varianz von Jahr zu Jahr dürfte sogar noch zunehmen, wobei längere Trockenphasen die grösste Herausforderung für die Versorgungssicherheit darstellen (Savelsberg et al. 2018). Die Planung der Speicher- und Produktionskapazitäten sollte daher auch auf Jahre mit aussergewöhnlichen Witterungsbedingungen ausgerichtet werden.

6.3.2 Sozioökonomische Entwicklungen

Ebenso bedeutend für die Zukunft der Wasserkraft ist die Entwicklung der sonstigen Rahmenbedingungen. Entscheidend sind sowohl die gesellschaftlichen Ansprüche an eine zukunftsfähige Stromproduktion als auch das ökonomische Umfeld und ggf. neue technische Entwicklungen.

Zunehmende Nachfrage nach Strom

Während der Gesamtenergiebedarf pro Person gemäss Energiestrategie des Bundes bis 2035 um 43% gegenüber dem Jahr 2000 zurückgehen soll (EnG) und bis 2050 gar um 54%, kann der Stromverbrauch infolge der Um-

stellung auf Elektromobilität und Wärmepumpen trotz Bemühungen bei der Energieeffizienz nicht in gleichem Masse gesenkt werden (2035: -13%, 2050: -18% gegenüber heute). Bei einer vollständigen Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft, wie sie bis Mitte des Jahrhunderts angestrebt wird, nimmt die Nachfrage nach Strom noch deutlicher zu.

Entscheidend für stabile Stromnetze

Unabhängig von der Produktionskapazität ist Wasserkraft aufgrund ihrer hohen Flexibilität und Steuerbarkeit ein zentrales Element der Netzstabilität. Sowohl das im Tages- und Jahresverlauf fluktuierende Angebot anderer Stromquellen als auch kurzfristige Sprünge bei der Nachfrage können abgedeckt und ausgeglichen werden. Zugleich stellt der schweizerische Kraftwerkspark erhebliche Pumpspeicherkapazitäten zur Zwischenlagerung überschüssig erzeugter Strommengen bereit.

Winterliche Stromlücke

Eine hohe Versorgungssicherheit mit möglichst geringer Abhängigkeit von Stromimporten bleibt eine zentrale Zielsetzung der Schweizer Energiepolitik (Kratz 2018). Im Winterhalbjahr betragen die Importe in den letzten zehn Jahren durchschnittlich 4 TWh, was etwa 12% des winterlichen Gesamtstromverbrauchs von rund 34 TWh entspricht (BFE 2020b). Diese Stromlücke wird sich durch die Abschaltung der Kernkraftwerke weiter vergrössern. Die «Winterlücke» wird sich nur zum kleinen Teil durch einen Ausbau der Wasserkraft decken lassen. Eine Vergrösserung der Speicherkapazität, etwa durch Erhöhung bestehender Staumauern, kann aber dazu beitragen, das Potenzial für die Umlagerung der Stromgewinnung vom (verbrauchsarmen) Sommer in den (verbrauchsstarken) Winter zu erhöhen (Fuchs et al. 2019). Gleichzeitig erhöht das Ansteigen der Schneegrenze die winterliche Produktionskapazität. Eine ergänzende Rolle beim Ersatz der Atomkraft dürfte vor allem der Photovoltaik zukommen, die gerade in höheren, nebfreien Lagen auch im Winter eine bedeutende Stromproduktion erlaubt (Kahl et al. 2019).

Politische Zielsetzung

Das Energiegesetz sieht für das Jahr 2035 einen Richtwert für die erwartete inländische Elektrizitätsproduktion aus Wasserkraft von 37 400 GWh vor, für 2050 sind 38 600 GWh im Gespräch. Dies bedeutet eine Zunahme gegenüber der aktuellen erwarteten Produktion 2018 (36 449 GWh) um 2.6% (5.9%). (Diese Richtwerte könnten demnächst in ein verbindliches Ausbauziel umgewandelt werden.) Es ist Aufgabe der Politik, die Weichen zur Erreichung der Richt- bzw. zukünftigen Zielwerte in einem komplexen Interessenge-

flecht zu stellen. Ohne äusseren Anstoss und ohne Justierung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wird der angestrebte Um- und Ausbau der Produktionsanlagen nicht erfolgen.

Künftige Stromproduktion planen

Prognosen über das Produktionspotenzial der Wasserkraft in den kommenden Jahrzehnten sind komplex. Sie müssen klimabedingt geänderte Abflussmengen ebenso berücksichtigen wie Gewässerschutzgesetze und technische Optimierungsmöglichkeiten. Das Bundesamt für Energie (BFE) evaluiert regelmässig die zukünftige Produktionserwartung. Aktuell geht das BFE davon aus, dass der EnG-Richtwert für 2035 erreicht werden kann, für den Richtwert 2050 aber zusätzliche Massnahmen nötig sind – etwa Erweiterungen und technische Optimierungen bestehender Anlagen oder die Nutzung von neu entstehenden Gletscherseen für die Wasserkraft (BFE 2019a).

Schwierige Zeiten für Neubauten

Umfragen bei den Wasserkraftbetreibern machen deutlich, dass das grösste Hindernis für die erforderlichen Baumassnahmen aktuell ungünstige Marktbedingungen sind (Stalder 2019). Gesuche für neue Grossprojekte gibt es kaum, weder für zusätzliche Kraftwerke noch für den Ausbau bestehender Speicher durch höhere Staumauern. Lediglich die Kraftwerke Oberhasli (kwo) haben zwei Projekte im Blick, die Erhöhung der Staumauer an der Grimsel sowie eine Staumauer am unterhalb des Triftgletschers neu entstandenen See (145 GWh/a). Bei der Pumpspeicherung liegen sogar bereits bewilligte und fertig geplante Grossprojekte wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit und zukünftig ungewissen Pumpspeicherbedarfs auf Eis, so der Bau des Pumpspeicherkraftwerks Lago-bianco im Puschlav (1 000 MW, Kosten circa CHF 2.5 Mrd.).

Abb. 06-07



Lago Bianco, Projekt in der Warteschleife.
Entleertes Staubecken im Juni 2012
(Quelle: Klaus Lanz)

Ungünstige wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Der Mangel an Wirtschaftlichkeit ist durch seit 2009 tiefe Strommarktpreise bedingt, die zeitweise keine markt- und risikogerechte Eigenkapitalrendite ermöglichten. Die niedrigen Erlöse für Wasserkraftstrom sind – neben Konjunkturreffekten – durch das zunehmende Elektrizitätsangebot im Ausland bedingt (Energiewende Deutschland, neue Wind- und Solarkapazitäten bei weiterlaufenden Kohlekraftwerken). Diese Situation dürfte nicht dauerhaft anhalten: gerade die Wasserkraft als erneuerbare Elektrizitätsquelle mit der Möglichkeit, auf kurzfristige Stromüberschüsse zu reagieren und sie gar in Pumpspeicherwerken zwischenzulagern, wird auf längere Sicht eine unverzichtbare Komponente des Energiesystems bleiben.

Politische Rahmenbedingungen und Vorstösse

Mit dem revidierten Energiegesetz von 2016 (EnG, SR 730.0) wurden neue Subventionen zur Unterstützung der Grosswasserkraft etabliert. Zum einen wurde eine bis zum Jahr 2021 befristete Marktprämie für bestehende Grosswasserkraftwerke von derzeit jährlich circa CHF 103 Mio. eingeführt (aus 0.2 Rp./kWh Netzzuschlag), um das niedrige Preisniveau am Strommarkt abzufedern. Für das Jahr 2017 wurde diese Subvention vollständig in Anspruch genommen, für 2018 gingen u.a. wegen gestiegener Strompreise geringere Prämienersuchen ein, von denen der Bund CHF 65.4 Mio. für 27 unrentable Kraftwerke bewilligte (BFE 2019b). Die nicht beanspruchten Mittel stehen weiter als Marktprämie zur Verfügung, falls die Strompreise sinken sollten und die Rentabilität der Schweizer Wasserkraft sich wieder verschlechtert. Diese Reserve soll erst dann für andere Zwecke (wie z.B. die Unterstützung von Photovoltaikanlagen) eingesetzt werden, wenn sich abzeichnet, dass sie nicht vollständig benötigt wird (Bundesrat 2019a).

Als zweite Stützungsmaßnahme für die Grosswasserkraft sind im Energiegesetz sogenannte Investitionsbeiträge vorgesehen (CHF 50 Mio./a, aus 0.1 Rp./ kWh Netzzuschlag). Bewilligt werden können bis zu 35% der Investitionskosten für Neuanlagen und erhebliche Erweiterungen, bei erheblicher Erneuerung sind es bis 20% der anrechenbaren Investitionskosten. Im Februar 2019 gab das BFE die Förderung von drei Projekten mit insgesamt CHF 101.5 Mio. bekannt (BFE 2019c): den Ersatzneubau der Zentrale Robbia von Repower im Puschlav, die Erweiterung des SBB/ AET-Kraftwerks Ritom im Tessin und Anlagenerneuerungen am Kraftwerk Mottec-Gougra im Wallis. Im September 2019 schlug der Bundesrat vor, die Gesamtsumme der Investitionsbeiträge für die Grosswasserkraft auf jährlich CHF 100 Mio. zu verdoppeln.

Angesichts der Klimakrise und der Dringlichkeit einer perspektivischen Ausrichtung der Wasserkraft auf die Ziele der Energiestrategie 2050 sind weitergehende finanzielle Stützungsmaßnahmen denkbar. Politisch wurde ein Förderprogramm für Speicherkraftwerke von jährlich CHF 200 Mio. ins Spiel gebracht, das bis zu 60% der jeweiligen Investitionskosten decken könnte (SP 2019). Als Anschubfinanzierung kommen nicht nur staatliche Subventionen in Frage, sondern auch andere Konstruktionen wie etwa eine Klima-anleihe, die der Bevölkerung eine direkte finanzielle Beteiligung an Wasserkraftprojekten ermöglichen würde.

Wasserzins unter Druck

In der Schweiz erhalten die Standortgemeinden bzw. Standortkantone von Wasserkraftwerken einen sogenannten Wasserzins – eine Entschädigung, welche die Kraftwerke für die Nutzung des Wassers und die Inanspruchnahme der Gewässer bezahlen. Aus Sicht der Betreiber ist dies ein hoher Kostenfaktor, der zum Teil als nicht mehr zeitgemäss erachtet wird. Eine flexible Anpassung des Wasserzinses an den aktuellen Strommarktpreis könnte Eigner und Betreiber bei tiefen Strompreisen erheblich entlasten (Barry et al. 2019), würde aber die Budgetsicherheit von Bergkantonen und betroffenen Gemeinden einschränken. Bis Ende 2024 soll sich gemäss der letzten Revision des Wasserrechtsgesetzes (WRG) am vom Bund festgesetzten Wasserzinsmaximum nichts ändern.

Erleichterungen beim Umweltschutz

Laut EnG sind die Nutzung erneuerbarer Energien und ihr Ausbau neu «von nationalem Interesse». Dies betrifft auch Wasserkraftanlagen ab einer Mindestproduktion von 20 GWh pro Jahr und Speicherkraftwerke ab 10 GWh. Dabei «ist das nationale Interesse an der Realisierung dieser Vorhaben bei der Interessenabwägung als gleichrangig zu betrachten mit anderen nationalen Interessen» wie z.B. dem Natur- und Heimatschutz (Art. 12 EnG). Vom Parlament ebenfalls beschlossen wurde eine Lockerung der Umweltmassnahmen bei der Konzessionserneuerung bestehender Wasserkraftwerke grösser 3 MW (Bundesrat 2019b). Neu nimmt die Umweltverträglichkeitsprüfung nicht mehr auf den Urzustand der Umwelt vor Bau des Kraftwerks Bezug, sondern auf den Ist-Zustand (Amtliches Bulletin 2019). Dadurch vermindern sich die geforderten ökologischen Ausgleichsmassnahmen erheblich, was von Umwelt- und Fischereiorganisationen kritisiert (SFV-FSP 2019) und von den Betreibern wegen reduzierter Kosten und einem Gewinn an Rechtssicherheit begrüsst wird.

Anpassung an gesetzliche Rahmenbedingungen

Bei der Ausrichtung der Wasserkraft an die Richt- bzw. Zielwerte für die Elektrizitätsproduktion der Zukunft muss auch berücksichtigt werden, dass für die zahlreichen in den 1950er und 1960er Jahren erbauten Speicherkraftwerke nach 80 Jahren eine Neukonzessionierung mit Anpassung an die Restwassermengen des GSchG ansteht. Dies wird im Allgemeinen zu einer Minderung der Produktion führen.

Wie hoch der Rückgang genau ausfallen wird und in welchem Mass er durch Effizienz- und Modernisierungsmassnahmen kompensiert werden kann, lässt sich noch nicht beziffern. Das BFE geht derzeit davon aus, dass die Anpassung an das GSchG die Jahresproduktion bis 2050 um 1.9 TWh vermindern könnte (BFE 2019a). Der Branchenverband SWW befürchtet sogar eine Abnahme um bis zu 2.23 TWh (Pfammatter et al. 2018). Wie sich die Sanierung von Fischgängigkeit, Schwall/ Sunk und Geschiebehaushalt auf den Stromertrag auswirken wird, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden (BFE 2019a).

Bei diesen Prognosen ist das Potenzial einer technischen Erneuerung der 80 Jahre alten Werke noch nicht umfassend berücksichtigt. Beispielsweise lässt sich mit modernen Simulationsmodellen der Effekt verschiedener technischer Anpassungen auf den Stromertrag vorhersagen (Landry et al. 2018). So lässt sich die Produktionsmenge etwa durch leistungsfähigere Turbinen oder durch Anpassung von Durchmesser und Rauigkeit von Druckrohren und Stollen ausbauen. Weiteres wirtschaftliches Potenzial kann durch die Nutzung präziserer mehrwöchiger Abflussvorhersagen erschlossen werden (Bogner et al. 2018).

Kleinwasserkraft

90.5% der Wasserkraftproduktion wurden 2019 von Anlagen mit mehr als 10 MW installierter Leistung bereitgestellt (192 Kraftwerke) (BFE 2020a). 3.6% trugen Anlagen zwischen 5 und 10 MW bei (53 Kleinkraftwerke), weitere 4.3% Anlagen von 1 bis 5 MW (195 Kleinkraftwerke). Die 244 Kraftwerke unter 1 MW machten 1.5% der Stromproduktion aus (Abb. 06-08). Kleinanlagen können wegen ihrer Eingriffe in die Gewässer im Verhältnis zu ihrem Stromertrag hohe ökologische Einbussen mit sich bringen. Seit Ende 2018 sind daher Anlagen unter 1 MW von der staatlichen Förderung ausgenommen (BFE 2019d). Die Förderung von Kleinwasserkraftwerken (bis 10 MW) hat vielfach auch den Bau von Anlagen verursacht, die ohne Subvention nicht finanzierbar gewesen wären.

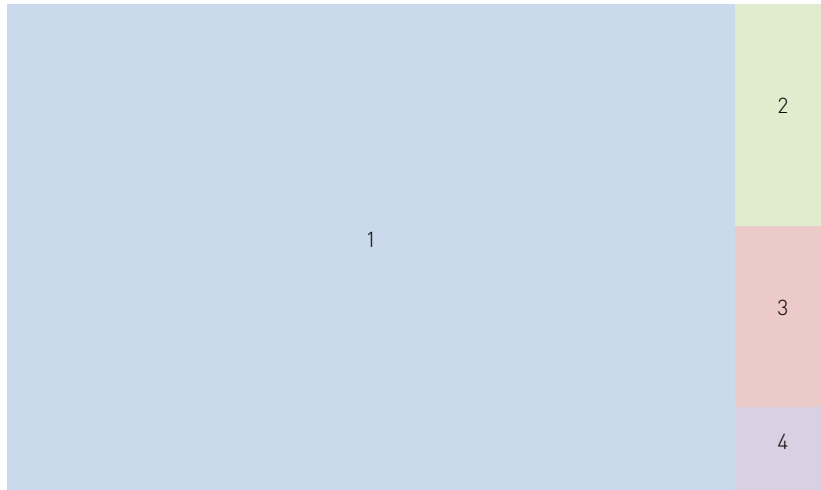


Abb. 06-08

Prozentualer Beitrag der verschiedenen Kraftwerksgrössen zur Stromproduktion 2019.

1: über 10 MW (192 Anlagen)

2: 5-10 MW (53)

3: 1-5 MW (195)

4: weniger als 1 MW (244)

(Quelle: BFE 2020a, eigene Auswertung)

Bei der Kleinwasserkraft (bis 10 MW) sieht das Bundesamt für Energie ein weiteres Ausbaupotenzial bis 2050 von circa 460 GWh/a. Andererseits geht das Amt davon aus, dass aus Kostengründen zahlreiche heute bestehende Kleinanlagen ausser Betrieb genommen werden, sobald grössere Investitionen in den Unterhalt oder ökologische Anpassungen fällig werden (-350 GWh/a bis 2050). Mit zusätzlichen Subventionen und unter optimierten Nutzungsbedingungen sieht das BFE für die Kleinwasserkraft ein Ausbaupotenzial von bis zu 770 GWh/a (BFE 2019a).

Über die weitere Entwicklung der Kleinwasserkraft entscheiden also in erster Linie die politischen Rahmenbedingungen. Wasserkraftwerke, die noch auf Basis sogenannter ehehafter Rechte aus der Zeit vor 1916 betrieben werden, mussten die Auflagen des Gewässerschutzgesetzes bisher nicht vollständig einhalten. Aufgrund eines Bundesgerichtsentscheids von 2019 müssen auch diese – in der Regel kleinen – Anlagen zukünftig die im GSchG festgesetzten Restwassermengen respektieren (Bundesgericht 2019).

Wem gehört die Wasserkraft?

Nach Auslauf der meist 80-jährigen Konzession gehen Kraftwerksanlagen laut Wasserrechtsgesetz (WRG) in das Eigentum der Standortgemeinden oder Kantone über, die benetzten Teile wie Staumauern, Turbinen und Druckrohre unentgeltlich, die elektrischen Anlagen zum Restwert (sogenannter Heimfall). Sie können dann darüber bestimmen, ob sie das Wasserkraftwerk selber betreiben, eine neue Konzession vergeben oder die Anlagen dem Betreiber überlassen wollen. Da in den nächsten Jahrzehnten Dutzende von Konzessionen auslaufen, müssen Regelungen gefunden werden, die den Bestand, die Modernisierung und ggf. den

Ausbau dieser Kraftwerke sicherstellen. Der Schwerpunkt der Heimfälle liegt zwischen 2035 und 2045, wenn die Schweiz gemäss Energiestrategie besonders auf eine effiziente Wasserkraft angewiesen sein wird.

Derzeit befinden sich die Schweizer Wasserkraftanlagen überwiegend in der Hand von Kantonen und Gemeinden oder von kantonseigenen oder städtischen Werken (mit Ausnahme grenzüberschreitender Anlagen). Etwa ein Achtel befindet sich im Streubesitz, und nur ein kleiner Teil gehört ausländischen Eignern (Piot 2019). Teils ist im Gespräch, Minderheitsbeteiligungen privater Investoren verstärkt zuzulassen – auch aus dem Ausland (Flury 2019). Da rein kommerzielle Interessen andere Prioritäten setzen könnten als Gemeinwohl und Versorgungssicherheit in der Schweiz, gibt es auch Vorstösse, einen Verkauf von Stromnetzen und Wasserkraftanlagen ins Ausland zu unterbinden oder stark einzuschränken (Bundesversammlung o. J.).

6.4 Zielkonflikte und Synergien

6.4.1 Zielkonflikte und Synergien mit anderen Nutzungen

Die Wasserkraftnutzung tritt nur selten in Konkurrenz zu anderen Gebrauchsnutzungen von Wasser. Weder die Trinkwasserversorgung, noch Bewässerung oder Beschneigung, noch die chemische Qualität des Wassers sind wesentlich betroffen. Im Gegenteil: wo Wasser für verschiedene Zwecke genutzt werden soll, können die für die Elektrizitätsversorgung angelegten Speicherkapazitäten sogar hilfreich sein. Vereinzelte Beispiele dafür gibt es bereits (siehe unten). In welchem Mass bei steigender Variabilität der Wasserressourcen eine Mehrzwecknutzung von Speicherseen die Überbrückung von abflussarmen Trockenphasen ermöglicht, ist noch in der Abklärung.

Synergie Wasserkraft/Niedrigwasseraufhöhung

Unter anderem in Deutschland und der Tschechischen Republik dienen Wasserspeicher auch der Sicherung von Mindestabflüssen und davon abhängigen Nutzungen in Trockenphasen (Trinkwasser, Schifffahrt, Abwasserverdünnung). Bei einigen Talsperren ist dies die prioritäre Aufgabe (Ruhrtalesperren, Edersee, Tschechien), die Elektrizitätsgewinnung nur Nebenprodukt. Eine solche Bewirtschaftung ist in der Schweiz kaum sinnvoll, da praktisch alle grösseren Fliessgewässer natürliche voralpine Seen durchfliessen. Diese stellen gewaltige Puffer dar, deren Volumen das der künstlichen Speicherseen bei weitem übersteigt. Das Potenzial für Niedrigwasseraufhöhungen hängt daher von der ökologisch verfügbaren Wassermenge der natürlichen Seen ab. Erst wenn diese bestimmt ist, lässt sich ab-

schätzen, ob und in welchem Mass die künstlichen Speicherseen die nutzbaren Seewassermengen in Trockenphasen erhöhen könnten. Aufgrund der Grössenverhältnisse dürfte aber selbst die völlige Entleerung eines Speichersees nur einen kurzfristigen Beitrag liefern.

Synergien mit der Landwirtschaft

Vereinzelt gibt es schon heute Lieferungen von für die Wasserkraft gefasstem Wasser zugunsten der landwirtschaftlichen Bewässerung. Dies ist besonders dort sinnvoll, wo Wasserfassung und Verbrauchsort nahe beieinander liegen, in der Regel also in hoch gelegenen Anbaugebieten. Günstig ist, dass der Wasserbedarf von Elektrizitätsgewinnung und Bewässerung zeitlich wenig überlappt. Ein Beispiel ist die Versorgung von Bewässerungsanlagen im Domleschg, Kanton Graubünden, wofür Wasser aus einem Stollen der Elektrizitätswerke der Stadt Zürich abgeleitet wird. Der Wasserkraftbetreiber wird von den Landwirten für die verminderte Stromproduktion entschädigt. Sinn dieser Konstellation ist die Entlastung der lokalen Bäche, in denen so die vorgeschriebenen Restwassermengen eingehalten werden können. Auch an der trockenen Nordflanke des Rhonetals wird Wasser aus dem Speichersee Lac de Tseuzier unter anderem für die Bewässerung eingesetzt (Weingartner et al. 2014).

Die grösste Steigerung der Wassernachfrage ist indessen nicht im Gebirge, sondern in den intensiven Anbaugebieten des Mittellands zu erwarten (Fuhrer et al. 2014), weit entfernt von den Speicherseen. Die Zuführung zusätzlichen Wassers aus Speicherseen in Trockenzeiten via Flüsse ist wenig ergiebig (Brunner et al. 2019). Ein leitungsgebundener Wassertransfer direkt zu den Bewässerungsanlagen wie in den obenstehenden alpinen Beispielen wurde bisher nicht erwogen und wäre aufgrund der grossen Entfernungen auch kaum wirtschaftlich.

Synergie Wasserkraft/Beschneigung

Wasserkraftspeicher im Gebirge werden vereinzelt auch zur Beschneigung genutzt. So stammt in Zermatt der Grossteil des Beschneigungswassers aus den Speicherseen und Wasserfassungen des Elektrizitätswerks Zmutt und der Grand Dixence (Zermatt Inside 2012). Auch in den 4 Vallées wird Wasser aus dem Lac de Cleuson zur Beschneigung eingesetzt (NCCS o. J.b).

Umgekehrt werden bei Beschneigungsteichen wo immer möglich energetische Potenziale auch für die Stromgewinnung genutzt, so zum Beispiel im Skigebiet Fuorcla-Nagens in Flims (Graubünden). Dort untersucht ein Pilotprojekt im Rahmen der Anpassung an den Klimawandel, welche

Nutzungskombinationen eines Speichersees wünschenswert und realistisch sind (Stromgewinnung, Beschneigung, Rückhalt von Starkregen, Speisung von Karst-, Grundwasser- und Quellsystemen, touristische Nutzung im Sommer) (NCCS o. J.b).

Synergie Wasserkraft/Trinkwasser

Anders als in vielen Ländern Europas werden Stauseen in der Schweiz bisher nur in Einzelfällen (z.B. Lac de Tseuzier, Grande Dixence, Wallis) als Reservespeicher für die Trinkwasserversorgung eingesetzt. Angesichts vereinzelter Mangelprobleme im extrem trockenen Sommer 2018 wurde geprüft, ob und in welchem Mass die alpinen Speicher in solchen Situationen Wasser für andere Nutzungen bereitstellen könnten. Entscheidend ist die Entfernung von Speicher- und Nutzungsort (Brunner et al. 2019). Im Fall der Trinkwasserversorgung sind verbrauchsnahe Massnahmen (z.B. Grundwasseranreicherung, Seewassernutzung) sinnvoller als eine Zuführung von Wasser aus alpinen Speichern via Flüsse. Eine leitungsgebundene Versorgung aus alpinen Speichern über längere Distanzen wurde bisher nicht geprüft.

Einen sehr schonenden Beitrag zur Stromversorgung leisten Trink- und Abwasserkraftwerke, die sich das Gefälle von Leitungsnetzen zunutze machen. Ende 2018 gab es etwa 390 Trinkwasserkraftwerke in der Schweiz, die 125 GWh/ a an Elektrizität bereitstellten. Unter den Kleinstwasserkraftwerken unter 300 kW sind sie mit einem Anteil von 42% die bei weitem wichtigsten Anlagen (BFE 2019d).

Abb. 06-09

Zusatznutzen ohne Nebeneffekte:
das Trinkwasserkraftwerk Flüe in Erstfeld produziert
mit dem Gefälle der Trinkwasserversorgungsleitung
Strom für etwa 100 Haushalte
(© Gemeinde Erstfeld)



Synergie Wasserkraft/Hochwasserschutz

Aus Sicht des Hochwasserschutzes kommt den Speicherstauseen eine wichtige Rolle zu, denn potenziell können sie einen erheblichen Teil von Starkniederschlägen zurückhalten und Extremabflüsse dämpfen. Am effektivsten ist dies im Frühjahr, wenn die Speicher leer sind. Im Herbst bei gefüllten Speicherseen ist eine vorgängige Absenkung erforderlich bzw. ein stets leer gehaltenes Puffervolumen («konservative Seebewirtschaftung»). Hilfreich ist eine möglichst frühe und zuverlässige Prognose von Hochwassersituationen, auch um die Einschränkung der Stromproduktion möglichst kurz zu halten.

Im Rheineinzugsgebiet oberhalb des Bodensees werden rund 15% des Abflusses in Speichern gefasst. Das Potenzial dieser Speicher für die Dämpfung von Hochwasserereignissen des Alpenrheins wurde eingehend untersucht. Bei südzentrierten Wetterlagen kann durch Rückhalt in Speicherseen die Abflussspitze des Rheins bei Reichenau um circa 450 m³/s gesenkt werden (17-20% HQ 100, 10-17% HQ300). Bei nordzentrierten Regenwetterlagen ist die Wirkung mit 170 m³/s weit geringer, weil in diesem Teil des Einzugsgebiets weniger Stauseen vorhanden sind (Zarn et al. 2017).

Die angegebenen Abflussminderungen werden allerdings nur erreicht, wenn die Stauseen zu maximal 70% gefüllt sind. Diese Bedingung ist bei ordentlicher Bewirtschaftung nur vom Spätwinter bis Mitte des Jahres gegeben, ab Juni/ Juli sind in dieser Region die Speicher wieder voll. Hypothetisch wäre eine dauerhafte Reduktion des Speicherinhalts auf 70% denkbar, würde aber erhebliche winterliche Produktionsausfälle mit sich bringen (circa 600 GWh). Alternativ könnten die Speicherpegel erst beim Herannahen einer Regenfront abgesenkt werden. Dies erfordert aber einen Vorlauf von 4 bis 6 Tagen und entsprechend präzise Niederschlags- und Abflussvorhersagen, die mit heutigen Methoden nicht möglich sind. Aus jetziger Sicht ist daher die prophylaktische Absenkung von Speicherseen im Einzugsgebiet des Alpenrheins für die Hochwasserdämpfung nicht sinnvoll. Im Frühjahr bei entleerten Speicherbecken dagegen ist ein hohes Rückhaltepotenzial vorhanden, das auch heute schon genutzt wird (Zarn et al. 2017).

Andernorts sind die Bedingungen für den Hochwasserrückhalt günstiger. So haben Bund und Kanton mit dem Betreiber des Mattmarkstausees im Wallis eine Hochwasserreserve von 3.6 Mio. m³ vereinbart, die dauerhaft freigehalten und mit CHF 6 Mio. jährlich abgegolten wird. Am Sihlsee kann der Kanton Zürich vom Betreiber SBB eine Absenkung des Pegels

verlangen, wenn sich ergiebige Regenfälle mit extremer Hochwassergefahr ankündigen (Kellner et al. 2018).

Synergien und Konflikte mit dem Tourismus

Staudämme und Wasserkraftwerke üben besonders im Hochgebirge eine grosse touristische Anziehungskraft aus (Rodriguez et al. 2014). Dies trifft vor allem für sehr hohe Staumauern wie Emosson, Grimsel oder Grande Dixence zu. Letztere verzeichnet jährlich circa 100 000 Besucher. Auf der anderen Seite der touristischen Balance stehen Einschränkungen für Kanu- und Kajakaktivitäten auf Restwasserstrecken und Gefahren bei der Ufernutzung durch plötzlich auftretenden Schwall. Manche Wasserkraftbetreiber setzen an den betroffenen Gewässerstrecken Hydro Guides ein, die auf die Gefahren aufmerksam machen (Hydro Exploitation o. J.).

6.4.2 Zielkonflikte und Synergien mit dem Gewässerschutz

Wird die Fliesskraft von Gewässern für die Stromgewinnung genutzt, wird stets auch deren ökologische Situation beeinflusst. In Abschnitt 6.2 sind die entsprechenden Auswirkungen detailliert beschrieben. Durch den Klimawandel stehen beide Ziele – lebendige Fliessgewässer und die Produktion CO₂-freien Stroms aus den Gewässern – unter erheblichem Anpassungsdruck: die Wasserkraft aufgrund veränderter Abflüsse, die Gewässerökologie aufgrund höherer Wassertemperaturen, Trockenheit und invasiven Arten.

Bei der Bestimmung der zukünftigen Rolle der Wasserkraft muss daher eine Balance gefunden werden, die auch die potenziell verminderte Belastbarkeit der Gewässer berücksichtigt. Beispielsweise könnten höhere Restwassermengen helfen, eine Überhitzung der Fliessgewässer zu verhindern. Bei den Überlegungen zur Erfüllung der Ziele der Energiestrategie 2050 wird der Gewässerschutz häufig als fixer Rahmen ohne Anpassungsbedarf an den Klimawandel betrachtet. Eine Gewässerschutzstrategie, die auf klimabedingte Änderungen Rücksicht nimmt, existiert derzeit noch nicht. Mitunter wird sogar davon ausgegangen, dass die gesellschaftlichen Ziele für die Gewässer abgeschwächt werden sollten, da die Wasserkraft wegen des bestehenden Gewässerschutzes nicht «zu erhalten oder angemessen auszubauen» ist (Kanton Wallis 2018).

Ein generelles Abschwächen von Gewässerschutzstandards zur Erhöhung des Stromertrags könnte nicht nur die ökologische Resilienz der Gewässer, sondern auch deren sonstige Nutzungen beeinträchtigen.

So dringlich die Ausrichtung der Wasserkraft auf den Klimawandel ist, sie darf nicht das Ziel intakter und lebendiger Gewässer aus den Augen verlieren. Die Herausforderung besteht darin, die Wasserkraft dauerhaft in Einklang zu bringen mit dem durch den Klimawandel zunehmenden Schutzbedürfnis der Gewässer.

6.5 Potenzielle Lösungsansätze

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 wurden und werden bereits vielfältige Massnahmen zur Unterstützung der Wasserkraft und zur Klärung ihrer zukünftigen Rolle ergriffen. Die Nationalen Forschungsprogramme «Energiewende» und «Steuerung des Energieverbrauchs» haben umfassende wissenschaftliche Grundlagen für die Weiterentwicklung der Wasserkraft bereitgestellt. Der folgende Abschnitt beschränkt sich daher auf Aspekte, die aus wasserwirtschaftlicher Sicht für die angestrebte Neuorientierung der Schweizer Energieversorgung besonders relevant sind.

Staudambau in entgletscherten Hochtälern

Angedacht ist die Verwirklichung einzelner grosser Wasserkraftprojekte in hochalpinen, periglazialen Tälern. Als zusätzliches Argument für solche Speicherseen wird häufig ihre potenzielle Nutzung für andere Zwecke angeführt (Niedrigwasseraufhöhung, Hochwasserschutz, Versorgung von Landwirtschaft, Beschneigung und Haushalten). Die Politik wird darüber zu befinden haben, ob öffentliche Investitionen in den Bau solcher Kraftwerke an einen realistischen Zusatznutzen als Multifunktionsspeicher gebunden sein sollten.

Vertiefte Analyse und Kommunikation von Interessenslagen

Zwar ist es offensichtlich, dass die Interessen der Eigentümer und Betreiber von Wasserkraftwerken nicht immer identisch mit gesamtgesellschaftlichen Zielsetzungen sind. Beispielsweise bedeutet ein Zuwachs an Versorgungssicherheit nicht zwingend auch einen Zuwachs an wirtschaftlichem Ertrag. Gerade die Eigentümer und Betreiber von Wasserkraftwerken (Gemeinden, Kantone und deren Werke) können durch ihre Staatsnähe grossen Einfluss auf politische Entscheidungen nehmen. Transparenz von Interessenkonflikten und Lobbybeziehungen gewährleistet, dass staatliche Weichenstellungen und Subventionen in erster Linie an übergeordneten gesellschaftlichen Zielen ausgerichtet werden statt am wirtschaftlichen Interesse einzelner Akteure.

Pfadabhängigkeit und langfristige Planung

Neue Wasserkraftwerke haben eine Lebensdauer von vielen Jahrzehnten. Ihr Bau bindet für lange Zeit erhebliche Finanzmittel. Photovoltaik-

und Windkraftanlagen bestehen wesentlich weniger lang, sie können schneller und kostengünstiger der technischen Entwicklung und dem gesellschaftlichen Bedarf angepasst werden. Angesichts ungewisser Zukunftsaussichten im Strommarkt bergen Wasserkraftwerke ein deutlich höheres wirtschaftliches Risiko als andere Elektrizitätsquellen.

Für die langfristige Planung sind Richtwerte für den Beitrag der Wasserkraft zur Stromerzeugung eine sinnvolle Zielvorgabe. Eine gesetzlich verpflichtende Festschreibung von Zielwerten im EnG dagegen würde fast sicher den Bau neuer Wasserkraftanlagen erzwingen. Ökonomische, technische, gesellschaftliche oder wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen können sich aber in wenigen Jahren wandeln und die Bedeutung der Wasserkraft grundlegend verändern. Die Umwandlung von Richtwerten in gesetzlich bindende Zielwerte bedeutet eine technologische Vorfestlegung, die zukünftige Entscheidungsfreiheiten ungewollt einschränken könnte.

Erschliessung von Effizienzpotenzialen

Wenn Wasserkraftwerke nach 80 Jahren ans Ende ihrer Konzession gelangen, ist ihr technischer Zustand normalerweise nicht mehr auf dem Stand des aktuellen Wissens. Daraus ergeben sich Effizienzpotenziale durch «moderne Modernisierung» (Optimierung von Turbinen, Druckstollen, Elektronik, Vorhersagesysteme). Zum Beispiel lassen sich durch moderne Rechenprogramme Zuleitungen und Turbinensysteme optimal aufeinander abstimmen. Um solche Potenziale vollständig zu eruieren und nutzbar zu machen, könnten Subventionen für bestehende Kraftwerke sinnvoll sein (Nicolet et al. 2019). Technische Effizienzsteigerungen sind aus wasserwirtschaftlicher Sicht prioritär, da sie ohne zusätzliche Belastung der Fließgewässer und ohne Einschränkung anderer Wassernutzungen verwirklicht werden können.

Die Schweiz ist keine Insel

Die Schweizer Strom- und Energiezukunft kann nicht insulär angegangen werden, sondern nur im Verbund mit dem Ausland. Besonders deutlich ist dies bei den Pumpspeichern, die die derzeit wichtigsten Grossspeicher für Elektrizität und in der Welt der neuen Erneuerbaren begehrte Anlagen sind. Optimal können sie ihre neue Rolle aber nur im internationalen Verbund finden, wo sie mit anderen Speichern (Autobatterien, Power to X) konkurrieren und kooperieren (Patt et al. 2019). Derzeit zeichnen sich für die kurzfristige Zwischenspeicherung von Strom Lithiumbatterien als wirtschaftlichste Technologie ab, während Pumpspeicher für die Mehrtages- und Wochen-

speicherung, die Umwandlung in Wasserstoff oder Methan (Power to X) für die Überjahresspeicherung geeignet sind (Schmidt et al. 2019). Neue Speichertechniken könnten diese Reihenfolge allerdings in Frage stellen, weshalb die zukünftige Wirtschaftlichkeit der kapitalintensiven Pumpspeicherkraftwerke derzeit schwierig zu beurteilen ist. Es bleibt zu klären, welche definierten und verlässlichen Einsatzgebiete für Pumpspeicherkraftwerke es in der europäischen Energiezukunft geben kann.

Schutzgebiete, Nutzgebiete

Artikel 10 EnG verpflichtet die Kantone, die für Wasserkraftnutzung geeigneten Gewässerstrecken in Richtplänen festzulegen. Der gleiche Artikel gestattet ihnen auch, Gewässerstrecken zu bezeichnen, die von solchen Nutzungen «grundsätzlich freizuhalten sind.» So unterscheidet der Kanton Bern in seiner Gewässernutzungsstrategie nutzbare und zu schützende Fliessgewässer: Die Sense ist in ihrem gesamten Verlauf von Wasserkraftnutzungen ausgeschlossen, ebenso Schwarzwasser, Obere Emme, die Zulg, der Lombach und fast der ganze Verlauf der Aare zwischen Münsingen und Bern. Dagegen sind an Simme und Schwarzer Lütschine Wasserkraftnutzungen bewilligungsfähig. Eine solche wasserwirtschaftliche Triage erlaubt es, besonders schützenswerte Gewässer durchgehend naturnah zu erhalten, andernorts aber die Nutzung der Wasserkraft zu optimieren.

Synergien systematisch nutzen

Wasserwirtschaft und Energiewirtschaft sind jede für sich hochkomplexe Politikbereiche, die sich in vielfältiger Weise durchdringen und beeinflussen. Das macht eine zukunftsgerichtete und effiziente Koordination anspruchsvoll. Die Abstimmung der beiden Bereiche erfordert Weitblick, interdisziplinäres Wissen und übergeordnetes Planen, damit nicht wesentliche Synergien übersehen werden. Wasser ist in der Schweiz ein prägendes Element von Landschaft und Ökologie und zugleich eine der wenigen ergiebigen Ressourcen. Gemeinwirtschaftliche Wasser- und Gewässernutzung sollte daher nicht als Verteilungskampf um die Ressource betrachtet werden, sondern als langfristig angelegte, gesellschaftliche Annäherung an die besten und effizientesten Lösungen. Konkurrenz- und Verdrängungsgedanken führen bei der Bewirtschaftung des Wassers nicht zum Ziel. Gefordert ist die Bereitschaft aller Beteiligten, Wasser technisch effizient und wirtschaftlich klug zu nutzen, zugleich aber das gemeinsame Erbe zu erhalten: intakte, lebendige, attraktive und produktive Gewässer.

6.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- Realistisches Produktionspotenzial bei Erhöhung von Staumauern (Fuchs et al. 2019)
- Potenzial der Effizienzsteigerung bestehender Anlagen (Effizienzinitiative, ggf. bei Heimfall)
- Potenzial von Stollenaufweitungen, Parallelstollen
- Anpassung der Kraftwerksdimensionierung, besonders der Ausbauwassermenge
- Zukünftiger Bedarf an Speicherkapazitäten und Pumpspeicherkraftwerken
- Optimierung des Fischabstiegs an Wehren und Staustufen
- Evaluierung von Schwall-Sunk-Einflüssen auf erweiterte ökologische Faktoren wie Temperatur und Sauerstoffgehalt
- Ermittlung ökologischer Restwasseranforderungen unter Klimawandelbedingungen
- Ökologisches Potenzial des Rückbaus veralteter oder wenig ergiebiger Kleinanlagen, vor allem in Gewässerabschnitten, die für die Revitalisierung vorgesehen sind, ggf. «Tausch» gegen Ausbau andernorts
- Ermittlung des realistischen wasserwirtschaftlichen Zusatznutzens neuer Stauseen (periglazial, sonstige) als Mehrzweckspeicher
- Klärung, ob neben periglazialen Stauseen («Gletscherspeicher», «Eisspeicher») auch «Schneespeicher» (z.B. Talsperren) in tieferen Lagen in Frage kommen. Ein Rückhalt von Schneeschmelzwasser wäre besonders in nivalen Einzugsgebieten (Thur, Birs etc.) für die Überbrückung von Abflussminima in Trockenphasen nützlich, würde aber auch zusätzliche Wasserkraftkapazitäten bieten

6.7 **Literatur**

Amtliches Bulletin (2019)

Parlamentarische Initiative Röstli Albert

[Ausbau der Wasserkraft zur Stromerzeugung und Stromspeicherung](#)

Anpassung der Umweltverträglichkeitsprüfung

BAFU (2001)

[Kraftwerkszentralen mit Schwall-Sunk-Betrieb](#)

Grundlagenstudie im Auftrag des BAFU, Limnex AG, Zürich, 33 Seiten

BAFU (2015)

[Renaturierung der Schweizer Gewässer: Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015](#)

Bern, 13 Seiten

BAFU (2017)

[Schwall-Sunk – Massnahmen – Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer](#)

Bern, 133 Seiten

BAFU (2019a)

[Auswirkungen des Vollzugs der Restwasserbestimmungen im Gewässerschutzgesetz \(GSchG\) auf die Produktion bei Wasserkraftwerken](#)

Factsheet, Bern, 24 Seiten

BAFU (2019b)

[Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG: Stand Ende 2018 und Entwicklung seit Ende 2016](#)

Bern, 14 Seiten

Barry, M. et al. (2019)

[The Future of Swiss Hydropower: Realities, Options and Open Questions](#)

Nationales Forschungsprogramm NFP 70, Abschlussbericht, Bern, 32 Seiten

BFE (o. J.)

[Wasserkraft – Übersicht über die Wasserkraftproduktion in der Schweiz 2019](#)

BFE (2018)

[Talsperren, die der Oberaufsicht des Bundes unterstellt sind](#)

Bern, 11 Seiten

BFE (2019a)

[Wasserkraftpotenzial der Schweiz – Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050](#)

Bern, 31 Seiten

BFE (2019b)

[Faktenblatt Marktprämie 2019](#)

Beilage zur Medienmitteilung des BFE vom 08.11.2019

BFE (2019c)

[101.2 Millionen an Investitionsbeiträgen für Grosswasserkraftwerke](#)

Medienmitteilung vom 14.02.2019

BFE (2019d)

[Statistik Kleinstwasserkraftwerke weniger als 300 kW](#)

Bern, 16 Seiten

BFE (2020a)

[Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz \(WASTA 2019\)](#)

Stand 1.1.2020, Bern

BFE (2020b)

[Schweizerische Elektrizitätsstatistik – Monatswerte](#)

Bern, Stand 30.01.2020

Björnsen Gurung, A. et al. (2014)

[Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen](#)

Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61

«Nachhaltige Wassernutzung», Bern

Bogner, K. et al. (2018)

[Skill of Hydrological Extended Range Forecasts for Water Resources Management in Switzerland](#)

In: Water Resources Management No. 32, Seiten 969-984

Bruder, A. (2012)

[Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk](#)

Dübendorf, 92 Seiten

Brunner, M. et al. (2019)

[Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes](#)

Sci. Total Environ. No. 666, Seiten 1033-1047

Bundesgericht (2019)

[Urteil in der Sache 1C_631/2017 vom 29.03.2019](#)

Bundesrat (2019a)

[«Keine Reservebildung bei der Marktprämie für die Grosswasserkraft»](#)

Stellungnahme des Bundesrates bezüglich Motion 19.4324 Aline Trede

Bundesrat (2019b)

[«Ausbau der Wasserkraft zur Stromerzeugung und Stromspeicherung – Anpassung der Umweltverträglichkeitsprüfung»](#)

Stellungnahme des Bundesrates zur Parlamentarischen Initiative

Bundesversammlung (o. J.)

[Unterstellung der strategischen Infrastrukturen der Energiewirtschaft unter die Lex Koller](#)

Parlamentarische Initiative Jacqueline Badran 16.498 vom 16.12.2016

Dürst, S. (2018)

[Bundesgelder sorgen für einen Kraftwerk-Boom](#)

In: Südostschweiz vom 22.09.2018

Eawag (2011)

[Restwasserstrecken: Wasserkraftnutzung und Restwasser - Restwasserstrecken und Sanierungsbedarf](#)

Dübendorf, 15 Seiten

Eggmann, S. et al. (o. J.)

Versunkene Täler - neue Landschaften : Geschichte(n) der Stauseen in der Schweiz

Web-Projekt der Schweizerischen Gesellschaft für Volkskunde

Ehrbar, D. et al. (2018)

[Hydropower Potential in the Periglacial Environment of Switzerland under Climate Change](#)

Sustainability No. 10, 2794

Estoppey, R. et al. (2016)

[Ökologische Sanierung der Wasserkraft](#)

BAFU-Vortrag an der IKSB Fachtagung Kleinwasserkraft am 23.04.2016

Farinotti, D. et al. (2019)

[Large hydropower and water-storage potential in future glacier-free basins](#)

In: Nature No. 575, Seiten 341-344

Flury, R. (2019)

Schutz der Schweizer Wasserkraft: Zürcher SVP und SP drohen, den neuen Axpo-Vertrag scheitern zu lassen

In: NZZ vom 19.10.2019

Fuchs, H. et al. (2019)

Bewertung von Talsperren-Erhöpfungsoptionen in der Schweiz Wasserwirtschaft No. 109, Seiten 146-149

Fuhrer, J. et al. (2014)

[Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse](#)

In: Agrarforschung No. 5(6), Seiten 256-263

Haerberli, W. et al. (2012)

[Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen:](#)

[Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft](#)

In: Wasser Energie Luft No. 2, Seiten 93-102

Huss, M. (2011)

[Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe](#)

In: Water Resources Research No. 47, Seiten 1-14

Huss, M. et al. (2018)

[Global-scale hydrological response to future glacier mass loss](#)

Nature Climate Change No. 8, Seiten 135-140

Hydro Exploitation (o. J.)

[Hydro Guides](#)

Faktenblatt

Kahl, A. et al. (2019)

[The bright side of PV production in snow-covered mountains](#)

PNAS No. 116, Seiten 1162-1167

Kanton Wallis (2018) Standesinitiative Wallis:

[Wasserkraft – für eine Lockerung des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer](#)

Kellner, E. et al. (2018)

[Chancen und Herausforderungen von Mehrzweckspeichern zur Anpassung an den Klimawandel](#)

In: Wasser Energie Luft No. 2, Seiten 101-107

Kratz, B. (2018)

[Versorgungssicherheit in der Schweiz](#)

Referat am ElCom-Forum 2018, 29.11.2018

Landry, C. et al. (2018)

[Renovation of hydraulic power plants: how to select the best technical options?](#)

Conference Paper für Hydro 2018, Gdansk, Polen, 15.-17. Oktober 2018

Langhammer, L. et al. (2019)

[Glacier thickness estimations of alpine glaciers using data and modeling constraints](#)

The Cryosphere, No. 13, Seiten 2189–2202

Lanz, K. et al. (2014)

[Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck](#)

Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61
«Nachhaltige Wassernutzung», Bern, 82 Seiten

Leguizamon, S. et al. (2017)

[A multiscale model for sediment impact erosion simulation using the finite volume particle method](#)

In: Wear, No. 392–393, Seiten 202–212

Marty, C. et al. (2017b)

[How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps](#)

In: The Cryosphere No. 11, Seiten 517–529

Marty, C. et al. (2020)

[Snow. Hintergrundbericht Hydro-CH2018](#)

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, 25 Seiten

Meister, J. (2019)

[Fish Protection and Downstream Migration at Low-Head Hydropower Plants](#)

Vortrag beim SCCER-Meeting vom 04.09.2019

Müller, A. (2019)

Das lange Warten auf den Limmat-Lachs In: NZZ vom 23.09.2019

NCCS (o. J.a)

[CH2018](#)

Webatlas

NCCS (o. J.b)

[50 Projekte zu sechs Themen](#)

Webseite zum Pilotprogramm zur Anpassung an der Klimawandel des Bundesrates

Nicolet, C. et al. (2019)

[RENOVHydro: how to select the best hydropower plant renovation?](#)

Vortrag beim SCCER-Meeting am 04.09.2019

Patt, A. et al. (2019)

[European policy and Swiss Hydropower](#)

Vortrag beim SCCER-Meeting am 04.09.2019

Pfammatter, R. et al. (2018)

[Energieeinbussen aus Restwasserbestimmungen – Stand und Ausblick](#)

In: Wasser Energie Luft No. 110, Seiten 233-246

Piot, M. (2019)

[Wem gehört die Schweizer Wasserkraft? – Methodik und Resultate](#)

In: Wasser Energie Luft No. 109, Seiten 229-235

Rodriguez, J.-F. et al. (2014)

[Paysages de l'hydroélectricité, tourisme et protection de la nature en haute montagne : le Valais suisse](#)

Projets de Paysage

Savelsberg, J. et al. (2018)

[The Impact of Climate Change on Swiss Hydropower](#)

In: Sustainability No. 10, 2541

SCCER-SoE (2019)

[Climate change impact on Swiss hydropower production: synthesis report](#)

Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity. Zürich, 28 Seiten

Schaepli, B. et al. (2019)

[The role of glacier retreat for Swiss hydropower production](#)

In: Renewable Energy No. 132, Seiten 615-627

Schmucki, E. et al. (2015)

Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs

In: International Journal of Climatology No. 35, Seiten 3262-3273

Schnitter, N. (1992)

Die Geschichte des Wasserbaus in der Schweiz Oberböözberg, 242 Seiten, ISBN 3-907175-15-8

SFV-FSP (2019):

[Der Nationalrat versagt und riskiert viel](#)

Parlamentarische Initiative Röstli: Medien-Mitteilung vom 20.12.2019

SP (2019)

[Klima-«Marshallplan»: 40 Massnahmen](#)

Bern, 10 Seiten

Stahl, K. et al. (2016)

Abflussanteile aus Schnee- und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Zuflüssen vor dem Hintergrund des Klimawandels

Projektbericht für die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

Überarbeitete Endfassung Dezember 2016, 151 Seiten

Stalder, H. (2019)

Der Ausbau der Wasserkraft köchelt auf Sparflamme

In: NZZ vom 20.09.2019

Weingartner, R. et al. (2014)

MontanAqua:

[Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel – Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis](#)

Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61. Bern, 27 Seiten

Zappa, M. et al. (2012)

[Vorhersage und Szenarien von Schnee- und Wasserressourcen im Alpenraum](#)

In: Forum für Wissen, Seiten 19-27

Zarn, B. et al. (2017)

[D13 Speicherseen und Hochwasserrückhalt – Machbarkeitsstudie](#)

Studie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA)

Entwurf 28.10.2017, 77 Seiten

Zekollari, H. et al. (2019)

[Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble](#)

The Cryosphere No. 13, Seiten 1125–1146

Zermatt Inside (2012)

[Beschneien auf Knopfdruck?](#)



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Martin Barben, Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel, Ulrich Sieber

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto © Klaus Lanz

Fachliche Begleitung **Adrien Gaudard** †, **Christian Stamm** Eawag

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Gestaltungskonzept, Layout, Infografik **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

7 Gewässerschutz und Fischerei

Inhaltsverzeichnis

- 7.1 Geschichte und Zielsetzung des Gewässerschutzes
- 7.2 Aktuelle Situation, verbleibende Defizite, Handlungsbedarf
 - 7.2.1 Fließgewässer
 - 7.2.2 Seen
 - 7.2.3 Grundwasser und Quellen
 - 7.2.4 Feuchtgebiete und Moore
- 7.3 Die Zukunft
 - 7.3.1 Wirkung des Klimawandels auf die Erreichung der Schutzziele
 - 7.3.2 Einfluss sozioökonomischer Veränderungen
- 7.4 Zielkonflikte und Synergien
- 7.5 Potenzielle Lösungsansätze
- 7.6 Wissenslücken, Forschungsbedarf
- 7.7 Literatur

Der Gewässerschutz muss neu auch sicherstellen, dass sich die aquatische Tier- und Pflanzenwelt an die wärmeren und trockeneren Bedingungen des Klimawandels anpassen kann

Sauberes Wasser, ein gesunder Fischbestand und naturnahe Flüsse und Seen haben in der Schweiz einen hohen Stellenwert. Dies drückt sich in einem über Jahrzehnte ausgehandelten, ambitionierten Gewässerschutz aus, der Nutzungen und Schutzansprüche in ein ausgewogenes Gleichgewicht bringen soll. Dennoch bleiben Defizite, sei es bei den Abflussmengen, bei der Struktur oder der Qualität der Gewässer. Schadstoffeinträge aus vielerlei Quellen, vor allem der Landwirtschaft, stellen die Ziele der Gewässerschutzgesetzgebung in Frage. Mit dem Klimawandel werden allerdings auch die Gewässer zusätzlich belastet durch höhere Temperatur, saisonale Verschiebung von Abflüssen, invasive Spezies. Zugleich nehmen die Nutzungsansprüche durch die Anpassung an den Klimawandel zu, etwa seitens der landwirtschaftlichen Bewässerung oder der Wasserkraft. In diesem Sinn ist es naheliegend, neben einer Energie- und Agrarstrategie auch eine Gewässerschutzstrategie 2050 zu formulieren sollte. Ziel muss es sein, dass Gewässer auch in einem veränderten Klima ihre Aufgaben als Landschaftselement, Trinkwasserlieferant, Fischhabitat und Erholungsorte erfüllen können. Potenzielle Massnahmen sind eine vermehrte Bepflanzung und Beschattung von Ufern, eine Eindämmung diffuser Schadstoffeinträge und eine Anhebung der gesetzlichen Restwasserstandards.

Résumé chapitre 7 protection de l'eau et de la pêche

En Suisse, une eau propre, une population de poissons en bonne santé et des cours d'eau et des lacs proches de la nature revêtent une grande importance. Cela se traduit par un ambitieux programme de protection des eaux négocié sur plusieurs décennies, qui vise à atteindre un équilibre entre les utilisations et les exigences de protection. Néanmoins, des lacunes subsistent, que ce soit en termes de débit, de structure ou de qualité des eaux. Les rejets de polluants provenant de nombreuses sources, en particulier de l'agriculture, remettent en question les objectifs de la législation sur la protection des eaux. Cependant, le changement climatique exerce également une pression supplémentaire sur les eaux par le biais de températures plus élevées, de décalages saisonniers du ruissellement, d'espèces envahissantes. En même temps, les demandes d'utilisation augmentent en raison de l'adaptation au changement climatique, par exemple dans le cas de l'irrigation agricole ou de l'énergie hydraulique. En ce sens, il est évident qu'en plus d'une stratégie énergétique et agricole, il faudrait également formuler une stratégie de protection des

eaux 2050. L'objectif doit être de faire en sorte que les eaux puissent continuer à remplir leurs fonctions d'éléments du paysage, de fournisseurs d'eau potable, d'habitats pour les poissons et de zones de loisirs, même avec le changement climatique. Parmi les mesures possibles, on peut citer l'augmentation du reboisement et de l'ombrage des rives, le confinement des émissions polluantes et le relèvement des normes légales relatives aux eaux résiduelles.

Riassunto capitolo 7 protezione delle acque e della pesca

L'acqua pulita, una popolazione ittica sana, fiumi e laghi vicini alla natura sono di grande importanza in Svizzera. Ciò si esprime in un ambizioso programma di protezione delle acque negoziato nel corso di decenni, che mira a raggiungere un equilibrio tra gli usi e le esigenze di protezione. Tuttavia, permangono delle lacune, sia in termini di portata, che di struttura o di qualità dei corpi idrici. Gli scarichi inquinanti provenienti da molte fonti, soprattutto dall'agricoltura, mettono in discussione gli obiettivi della legislazione sulla protezione delle acque. Inoltre il cambiamento climatico causa temperature più elevate, cambiamenti stagionali nel deflusso, un aumento delle specie invasive, le quali stanno mettendo ulteriore pressione sui corpi idrici. Allo stesso tempo, le richieste di utilizzo sono in aumento a causa dell'adattamento ai cambiamenti climatici, ad esempio nel caso dell'irrigazione agricola o dell'energia idroelettrica. In questo senso, è ovvio che, oltre a una strategia energetica e agricola, dovrebbe essere formulata anche una strategia di protezione delle acque 2050. L'obiettivo deve essere quello di garantire che i corpi idrici possano continuare a svolgere le loro funzioni di elementi paesaggistici, fornitori di acqua potabile, habitat ittici e aree ricreative anche in un clima mutato. Tra le misure potenziali vi sono l'aumento della rimboschimento e dell'ombreggiamento degli argini, il contenimento delle immissioni di inquinanti diffusi e l'innalzamento degli standard di legge sull'acqua residua.

7 Gewässerschutz und Fischerei

7.1 Geschichte und Zielsetzung des Gewässerschutzes in der Schweiz

Schon im 19. Jahrhundert begann man sich in der Schweiz um den Zustand der Gewässer zu sorgen. Als Keimzelle des Gewässerschutzes kann Art. 12 des Bundesgesetzes über die Fischerei (BGF) von 1875 gelten, der es verbot, «Stoffe in ein Gewässer einzuwerfen, durch welche die Fische beschädigt oder vertrieben werden» (Abb. 07-01). In der Folge wurden auch Schadstoffemissionen und Hitzezufuhr durch «Fabrikabgänge» begrenzt (BGF 1886). Erst 50 Jahre später wurden mit einer Spezialverordnung vom 17.04.1925 schliesslich auch Abfälle und Abwässer aus gewerblichen und landwirtschaftlichen Betrieben sowie von Siedlungen eingeschränkt. Schutzziel war aber bis in die 1950er Jahre ausschliesslich die Wahrung der wirtschaftlichen Interessen der Fischerei (Hettich et al. 2016).

Abb. 07-01

Artikel 12 des Bundesgesetzes über die Fischerei
in der Fassung vom 18.09.1875
(Bundesrat 1875)

Art. 12. Es ist verboten, Stoffe in Fischwasser einzuwerfen, durch welche die Fische beschädigt oder vertrieben werden.

Fabrikabgänge solcher Art und dergleichen sollen in einer dem Fischbestande unschädlichen Weise abgeleitet werden.

Ob und in wie weit die obige Vorschrift auf die bereits bestehenden Ableitungen aus landwirthschaftlichen oder aus gewerblichen Anlagen Anwendung finden soll, wird von den Kantonsregierungen und, falls gegen deren Entscheid Einsprache erfolgt, vom Bundesrathe bestimmt werden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg hatte sich der Zustand der Gewässer so weit verschlechtert, dass dies auch in der breiten Bevölkerung zum Thema wurde und ein erster Umweltschutzartikel vom Volk mit 81.3% der Stimmen angenommen wurde (Hettich et al. 2016). Die entsprechende Botschaft des Bundesrates dokumentierte unhaltbare Zustände in Flüssen und Seen und ist ein flammender Appell für ein Gewässerschutzgesetz. Zwar ging es auch weiterhin um die Interessen der Fischerei, der Bundesrat betonte aber, dass «die öffentliche Gesundheitspflege, die Versorgung mit einwandfreiem Trink- und Brauchwasser und die Erhaltung des Landschaftsbildes eine unvergleichlich höhere Bedeutung» haben (Bundesrat 1953). Die Beeinträchtigung des Grundwassers durch Abfalldeponien und die Versickerung von Düngestoffen und «Pflanzenspritzmitteln» hatte dazu geführt, dass «das dem Untergrund entnommene Wasser für Trink-, ja selbst für industrielle Zwecke vielfach ungeeignet» war (Bundesrat 1953).

Ein durchschlagender Erfolg war aber dem 1955 verabschiedeten Gewässerschutzgesetz (GSchG) nicht beschieden, vor allem weil es gemäss Art. 2 Abs. 3 Rücksicht nahm «auf die entstehende wirtschaftliche und finanzielle Belastung» (Bundesrat 1955). Die anhaltenden Probleme führten zu immer grösserer Unzufriedenheit in der Bevölkerung, die 1967 schliesslich in einem Volksbegehren Ausdruck fand, das einen wirksamen und dauerhaften Schutz der ober- und unterirdischen Gewässer verlangte (Bundesrat 1967). Daraufhin erarbeitete der Bundesrat 1970 eine Totalrevision des GSchG. Die Streichung von Art. 2 Abs. 3 begründete er folgendermassen: «Zahlreich sind die Fälle, in denen sich pflichtige Private und bisweilen auch Behörden auf den Standpunkt stellten, die Gewässerschutzmassnahmen hätten sich weniger an den in Artikel 2 des Bundesgesetzes umschriebenen Zwecken als vielmehr an den von ihnen selbst als tragbar empfundenen finanziellen Opfern auszurichten.» Neu solle das Gebot der Verhältnismässigkeit Grundlage des Gewässerschutzes sein (Bundesrat 1970).

Das Gewässerschutzgesetz von 1971 brachte dann die erwünschte Verbesserung der Qualität von Flüssen, Seen und Grundwasser. Untersagt war es nun, Stoffe, die geeignet sind, das Wasser zu verunreinigen, «mittelbar und unmittelbar in die Gewässer einzubringen oder abzulagern» (Art. 14 Abs. 1 GSchG 1971). Abs. 2 verbot auch das Versickern solcher Stoffe. Der Begriff «Verunreinigung» umfasste neu alle «schädlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Veränderungen des Wassers.» Weitere Kernpunkte des GSchG 1971 waren die Pflicht zur Erstellung «der erforderlichen öffentlichen Kanalisationssysteme und zentralen Abwasserreinigungsanlagen» (Art. 17 Abs. 1) und die Bereitstellung entsprechender Bundesbeiträge (Art. 33 GSchG 1971).

Zudem wurde zugunsten der Trinkwasserversorgung der Grundwasserschutz verstärkt, indem die Kantone erstmals verpflichtet wurden, Grundwasserschutzzonen und wo relevant, Gewässerschutzzonen im Zuströmbereich von Trinkwasserfassungen auszuscheiden (Art. 30 GSchG 1971). In diesen Bereichen gelten Nutzungsbeschränkungen für Landwirtschaft, Verkehr und Siedlungsbau. Eine mengenmässige Sicherung von Grundwasservorkommen wurde 1971 noch nicht verankert (Ruch 2016).

Der Zustand der Seen allerdings verschlechterte sich trotz des verschärften Gewässerschutzes weiter, und es war klar, dass der Ausbau der Klär-

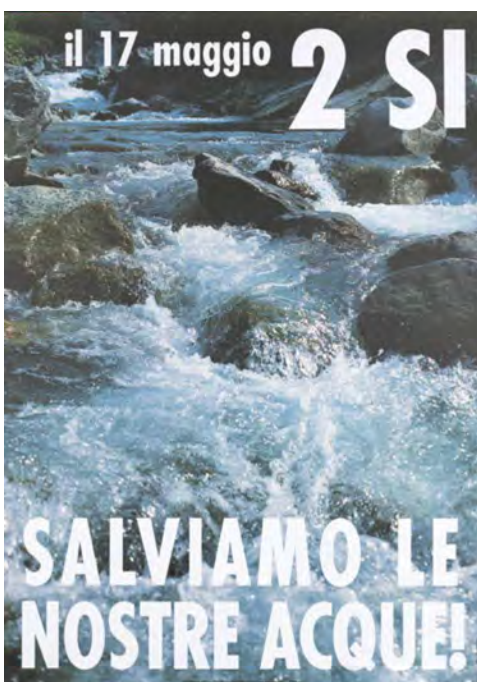
anlagen nicht schnell genug erfolgen konnte, um der Eutrophierung durch Phosphate Einhalt zu gebieten. Um den Eintrag von Phosphaten in die Seen via Abwasser zu reduzieren, wurde 1986 ein Phosphatverbot für Waschmittel in Anhang 4 der Stoffverordnung aufgenommen (Bundesrat 1981). Dieser Massnahme ist eine deutliche Erholung der meisten Seen zu verdanken.

In den 1980er Jahren kam mit der Sicherung angemessener Mindestabflüsse in Fliessgewässern (Restwasser) ein neuer Gesichtspunkt hinzu, wodurch die Wasserkraft verstärkt in den Fokus des Gewässerschutzes geriet. Am 9. Oktober 1984 kam die Volksinitiative «zur Rettung unserer Gewässer» des Schweizerischen Fischereiverbandes zustande, die vor allem auf die Einhaltung von angemessenen Restwassermengen fokussierte. Daraufhin ergänzte der Bundesrat als indirekten Gegenvorschlag das bestehende Gewässerschutzgesetz u.a. mit Bestimmungen über Restwasser. Am 17. Mai 1992 nahm das Volk diesen Gegenvorschlag, das revidierte GSchG, an. Die Volksinitiative wurde ebenso abgelehnt wie ein Referendum von Kraftwerksinteressen gegen das neue GSchG (Bundeskanzlei o. J.).

Abb. 07-02

In der Folge wurde klar, dass auch im revidierten GSchG von 1991 Kriterien fehlten, die für eine grundlegende Sanierung der Gewässer und einen gesunden Fischbestand unerlässlich sind. Ohne eine Verbesserung des morphologischen Zustands – Ufer, Gewässerräume, Gerinneaufweitung – können die Fliessgewässer und Seen ihre natürlichen Funktionen nicht auf Dauer erfüllen. Hinzu kommen der vielfach durch menschliche Eingriffe beeinträchtigte Geschiebehaushalt, die infolge Wehren und Schwellen mangelnde Durchgängigkeit für Wasserlebewesen und die Auswirkungen des Schwall-Sunk-Effekts (siehe 7.2.1) unterhalb von Speicherkraftwerken. Um auch diese Probleme in Angriff zu nehmen, wurde 2006 mit der Volksinitiative «Lebendiges Wasser» eine Ergänzung der Bundesverfassung durch einen neuen Renaturierungsartikel angestossen (Bundesrat 2007).

Plakat zur Doppelabstimmung
über den Gewässerschutz vom 17. Mai 1992
(Plakatsammlung Hochschule für Gestaltung, Zürich)



Gewässerschutz und Fischerei

Schutz und Sicherung der Fischbestände können als Keimzelle des Gewässerschutzes gelten. Lange Zeit fokussierten die Gewässerschutzgesetze sogar allein auf die Fischerei (siehe Abb. 07-01). Die enge Verbindung zwischen fischereilichen Interessen und intakten Gewässerlebensräumen besteht auch heute noch. Der Bund ist dabei für die Artenvielfalt der Fischbestände zuständig, die Kantone erlassen im Rahmen der Bundesgesetze die Regeln für deren Bewirtschaftung.

Das Fischereigesetz sowie die zugehörige Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF) regeln neben Schutz und Nutzung der einheimischen Fische und Krebse auch den Erhalt von deren Lebensräumen und Nahrungsquellen. Insbesondere sollen bedrohte einheimische Arten bewahrt und vor dem Eindringen invasiver Arten geschützt werden. Dazu gehören auch Bestimmungen über die nachhaltige Nutzung der Fisch- und Krebsbestände sowie die Förderung der dafür relevanten Forschung.

Den Kantonen obliegt auch der Schutz der für Fische und Krebse wichtigen Lebensräume. Diese sollen erhalten und wo immer möglich verbessert werden (Art. 7 BGF). Um die Interessen der Fischerei zu berücksichtigen, ist für technische Eingriffe in ein Gewässer (Wasserkraftanlagen, Regulierung von Seepegeln, Einleitungen, landwirtschaftliche Entwässerungen etc.) grundsätzlich eine Bewilligung der für die Fischerei zuständigen Kantonsbehörde nötig (Art. 8 BGF). Ziel ist es, günstige Lebensbedingungen für die Fische zu schaffen (Abfluss, Fließgeschwindigkeit, Temperatur, Hydromorphologie), so dass sich diese ernähren und natürlich fortpflanzen können. Insbesondere ist auf eine freie Fischwanderung zu achten, Fische und Krebse dürfen nicht durch technische Anlagen verletzt oder getötet werden (z.B. Turbinen).



Abb. 07-03

Sauberes Wasser allein reicht für ein intaktes Fließgewässer nicht aus, wenn Uferverbauungen und Kanalisierung kaum Laich- und Ruheplätze für Fische bieten. Alpenrhein bei Buchs
(Quelle: Ivan Graf)

Der Bundesrat erkannte Handlungsbedarf an, empfahl aber dem Parlament die Ablehnung der Initiative. Dieses legte mit der Überarbeitung des GSchG einen indirekten Gegenvorschlag vor, worauf die Initianten die Initiative zurückzogen. Folgende erweiterte Ziele wurden im revidierten GSchG 2011 erstmals verankert:

- Renaturierung von circa 4 000 km Fliessgewässern bis Ende 2090
- Sanierung Schwall-Sunk bis Ende 2030 (Art. 39a, Finanzierung Stromabgabe)
- Sanierung Geschiebehalt bis Ende 2030 (Art. 43a GSchG, Art. 42a GSchV)
- Sanierung Fischgängigkeit bis Ende 2030
(zuvor BGF 1991, Art. 10 BGF, Art. 9 VBGF, Art. 83a GSchG, VBGF Anh. 4)

Auch für die Finanzierung der Massnahmen durch eine Stromabgabe wurden gesetzliche Grundlagen geschaffen (siehe 7.2.1).

Über mehr als ein Jahrhundert hinweg entwickelte sich damit sukzessive ein Regelwerk für den Gewässerschutz, das immer wieder neue Aspekte der Wasser- und Gewässernutzung aufgriff. Stand zunächst die Wasserqualität der Flüsse, Seen und schliesslich des Grundwassers im Mittelpunkt, kamen seit den 1970er Jahren erst Mengenaspekte, dann ökologische, morphologische und landschaftliche Aspekte hinzu. Während der Fokus des Gewässerschutzes einst ganz auf dem Wasser selbst lag, erweiterte er sich nach und nach auf die Wasserressourcen und schliesslich auf die ökologische Integrität der Schweizer Gewässer.

Endpunkt erreicht?

Heute stellt sich die Frage, ob die Historie der Erweiterung des Gewässerschutzes um neue Aufgaben abgeschlossen ist. Beispielsweise zeigt sich, dass Raummangel nicht nur für Landwirtschaft, Siedlungsausbau, Industrie und Verkehr, sondern auch für die Wasserwirtschaft zum limitierenden Faktor geworden ist («flächenlimitierte Wasserwirtschaft», siehe Abb. 07-04). Zahlreiche Aktivitäten beeinflussen wasserwirtschaftliche Zielsetzungen, ohne selber Wasser oder Gewässer zu nutzen oder direkt in Gewässer einzugreifen. Dies gilt für Flächennutzungen, die das Ausscheiden von Grundwasserschutz zonen für die Trinkwasserversorgung verunmöglichen oder die Ausdehnung von Siedlungs- und Industriearealen, die in Konflikt mit den erforderlichen Rückhalteflächen für den Hochwasserschutz geraten. Zu erwägen ist, ob der Gewässerschutz in seiner Rechtsposition gegen solche Flächenansprüche gestärkt werden sollte. Es wäre eine logische Fortsetzung der Gesetzgebungsgeschichte, raumplanerische Aspekte als vierte Ebene neben Qualität, Quantität und Hydromorphologie in den Gewässerschutz einzuführen.



Abb. 07-04

Hohe Nutzungsdichte im Urner Reusstal:
Vielfältige Flächenansprüche erschweren
eine ordnungsgemässe Wasserwirtschaft
(Quelle: Reportair)

7.2 Aktuelle Situation, verbleibende Defizite, Handlungsbedarf

7.2.1 Fliessgewässer

Der Zustand der Fliessgewässer hat sich seit den 1970er Jahren markant verbessert, sichtbare Verschmutzungen und Badeverbote gehören der Vergangenheit an. Die detaillierte Untersuchung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) zeigt allerdings, dass in Bezug auf Wasserpflanzen und Wirbellose noch immer an mehr als 30% der Messstellen erhebliche Beeinträchtigungen registriert werden. Die Fischfauna ist derzeit an zwei Dritteln der Messstellen beeinträchtigt (Schmid et al. 2016). Ursachen sind mangelnde Wasserqualität (Mikroverunreinigungen, Nährstoffe), die Wasserkraftnutzung mit reduziertem Restwasser und/ oder Schwall-Sunk-Effekten, eine Einschränkung der Hydromorphologie (Wehre, Uferverbauung) oder eine gestörte Geschiebedynamik (durch Kiesentnahmen, Verbauungen, Wasserkraft). In all diesen Punkten strebt die Gewässerschutzgesetzgebung Verbesserungen an.

Qualität

Die sichtbarsten Fortschritte hat der Gewässerschutz der letzten 50 Jahre bei der Qualität der Fliessgewässer bewirkt. Durch den staatlich subventionierten Bau von Kanalisationen und Kläranlagen und den Anschluss fast aller Haushalte an die Abwasserentsorgung konnten die Flüsse von Nährstoffen und einem Teil der Schadstoffe aus häuslichem und industriell-gewerblichem Abwasser entlastet werden. Unterstützt wurde dieser Erfolg durch das weitgehende Verbot phosphathaltiger Wasch- und Reinigungsmittel.

Die Reinigungsleistung heutiger ARA reicht allerdings nicht für die Gewinnung gänzlich schadstofffreien und hygienischen Wassers aus. Daher befindet sich eine weitere Phase der Kläranlagentechnik in der Umsetzung («vierte Reinigungsstufe»), um das kommunale Abwasser von verbleibenden Mikroverunreinigungen zu befreien (BAFU 2016a). Bis zum Jahr 2040 soll die Ausrüstung von rund 130 mittleren und grossen ARA mit zusätzlichen Reinigungsstufen abgeschlossen sein. Ab 2028 können auch kleinere ARA (über 1000 angeschlossene Einwohner) zum Einsatz zusätzlicher Reinigungsstufen verpflichtet werden, vor allem wenn das betroffene Gewässer in einem ökologisch sensiblen Gebiet liegt oder für die Trinkwasserversorgung wichtig ist (Bundesrat 2019).

Mengenaspekte

Erst wesentlich später rechtlich verankert wurden mengenmässige Vorgaben für die Nutzung von Flüssen. Das GSchG in der Fassung von 1991 schreibt vor, dass in einem Fließgewässer unterhalb einer Entnahmestelle definierte Restwassermengen verbleiben müssen. Meist sind Wasserkraftnutzungen betroffen (grundsätzlich aber auch Entnahmen zugunsten anderer Zwecke, etwa Bewässerung oder Beschneidung). Für nach 1991 konzessionierte Wasserkraftanlagen werden Restwassermengen anhand der neuen Rechtsgrundlage festgelegt. Wasserkraftanlagen, deren Konzession vor Inkrafttreten des GSchG 1991 bewilligt wurde, müssen «im wirtschaftlich tragbaren Rahmen» saniert werden. Diese Sanierung sollten die Kantone bis Ende 2012 durchführen, Ende 2018 waren circa 87% der Fälle bearbeitet (BAFU 2019). Die Bestimmungen des aktuellen GSchG müssen die älteren Wasserkraftanlagen erst bei Neukonzessionierung einhalten. Dies wird noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen, denn Konzessionen werden in der Schweiz für eine Dauer von 80 Jahren bewilligt. Die letzten Anlagen stehen daher erst in den 2060er Jahren zur Anpassung der Restwassermengen an (siehe Kapitel 6).

Für viele Gebirgsbäche bedeutet die Sanierung, dass sie erstmals nach Jahrzehnten durchgehend Wasser führen und wieder zum Lebensraum für Fische werden können. Andere Fließgewässer bleiben trocken, bis die Konzession erneuert und Restwassermengen nach heutigem Recht verfügt werden können. Es sei aber darauf hingewiesen, dass die Vorgaben für Restwassermengen Resultat eines politischen Kompromisses und aus ökologischer Sicht auch nach neuem Recht verhältnismässig knapp bemessen sind.

Einen bedeutenden Eingriff in die Abflussmenge von Fließgewässern verursachen Wasserkraftanlagen auch in Form des sogenannten Schwall-Sunk-Effekts. Da die Turbinierung des Wassers in Speicherseen meist abhängig von der Stromnachfrage erfolgt, werden dem aufnehmenden Gewässer stark schwankende Wassermengen zugeführt. Die resultierenden Abflussspitzen und Niedrigwasser werden als Schwall und Sunk bezeichnet und können den Wasserstand innert weniger Minuten um Meter steigen und sinken lassen (Abb. 07-05). Im gleichen Mass ändert sich auch die Strömungsgeschwindigkeit. Die meisten Wasserlebewesen sind an solch abrupte Wechsel nicht angepasst, werden mitgerissen oder stranden bei fallendem Wasserstand am Ufer. Die GSchV von 2011 strebt daher die Sanierung von Wasserkraftanlagen an, die Schwall und Sunk verursachen, etwa durch den Bau von Ausgleichsbecken, die den Wasserschwall abfangen und vor Einleitung in das Gewässer abdämpfen. Schweizweit sind etwa 100 Anlagen betroffen (Schmid et al. 2016).

Abb. 07-05

Abschnitt des Alpenrheins bei Schwall (links)
und Sunk
(Quelle: Chris Wittmann)



Hydromorphologie

Die Neufassung des GSchG von 2011 nahm die Fliessgewässer nochmals gesamthafter in den Blick: neben Schwall-Sunk-Effekten wurden erstmals auch Bestimmungen zu Geschiebehaushalt und Durchgängigkeit für die Fischwanderung aufgenommen. Die GSchV verpflichtet die Betreiber von Wasserkraftwerken, bis zum Jahr 2030 die schädlichen Effekte weitgehend zu minimieren. Gleichzeitig ist geregelt, dass die Finanzierung der Massnahmen aus einer Stromabgabe erfolgt (dem Netzzuschlag der Stromversorgung, Art. 34, Art. 35, Abs. 2, Bst. h EnG), so dass den Wasserkraftbetreibern keine wirtschaftlichen Nachteile entstehen. Die Aufgabe ist beeindruckend, denn etwa 500 Wasserkraftanlagen müssen in Bezug auf den Geschiebehaushalt und 1000 Anlagen in Bezug auf die Durchgängigkeit für Fische saniert werden (Schmid et al. 2016).

Schliesslich strebt das GSchG eine Revitalisierung von ausgewählten Flussabschnitten sowie eine ökologische Aufwertung des Gewässerraums an (BPUK, LDK, BAFU, ARE, BLW (Hrsg.) 2019). Vorgesehen ist die Revitalisierung von etwa 4 000 km von 16 000 km stark beeinträchtigen Flussabschnitten bis 2090. Dies ist oft mit der Neugestaltung ganzer Landschaftsabschnitte verbunden, eine Aufgabe von hoher planerischer Komplexität. Die Kosten teilen sich Bund, Kantone und Gemeinden. Während viele Kantone bei der Revitalisierungsplanung ein hohes Tempo anschlagen, hat der Nationalrat die entsprechenden Bundesmittel 2019 gedeckelt (Häne 2019). Dies könnte bereits ausführungsbereite Projekte verzögern.

Was bei den Flüssen noch zu tun bleibt

Mikroverunreinigungen und Nährstoffe gelangen nicht nur aus Kläranlagen, sondern auch aus diffusen Quellen in die Fliessgewässer. Neben Schmutzwasserentlastungen und Regenwasserkanalisationen aus Siedlungen (siehe Kapitel 8) bereiten vor allem Einträge von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft Sorgen. So lagen bei detaillierten Untersuchungen von fünf Bächen im Landwirtschaftsgebiet die Konzentrationen von 31 Pestizid-Wirkstoffen weit oberhalb der chronischen als auch der akuten Qualitätskriterien. Von 217 Wirkstoffen waren 145 in den Fliessgewässern teils monatelang nachweisbar (Spycher et al. 2019). Auch die für Wasserlebewesen besonders toxischen Pyrethroid- und Organophosphat-Insektizide wurden in kritischen Mengen gefunden (Rösch et al. 2019).

Unklar ist noch, ob die aktuellen Ziele des GSchG ausreichen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässer genügend abzufedern. Allenfalls sind ehrgeizigere Massnahmen gegen die Erwärmung der Gewässer zu erwägen, etwa durch Begrenzung von Wärmeeinleitungen oder durch Massnahmen zur Beschattung kleinerer Fließgewässer mit Uferbepflanzung (siehe 7.3.1).

7.2.2 Seen

Auch Seen reagieren als stehende Gewässer mit langsamem Wasser-austausch ökologisch empfindlich auf Verschmutzungen. Die Einleitung stark belasteter kommunaler und industriell-gewerblicher Abwässer kombiniert mit landwirtschaftlichen Einträgen führte in den 1970er und 1980er Jahren zu einer besorgniserregenden Überdüngung und bei einigen Seen zu einem Zusammenbruch des biologischen Systems. Viele Mittellandseen leiden noch immer unter den damaligen Einleitungen, und z.T. ist der Eintrag von Düngemitteln aus der Landwirtschaft weiterhin zu hoch. Daher müssen mehrere Seen (Baldeggersee, Hallwilersee, Sempachersee, Greifensee) dauerhaft mit Sauerstoff belüftet werden, um das aquatische Leben aufrecht zu erhalten. Auch grosse Seen wie der Genfersee haben sich noch nicht vollständig von der Gewässerverschmutzung des 20. Jahrhunderts erholt (Steinsberger et al. 2017).

Nährstoffe

Für die grösseren Seen brachte vor allem das Phosphatverbot von 1986 eine wesentliche Entlastung. Fast alle Seen, aus denen in grösserem Mass Trinkwasser entnommen wird, sind heute in Bezug auf den Nährstoffgehalt wieder in einem guten Zustand. Unbefriedigend bleibt die Situation in Bezug auf Mikroverunreinigungen. Während deren Eintrag aus Kläranlagen durch eine vierte Reinigungsstufe deutlich reduziert werden sollte, gelangen weiterhin Pestizide und Düngemittel aus der Landwirtschaft, aber auch aus Siedlungen in die Seen.

Der in einigen Seen beobachtete Rückgang der Fischpopulationen und Fangerträge wird mitunter mit der Rückführung der Phosphatkonzentration auf naturnahe Werte in Verbindung gebracht (Staub et al. 2016). So regte der Berufsfischerverband SBFV an, durch gezielte Zugaben von Phosphat (bzw. eine Minderung der Phosphatentfernung aus kommunalem Abwasser) den Algenwuchs in der Hoffnung auf grössere Fangerträge wieder zu erhöhen (SBFV 2017). Gesamtökologisch ist aber eine solche fischereizentrierte Seenbewirtschaftung fragwürdig. Insbesondere zeigt die neuere Forschung, dass in Seen, die längere Zeit nährstoffreich waren, viele der

typischen einheimischen Fisch- und Pflanzenarten verloren gegangen sind (Alexander et al. 2017). Das BAFU lehnt daher eine Erhöhung der Phosphatkonzentrationen in Seen ab (BAFU 2016b).

Seen als Wasserreservoir

Seen wurden lange Zeit als schier unerschöpfliche Wasserreservoir angesehen. Der trockene und heisse Sommer 2018 änderte diese Wahrnehmung, da selbst grosse Seen niedrige Pegelstände aufwiesen. Besonders betroffen waren naturgemäss die unregulierten Seen Walensee und Bodensee. Aber auch in regulierten Seen mussten niedrige Pegel in Kauf genommen werden, um den erforderlichen Mindestabfluss aus den Seen gewährleisten zu können (BAFU et al. Hrsg. 2019). Nicht für alle Seen existiert bisher ein Niedrigwasserreglement, um Abfluss, Pegelstand und Entnahmen in Einklang zu bringen, wenn über längere Zeit Niederschläge ausbleiben.

Bisher wurde nicht eingehend untersucht, wie sich längere Trockenphasen auf den Wasserhaushalt von Seen auswirken und in welchem Mass Entnahmen unter Extrembedingungen eingeschränkt werden müssen. An Grenzen stösst man schon heute bei den Wasserentnahmen aus dem besonders zuflussarmen Sempachersee: selbst die beschränkte Wasserentnahme für die Trinkwasserversorgung (5 500 m³/d) wirkt sich dort zeitweise messbar auf den Abfluss aus (Gemeindeverband Sempachersee 2013). Auch die bei längerem Trockenwetter sehr geringen Abflüsse von Baldegger- und Hallwilersee erlauben keine substanziellen Wasserentnahmen (siehe Kapitel 3).

Seewasser wird in den letzten Jahren verstärkt zur Gewinnung von Wärme und zur Kühlung herangezogen (siehe Kapitel 4). Die entsprechenden Entnahmen sind teils erheblich, stellen aber nach derzeitigem Kenntnisstand kein Problem für die Seeökologie dar (Gaudard et al. 2017). Gerade in längeren Hitze- und Trockenphasen ist allerdings zu bedenken, dass Entnahmen für Kühlwasserzwecke und die Rückleitung erwärmten Wassers die Seeökologie zusätzlich belasten können.

Hydromorphologie der Seeufer

Die vom GSchG vorgesehene ökomorphologische Sanierung der Seeufer steht noch am Anfang. Das BAFU hat eine entsprechende Vollzugshilfe bereitgestellt, eine erste Bestandsaufnahme durch die Kantone anhand von Luftbildern ist in der Umsetzung (Abb. 07-06). Die Revitalisierungsplanungen der Kantone für die Seeufer sollen Ende 2022 vorliegen (BAFU Hrsg. 2018).



Abb. 07-06

Die Wasserqualität der Seen hat sich stark verbessert, doch die Uferlinien sind vielfach noch vegetationsarm und verbaut
 (Quelle: Eawag, Timothy Alexander)

7.2.3 Grundwasser und Quellen

Noch langsamer als Seen erneuert sich das Grundwasser. Oberflächennahe Vorkommen tauschen sich in einigen Wochen aus, tiefere Aquifere über Jahre oder Jahrzehnte. Entsprechend lange wirken sich Verschmutzungen aus, und Massnahmen zur Sanierung von Grundwasser benötigen mitunter Jahrzehnte (Bucheli 2018). Durch das GSchG ist das Grundwasser zwar systematisch vor der Einbringung von verunreinigenden Stoffen geschützt (Art. 6 Abs. 1 GSchG). Dennoch finden sich im Grundwasser unerwünschte Mikroverunreinigungen, die von der Landwirtschaft (PSM, Düngemittel, Gülle) und von urbanen Flächen (Regenwasser, undichte Kanalisationen) diffus und flächenhaft eingetragen werden. Die nationale Grundwasserbeobachtung (NAQUA) konnte an 65% der Messstellen in Ackerbaugebieten Pflanzenschutzmittel oder deren Abbauprodukte in Konzentrationen über 0.1 µg/l nachweisen. 40% der Messstellen lagen über dem Wert von 25 mg/l für Nitrat, bei 12% war der Höchstwert für Trinkwasser von 40 mg/l überschritten (BAFU Hrsg. 2019).

Diffuse Einträge lassen sich nur an der Quelle der Verschmutzung verhindern. Programme für die Überprüfung der Kanalisationsdichtigkeit und des Einsatzes von kritischen Chemikalien in Baumaterialien sind angelaufen. Die Einträge von Pestiziden sollen durch einen Aktionsplan Pflanzenschutzmittel des Bundes reduziert werden, auch das Zulassungsverfahren für Pestizid-Wirkstoffe steht auf dem Prüfstand (SFV/FSP 2019). Eine generelle Verminderung von Stickstoffeinträgen ins Grundwasser konnte trotz grosser Anstrengungen (nationale Stickstoff-Strategie 1996) bisher nicht erzielt werden (Bundesrat 2017).

Dass Massnahmen an der Quelle gegen diffuse Einträge effizient wirken, zeigt das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm von 2006. Damit konnte eine wesentliche Ursache für das Vordringen von Mikroverunreinigungen in Böden und Grundwasser abgestellt werden.

Abb. 07-07

Grundwasser:
Kaum sichtbarer, aber ebenso wichtiger Gegenstand des Gewässerschutzes
(Quelle: Wasserversorgung Oberkirch AG)



Flächenkonflikte

Aufgrund der vielfältigen und hochintensiven Flächennutzung in der Schweiz sind Stoffeinträge ins Grundwasser nicht vollständig zu vermeiden. Um trotzdem einwandfreies Grundwasser als Trinkwasser zur Verfügung stellen zu können, wurde das Konzept des planerischen Grundwasserschutzes entwickelt. Wo Trinkwasser gefördert werden soll, muss die unmittelbare Umgebung der Grundwasserfassung frei von schädigenden Aktivitäten bleiben (Art. 20 GSchG). Durch Schutzzonen soll gewährleistet werden, dass versickernder Niederschlag mindestens 10 Tage durch filtrierende Bodenschichten unterwegs ist, bevor er an die Pumpen der Wasserversorger gelangt (Art. 29 sowie Anh. 4 GSchV).

Das hohe Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung der vergangenen 20 Jahre schlägt sich auch in der Zunahme von Flächenansprüchen nieder. Immer öfter werden bestehende Grundwasserschutzzonen in der Nähe von Siedlungen überbaut oder für Gewerbebezonen und Verkehrswege beansprucht (Reist et al. 2019). Die Erschliessung neuer Grundwasserfassungen scheidet immer häufiger daran, dass sich keine ausreichenden Freiflächen für die Ausscheidung von Schutzzonen mehr bereitstellen lassen (Hug et al. 2017). Sämtliche in Frage kommenden Flächen sind bereits genutzt oder sollen für andere Nutzungen vorgehalten werden. Aus Sicht der Wasserversorger hat die Sicherung von Schutzzonenflächen noch keine genügende Sichtbarkeit und Priorität in der Raumplanung (siehe Kapitel 1).

Die Qualität flussnaher Grundwasserfassungen lässt sich durch Schutzzonen allein nicht ausreichend schützen. Sie werden durch einen zweiten Eintragspfad für Mikroverunreinigungen beeinflusst, die Infiltration aus

Oberflächengewässern. Viele Fliessgewässer stehen im Austausch mit dem Grundwasser, und bei flusssnahen Grundwasserentnahmen werden grössere Anteile an Flusswasser (und seinen Inhaltsstoffen) mitgefördert. Um einwandfreies Trinkwasser bereitstellen zu können, ist daher auch eine gute Qualität der Fliessgewässer erforderlich. Deshalb sollen circa 130 Kläranlagen mit zusätzlichen Reinigungsstufen zur Verminderung von Spurenstoffen ausgestattet werden (siehe Kapitel 8).

Vielfältige Interessen

Grundwasser ist nicht nur die wichtigste Ressource der öffentlichen Wasserversorgung, sondern auch für die Industrie (Eigenförderung als Prozess- oder Kühlwasser), die landwirtschaftliche Bewässerung und die Gebäudeheizung bedeutsam. Diese vielfältigen Nutzungen können sich gegenseitig beeinflussen und müssen aufeinander abgestimmt werden. Nach Art. 43 GSchG darf einem Grundwasservorkommen langfristig nicht mehr Wasser entnommen werden als ihm zufliesst. In vielen Fällen ist aber die nachhaltige Nutzbarkeit der Vorkommen nicht hinreichend definiert und die grosse Zahl an Nutzern erhöht die Gefahr einer unbeabsichtigten Übernutzung. Zudem hängt die Erneuerung von Grundwasservorkommen von der Witterung und dem Abfluss der im Austausch stehenden Fliessgewässer ab (Hunkeler et al. 2014).

Grundwasser wird in der Zukunft an Bedeutung zunehmen, da es relativ gut vor Verschmutzung geschützt, gleichmässig temperiert und in grosser Menge vorhanden ist. Gleichzeitig nehmen die Gefahren und die Nutzungsansprüche weiter zu. Dies zeigt sich sogar im Hochgebirge, wo der anhaltende Ausbau der Kunstschneebereitung die Wassernachfrage steigen lässt. Dadurch entstehen lokale Nutzungskonkurrenzen vor allem mit der Trinkwasserversorgung (Lanz 2016).

Quellen

In der öffentlichen Wahrnehmung erhalten Quellen weit weniger Aufmerksamkeit als Grundwasser, obwohl sie schweizweit über 36% des Trinkwassers liefern (svGW 2017). Viele Kommunen sind ausschliesslich auf Quellwasser angewiesen – nicht nur in den Alpen und Voralpen, sondern auch in Mittelland und Jura. Die Schüttung von Quellen ist natürlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, die umso ausgeprägter sind, je näher an der Oberfläche das Einzugsgebiet ist. Bei manchen Quellen ist zu erwarten, dass die Variabilität mit dem Klimawandel stark zunehmen wird.

Vereinzelt werden Quelfassungen aufgegeben, weil sich keine Schutzzone ausweisen lässt oder sie wegen saisonaler Schwankungen unzuverlässig sind. Dies bietet die Chance, diese Quelfassungen rückzubauen und ihre Umgebung zu renaturieren, damit sich wieder Quellbiotope entwickeln können. Ungestörte Quellbiotope und die dort lebenden Tier- und Pflanzenspezies sind in der Schweiz selten geworden. Der Kanton Bern hat mit der Kartierung seiner verbleibenden ungefassten Quellen begonnen und strebt die Renaturierung von gefassten Quellen an, die nicht mehr für die Wasserversorgung benötigt werden (AWA 2017, siehe Kapitel 1). Der Kanton Basel-Landschaft weist seine Gemeinden darauf hin, dass sich manche Bäche im Sommer fast ausschliesslich aus Quellen speisen. Um in solchen Bächen eine ganzjährige Wasserführung aufrecht zu erhalten, sollte die kommunale Wasserversorgung wo immer möglich ihre Wasserbeschaffung mit anderen Gemeinden vernetzen, damit ein Teil des gefassten Quellwassers den Bächen zugutekommen kann (Auckenthaler et al. 2017).

7.2.4 Feuchtgebiete und Moore

Moore unterliegen nicht dem GSchG, sind aber durch Artikel 78, Abs. 5 der Bundesverfassung geschützt. Dieser stellt «Moore und Moorlandschaften von besonderer Schönheit und gesamtschweizerischer Bedeutung» unter absoluten Schutz. Artikel 78, Abs. 5 ist Resultat einer im Jahr 1987 angenommenen Volksinitiative (Rotenturm-Initiative). Moore sind von höchster Bedeutung für die Artenvielfalt, beherbergen sie doch rund ein Viertel der bedrohten Pflanzenarten der Schweiz. Allerdings nehmen Moore heute nur noch 0.5% des Landesgebiets ein, der grösste Teil ging im 20. Jahrhundert durch Torfabbau und Trockenlegung zugunsten der Landwirtschaft verloren. Die wenigen verbliebenen Moorlandschaften stehen trotz des Schutzes unter Druck, insbesondere da die von Natur aus nährstoffarmen Moorböden durch stickstoffhaltigen Feinstaub und Niederschlag der Überdüngung ausgesetzt sind.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, in welchem Umfang drainierte ehemalige Feuchtflächen wiedervernässt werden könnten. Die Drainagen der Schweiz sind in die Jahre gekommen und müssen vielerorts saniert werden (Seitz 2013). Ohnehin müssen dabei überdeckte Bäche nach Art. 38 GSchG freigelegt werden (ausser es ergeben sich «erhebliche Nachteile für die landwirtschaftliche Nutzung»). Angesichts der enormen Kosten für die Sanierung von zehntausenden Kilometern an Drainagen wäre denkbar, einige Flächen von einer Sanierung auszunehmen und die Böden allmählich wieder in den ursprünglichen, dauerfeuchten Zustand über-

gehen zu lassen. Sinnvoll ist dies vor allem bei wirtschaftlich marginalen Flächen, die oft erst im Zuge des Plans Wahlen in den 1940er Jahren drainiert und als Weide- oder Ackerland nutzbar gemacht wurden. Wiedervernässte Flächen bieten Lebensräume für viele bedrohte Arten, feuchtere Böden sind aber auch ein kühlendes Landschaftselement und resistenter gegen Austrocknung in längeren Hitzeperioden (siehe Abb. 07-08). Da Bund und Kantone einen erheblichen Teil der Kosten von Drainage-sanierungen tragen, besteht bedeutendes Steuerungspotenzial.

Abb. 07-08



Auch im Sommer feucht und kühl:
Die Moorlandschaft im Hochtal der Biber, Auslöser
der Rothenthurm-Volksinitiative zum Schutz der
letzten Moore in der Schweiz
(Quelle: Hostel Rotschuo)

7.3 Die Zukunft

7.3.1 Wirkung des Klimawandels auf die Erreichung der Schutzziele

Der Klimawandel wird sich in vielfältiger Weise auf die Gewässer auswirken. Die Abflüsse werden sich vom Sommer in den Winter verschieben, die Wassertemperaturen in Fließgewässern, Seen und Grundwasser ansteigen, Extremsituationen mit Hochwasser und Trockenheit sich vermutlich verstärken (NCCS 2018). Dieser Gewässerwandel wird auch Einfluss auf die Erreichung der Gewässerschutzziele haben.

Höhere Wassertemperatur

Die Biozönose von Fließgewässern wird sich vor allem durch einen Anstieg der Wassertemperatur verändern. Viele Gewässerlebewesen sind für ihre Ernährung und Fortpflanzung an einen engen Temperaturbereich gebunden. Invasive Spezies wie die Schwarzmeergrundel profitieren bereits heute von höheren Temperaturen und verdrängen einheimische Fischarten. Als Gegensteuer bietet sich die Beschattung durch Ufervegetation an, die vor allem bei kleineren Fließgewässern wirksam ist (Benateau et al. 2019). Vielversprechend ist auch die künstliche Schaffung von tiefen und damit kühleren Flussbereichen (Kolken) (SFV/FSP Hrsg. 2019).

In Seen stabilisieren höhere Wassertemperaturen die horizontale Schichtung. Dadurch verlängert sich die Phase geringer Durchmischung und der Sauerstoffgehalt tiefer Seebereiche sinkt ab. In welchem Mass daraus auch eine Änderung der Artenzusammensetzung in Seen resultieren kann, wird derzeit untersucht (Alexander et al. 2018).

Im Grundwasser werden sich Temperaturänderungen verzögert und weniger ausgeprägt zeigen. Wo Grundwasser von Fliessgewässern gespeist wird, könnte es allerdings zu einem rascheren Abbau von organischem Material und damit zur Sauerstoffzehrung kommen (Diem et al. 2013). Temperaturziele für das Grundwasser scheinen durch den Klimawandel nicht unmittelbar in Frage gestellt.

Zunehmende Schwankungen bei den Abflüssen

Mengenmässig werden sich in den Fliessgewässern die aus den vergangenen Jahrzehnten bekannten Grundkoordinaten verschieben. Die Abflüsse werden sich tendenziell von den Sommer- in die Wintermonate verlagern, plötzliche Hochwasser durch Starkregenereignisse häufiger werden und in Trockenphasen in Sommer und Herbst tiefere Abflussminima auftreten (NCCS 2018). Vor allem verminderte Abflüsse und höhere Wassertemperaturen werden die Erreichung der im GSchG formulierten Ziele erschweren. Einerseits besteht die Gefahr, dass die Abflussmenge zur Verdünnung der ARA-Abwässer nicht ausreicht und hohe Schadstoffkonzentrationen die Gewässerlebewesen schädigen. Andererseits können zeitweise die gesetzlich vorgesehenen Mindestabflussmengen unterschritten werden, was negative Folgen sowohl für Fische und Gewässerökologie als auch für flussabhängige Nutzer hätte (Abb. 07-09).

Abb. 07-09

Ende Juni 2018 führte der Furtbach im Kanton Thurgau aufgrund mangelnder Niederschläge abschnittsweise kein Wasser mehr, der Fischbestand musste abgefischt werden (Quelle: Kanton Thurgau)



Regionale Engpässe

Genauere Untersuchungen wurden im Rahmen des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» des Bundes im Kanton Basel-Landschaft angestellt (Auckenthaler et al. 2017). Dieser von karstigen Juraböden geprägte, besonders wasserarme Kanton verfügt in Trockenphasen schon heute über unzureichende Wasserreserven. Berechnungen auf Basis der Klimaszenarien zeigen, dass sich gegen Ende des Jahrhunderts der sommerliche Abfluss in den Fliessgewässern des Kantons im langjährigen Mittel etwa halbieren dürfte. In trockenen Jahren können die Abflüsse dann sogar noch weiter zurückgehen. Wasserentnahmen aus den Fliessgewässern für die Landwirtschaft sind dann praktisch nicht mehr möglich (Auckenthaler et al. 2017).

Auswirkungen hat der Rückgang der Abflüsse auch für die Nutzung von Quellen und die Fischerei. Der Kanton empfiehlt den Gemeinden, die Wasserentnahme aus Quellen zu reduzieren, die für die Speisung kleiner Bäche wichtig sind (und stattdessen ihre Wassergewinnung mit anderen Gemeinden zu vernetzen).

Bemessung von Restwassermengen anpassen?

Mit abnehmendem Abfluss wird sich zukünftig auch der Mindestabfluss Q₃₄₇ reduzieren, auf dessen Basis die gesetzlichen Restwassermengen berechnet werden (Auckenthaler et al. 2017). Würde man die Restwassermengen an den verminderten Wert von Q₃₄₇ anpassen (der der Wassermenge entspricht, die an 95% der Tage erreicht wird), wäre der Abfluss für eine Aufrechterhaltung des Lebens im Gewässer nicht mehr ausreichend. Entweder könnten die auf den Bedingungen der Vergangenheit beruhenden Restwassermengen «eingefroren» werden und weiter Bestand haben. Alternativ könnte der für die Bemessung von Restwassermengen relevante Abflusswert rechtlich neu festgesetzt werden, beispielsweise auf Q₃₁₀ (85% der Tage) oder Q₂₉₂ (80% der Tage).

Grundwasser zunehmend wichtig

Grundwasser ist die vom Klimawandel tendenziell am wenigsten betroffene Wasserressource. Es erwärmt sich weniger und hängt mengenmässig in geringerem Mass vom Niederschlagsgeschehen ab. Grundwasser dürfte daher in Zukunft eine noch wichtigere Rolle für die Trinkwasserversorgung spielen. Voraussetzung dafür ist der konsequente Vollzug des bestehenden Grundwasserschutzes, ggf. aber auch zusätzliche Massnahmen im Hinblick auf seine Qualität als auch auf Nutzungen, die in Konkurrenz zur Trinkwassergewinnung stehen (Stoffeinträge, Wärme, Kühlung, Brauchwasser, Bewässerung, Flächenansprüche bei Schutzzonen) (siehe Kapitel 1).

7.3.2 **Einfluss sozioökonomischer Veränderungen**

Gewässerschutzziele wirken sich nahezu auf die gesamte Fläche aus und stehen daher in Konkurrenz mit vielen anderen gesellschaftlichen Aktivitäten. Dies gilt für Wasserentnahmen etwa für die landwirtschaftliche Bewässerung oder Beschneidung, für die Nutzung von Gewässern zum Abtransport gereinigten Abwassers, für Eingriffe in Gewässer zur Nutzung von Wasserkraft und sogar für nicht wassergebundene Nutzungen, die für den Gewässerschutz benötigte Flächen beanspruchen. Jede wesentliche Änderung einer wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Aktivität kann sich daher auf die Erreichung der Gewässerschutzziele auswirken. Die jeweiligen Zielkonflikte werden in den entsprechenden Kapiteln besprochen.

Welche sozioökonomischen Veränderungen könnten aber einen Einfluss auf den Gewässerschutz selber haben? Die heutigen Ziele des Gewässerschutzes gehen überwiegend auf Volksinitiativen zurück und sind damit direkter Ausdruck des Volkswillens. Die weitere Entwicklung wird daher von der gesellschaftlichen Wahrnehmung des Gewässerzustandes abhängen, und davon, ob intakte Gewässer auch in weiterer Zukunft als erstrebenswert angesehen oder anderen Zielen untergeordnet werden.

7.4 **Zielkonflikte und Synergien**

Der Gewässerschutz entspringt aus der über Jahrzehnte gewachsenen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Erkenntnis, dass Flüsse, Seen und Grundwasser schützenswerte ökologische Funktionen haben. Zudem ist Gewässerschutz auch wirtschaftlich unverzichtbar, sei es für die Bereitstellung einwandfreien Trinkwassers und Brauchwassers für Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft, sei es für die Fischerei, für den Schutz vor Hochwasser oder für den touristisch wichtigen landschaftsästhetischen Aspekt intakter Flussräume und Seeufer.

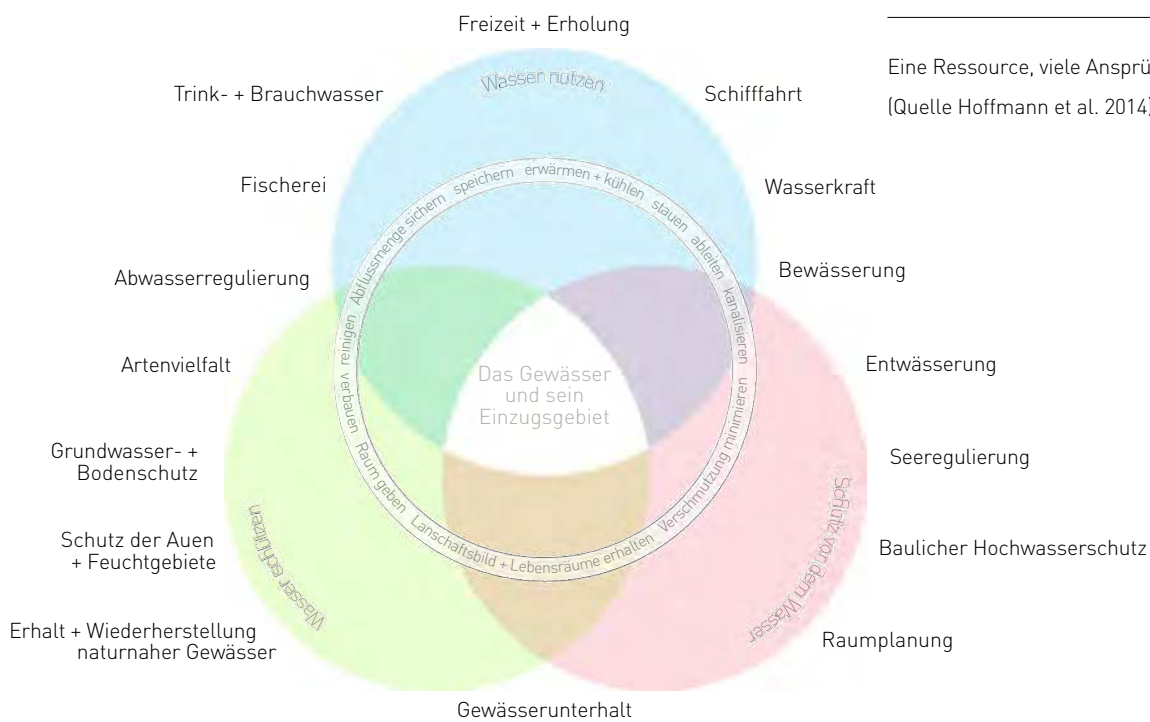
Integrale Betrachtung

Ziel einer integralen Wasserwirtschaft ist es, Nutzungsansprüche aller Art in Einklang zu bringen mit den ökologischen Funktionen der Gewässer und dem Hochwasserschutz (BAFU 2012). Viele wasserwirtschaftliche Zielkonflikte entspringen daraus, dass die Gesellschaft in den vergangenen 200 Jahren viel zu intensiv in den natürlichen Lauf des Wassers eingegriffen hat. Anders als damals ist heute klar, dass kanalisierte und begradigte Flüsse weder eine artenreiche Lebensgemeinschaft erhalten können noch gegen Hochwasser sicher sind noch ein qualitativ gutes Grundwasser liefern. Unbestritten ist auch, dass für eine reiche Biodiver-

sität natürliche, weitgehend ungenutzte Ufer und für den Hochwasserschutz aufgeweitete Flussläufe unerlässlich sind. Die dafür notwendigen Räume stehen indessen nur sehr eingeschränkt zur Verfügung, da sie nach der Regulierung der Flüsse von anderen Nutzungen eingenommen wurden – seien es Verkehrswege, Siedlungen, Industriearale oder Ackerflächen. Diese Nutzungen sind nur zum Teil reversibel, und selbst wo sie es sind, sollen Enteignungen und Rückbauten vermieden werden («flächenlimitierter Gewässerschutz»).

Abb. 07-10

Eine Ressource, viele Ansprüche
(Quelle Hoffmann et al. 2014)



Als Ausweg lässt sich mitunter eine ganze Flusslandschaft mittelfristig funktionell neu ordnen, Ackerflächen umlegen, Retentionsräume schaffen, freie Ufer gestalten (siehe 3. Rhonekorrektur, Kanton Wallis 2015). Auf lange Sicht – über zwei oder drei Generationen – dürfte dies aber nicht genügen, gerade angesichts verstärkter Hochwassergefahr. Ein guter Teil der den Flüssen einst abgerungenen Flächen wird ihnen zurückgegeben werden müssen. Die Kosten dafür hat die Gesellschaft als Ganzes zu tragen, denn sie hat auch den Nutzen davon (intakte Gewässerökologie, besserer Hochwasserschutz, einwandfreies Trinkwasser, mehr wassernahe Erholungsräume, ästhetische Flusslandschaften). Definiert man langfristige Ziele und legt man den räumlichen Aushandlungsprozess Generationen übergreifend an, lassen sich Zielkonflikte zeitlich strecken und entschärfen.

Unvereinbare Ansprüche

Zeitgleich erhöhen Klimawandel sowie Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum den Druck auf die Gewässer. Bereits heute gibt es in der Wasserwirtschaft Zielkonflikte, bei denen zwei oder mehr unverzichtbare Aktivitäten unvereinbar aufeinandertreffen (z.B. Trinkwasserversorgung vs. Hochwasserschutz). Vordergründig ergibt sich dann das Dilemma, zwischen Gewässerschutz und Gewässernutzung entscheiden zu müssen. Aus grösserem Abstand betrachtet zeugen diese Fälle indessen von einer übermässig stark in Anspruch genommenen Landschaft, in der nicht mehr alle Ansprüche gleichzeitig erfüllen werden können. Die räumliche Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat unbemerkt und sukzessive die landschaftlich gegebenen Grenzen überschritten.

In dieser Situation ist abzuwägen, wo ggf. eine Neubewertung von Schutz- und Nutzungszielen erforderlich ist. Unbestritten ist, dass das Pendel dort zugunsten des Gewässerschutzes ausschlagen sollte, wo Synergien mit dem Hochwasserschutz möglich sind. Aufgeweitete Flüsse verbessern zugleich den Hochwasserschutz und die Gewässerökologie, und sie geniessen breite gesellschaftliche Unterstützung.

Nach der letzten Intervention des Volkes im Gewässerschutz (Initiative «Lebendiges Wasser» 2006) kamen 2018 zwei Volksinitiativen zustande – die Initiative für sauberes Trinkwasser und gesunde Nahrung (Trinkwasser-Initiative) und die Initiative für eine Schweiz ohne synthetische Pestizide. Der Bundesrat hat beide Initiativen ohne Gegenvorschlag zurückgewiesen, möchte aber Anliegen daraus in ein Massnahmenpaket zur Agrarpolitik AP22+ einbringen. Diese Initiativen (oder allfällige parlamentarische Aktivitäten) könnten zu einer deutlichen Verschiebung der Gewässerschutzakzente führen – insbesondere was den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und den Austrag von Gülle angeht.

7.5. Potenzielle Lösungsansätze

Mit dem Aktionsplan zur Anpassung an den Klimawandel (Bundesrat 2014) hat der Bundesrat Massnahmen benannt, um Risiken zu minimieren und die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu verbessern, aber auch allfällige Chancen des Klimawandels zu nutzen. Für den Gewässerschutz sind folgende Massnahmen relevant:

- Massnahmen zur Verbesserung der Wissensgrundlage:
dies betrifft auch die Wasserwirtschaft, denn bei der Nutzung der Gewässer (wer entnimmt wieviel Wasser und für welchen Zweck) bestehen grosse Wissenslücken

- Massnahmen zur Sicherung der Gewässerqualität:
Überprüfung der Einleitbedingungen von Kläranlagen
bei verminderten Wassermengen in Fliessgewässern
- Evaluierung und Aktivierung des Nutzungs- und Speicherpotenzials
von künstlichen und natürlichen Seen
- Robustheit von Seen gegen Wasserentnahmen
- Robustheit von Grundwasser gegen Wasserentnahmen

Zusätzliche Massnahmen

- Mengenmässige Bewirtschaftung:
Prüfen, ob Entnahmekonzessionen auch zukünftig den nachhaltig
nutzbaren Mengen entsprechen (vor allem Grundwasser, Seen)
Abstimmung von Nutzungen aufeinander
- Qualität:
Vermehrter Rückhalt von Mikroverunreinigungen
an der Quelle als zweites Standbein neben dem Ausbau der Klär-
anlagen (Spitäler, Teilstrombehandlung Industrie und Gewerbe, Pflanzenschutzmittel,
Hausanschlüsse Kanalisation, Bauzusatzstoffe, Haushaltschemikalien)
- Integrierte Planung:
Gewässerschutzplanung als umfassende Landschafts- und Raum-
planung (verstärktes Zusammenführen von Nutzungen, Gewässerschutz und Hoch-
wasserschutz in einem Verfahren)
Nutzung von Synergien bei Revitalisierung und Hochwasserschutz
- Raumplanerischer Gewässerschutz:
Bei künftigen Nutzungsänderungen systematisch prüfen,
ob im gleichen Zug der Druck auf den Gewässerraum reduziert wer-
den kann (z.B. bei Aufgabe von ufernahen und hochwasserexponierten Nutzungen in
Industrie oder Landwirtschaft)
- Revitalisierung:
Ziele evaluieren unter Klimawandelbedingungen
Dämpfung von Klimafolgen (feuchtere Landschaft und abwechslungsreichere
Fliessgewässer können die Resilienz gegen Erwärmung und Niedrigwasser erhöhen,
Ufervegetation verbessert Beschattung)
- Trockenheit:
prüfen, ob die Gewässer mit zusätzlichen Massnahmen besser
gegen längere Trockenheit geschützt werden können
(naturnahe Hydromorphologie, frühzeitige Entnahmebegrenzung)

7.6. Wissenslücken/ Forschungsbedarf

Generell sind Wissenschaft, Behörden und Politik damit konfrontiert, dass in Gewässern der Ablauf von Naturprozessen, bei denen bisher auf Erfahrungswerte aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden konnte, markanten Veränderungen unterworfen ist. Viele für die Gewässerökologie massgebliche Faktoren werden durch steigende Temperaturen und neue Niederschlagsmuster, aber auch durch sich allmählich adaptierende Vegetation und Bodenmikrobiologie verändert (Benateau et al. 2019). Diese Situation erfordert verstärkte Forschungsanstrengungen, damit die Folgen für die Gewässer frühzeitig abgeschätzt und entsprechende Konsequenzen für Schutz und Bewirtschaftung gezogen werden können. Als Voraussetzung für eine optimale Bewirtschaftung sollten ausserdem bestehende Wissenslücken bei der Wasserverwendung geschlossen werden (Mengen und Verwendungszweck Eigenwasserversorgung, Mengen und Zweck von Bewässerungen, Wärmenutzung, Kühlung). Auch bei den Inhaltsstoffen industriellen und gewerblichen Abwassers sollte das verfügbare Wissen für einen optimalen Gewässerschutz ausgebaut werden.

Abb. 07-11

Mit dem Klimawandel sind die Gewässer grossen Veränderungen unterworfen, auf die Politik und Gesellschaft reagieren müssen: Emme bei Schalunen im Oktober 2018 (Quelle: Klaus Lanz)



7.7 **Literatur**

Alexander, T. J. et al. (2017)

[Does eutrophication-driven evolution change aquatic ecosystems?](#)

Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 372(1712), 20160041, 10 Seiten

Alexander, T. J. et al. (2018)

[Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Vierwaldstättersee](#)

Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum, 15 Seiten

Auckenthaler, A. et al. (2017)

[Auswirkungen des Klimawandels – Wasserhaushalt, Landwirtschaft und Fischerei – Situation im Kanton Basel-Landschaft](#)

Aqua & Gas No. 6, Seiten 52 – 60

AWA (2017)

[Schutz der letzten natürlichen Quelllebensräume](#)

AWA Fakten «Zustand der Gewässer – 2015 und 2016 Schwerpunkt Berner Jura/Seeland»

Amt für Wasser und Abfall Kanton Bern, Seiten 31 – 32

BAFU (2012)

[Einzugsgebietsmanagement – Anleitung für die Praxis zur integralen Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz](#)

Bern

BAFU (2016a)

Mikroverunreinigungen:

[Startschuss zum Ausbau der Kläranlagen](#)

BAFU-Dossier, Bern

BAFU (2016b)

[Rückläufige Fangerträge: Die Berufsfischerei steht unter Druck](#)

Dossier, Bern

BAFU (Hrsg. 2018)

[Revitalisierung Seeufer – Strategische Planung](#)

Modul der Vollzugshilfe zur Renaturierung der Gewässer Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1834, 44 Seiten

BAFU (2019)

[Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG: Stand Ende 2018 und Entwicklung seit Ende 2016](#)

Bern, 14 Seiten

BAFU (Hrsg. 2019)

[Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz](#)

Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016
Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901, 138 Seiten

BAFU et al. (Hrsg. 2019)

[Hitze und Trockenheit im Sommer 2018](#)

Auswirkungen auf Mensch und Umwelt
Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909, 91 Seiten

BPUK, LDK, BAFU, ARE, BLW (Hrsg. 2019)

[Gewässerraum](#)

Modulare Arbeitshilfe zur Festlegung und Nutzung des Gewässerraums in der Schweiz

Benateau, S. et al. (2019)

[Climate change and freshwater ecosystems – Impacts on water quality and ecological status](#)

Bericht im Auftrag des BAFU, 110 Seiten

Bucheli, M. (2018)

[«Beim Grundwasser ist die Vorsorge essenziell.»](#)

Interview mit Daniel Hunkeler, Universität Neuchâtel Aqua & Gas No. 4, Seiten 10 – 13

Bundeskanzlei (o. J.)

[Volksabstimmung vom 17.05.1992](#)

Bundesrat (1875)

[Bundesgesetz über die Fischerei in der Fassung vom 18.09.1875](#)

Bundesrat (1953)

[Botschaft des Bundesrates an die Bundesversammlung](#)

über die Aufnahme eines Artikels 24quater in die Bundesverfassung
(Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung), Bern

Bundesrat (1955)

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vor Verunreinigung vom 16.03.1955, Bern

Bundesrat (1967)

[Bundesbeschluss über das Zustandekommen des Volksbegehrens](#)

für den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung vom 6. Oktober 1971

Bundesrat (1970)

[Botschaft des Bundesrates an die Bundesversammlung](#)

zu einem neuen Gewässerschutzgesetz und Bericht zum Volksbegehren für den Gewässerschutz vom 26. August 1970

Bundesrat (1971)

[Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung \(Gewässerschutzgesetz\) vom 6. Oktober 1971](#)

Bundesrat (1981)

[Verordnung über umweltgefährdende Stoffe](#)

(Stoffverordnung, StoV)

Bundesrat (2007)

[Botschaft zur Volksinitiative «Lebendiges Wasser \(Renaturierungs-Initiative\)»](#)

vom 27. Juni 2007

Bundesrat (2014)

[Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz](#)

Aktionsplan des Bundesrates, Bern. 102 Seiten

Bundesrat (2017)

[Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln](#)

Bericht des Bundesrates, Bern, 78 Seiten

Bundesrat (2019)

[Änderung der Gewässerschutzverordnung vom 17.04.2019](#)

Diem, S. et al. (2013)

NOM degradation during river infiltration: Effects of the climate variables temperature and discharge
Water Research 47 (17), Seiten 6585 – 6595.

Gaudard, A. et al. (2017)

[Impacts of using lakes and rivers for extraction and disposal of heat](#)

WIREs Water 2018

Gemeindeverband Sempachersee (2013)

[Unser Wasser – unser Sempachersee](#)

Informationsbroschüre, 32 Seiten

Häne, S. (2019)

[Grüne Offensive gestoppt – nicht mehr Geld für Gewässerschutz](#)

Tages-Anzeiger vom 05.12.2019

Hettich, P. et al. (2016) Kommentar zu Art. 6 GSchG In: Hettich, P. et al. (Hrsg.)

Kommentar zum Gewässerschutzgesetz und Wasserbaugesetz, Zürich

Hoffmann, S. et al. (2014)

[Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz](#)

Synthesebericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern

Hug, R. et al. (2017)

[Gutes Wasser für morgen – Regionale Wasserversorgungsplanung im Kanton Solothurn am Beispiel Olten Gösgen](#)

Aqua & Gas, No. 6, Seiten 44 – 51

Hunkeler, D. et al. (2014)

[Klimaeinflüsse auf Grundwassermengen](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 42 – 49

Kanton Wallis (2015)

[Synthesebericht GP-R3, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt](#)

Sion, 96 Seiten

Lanz, K. (2016)

[Wasser im Engadin – Nutzung, Ökologie, Konflikte](#)

Studie im Auftrag des WWF, 95 Seiten

NCCS (2018)

[CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland](#)

Technical Report, National Centre for Climate Services, Zürich, 271 Seiten

Reist, V. et al. (2019)

[Nutzungskonflikte bei Trinkwasserfassungen – Umfragen unter SVGW-Wasserversorgern](#)

Aqua & Gas No. 6, Seiten 44 – 49

Rösch, A. et al. (2019)

[Geringe Konzentrationen mit grosser Wirkung](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 54 – 66

Ruch, A. (2016) Artikel 43 GSchG

In: Hettich, P. et al. (Hrsg.):

[Kommentar zum Gewässerschutzgesetz und Wasserbaugesetz](#)

Zürich

SBFV (2017)

[Akteur-Statement des Schweizerischen Berufsfischerverbandes](#)

Schmid, F. et al. (2016)

[Schwall und Sunk in der Schweiz](#)

Tagungsband zur WA 21-Fachtagung «Sanierung der Auswirkungen von Schwall und Sunk»

27.-29.10.2016, Seiten 13 – 18

Seitz, N. (2013)

[Drainagen in der Schweiz](#)

Masterarbeit WSL, Birmendorf, 131 Seiten

SFV/FSP (2019)

[Zulassungsbehörden für Pestizide geraten in die Kritik](#)

Medienmitteilung des Schweizerischen Fischereiverbands vom 21.11.2019, Bern

SFV/FSP (Hrsg. 2019) 2woizrsa

[Massnahmenkonzept Hitzesommer und Fischerei](#)

Bern, 20 Seiten

Spycher, S. et al. (2019)

[Anhaltend hohe Pestizidbelastung in Bächen](#)

Aqua & Gas No. 4, Seiten 14 – 25

Staub, E. et al. (2016)

[Sauberes Wasser – genug Nahrung für die Fische – Erhaltung der Berufsfischerei](#)

Studie im Auftrag des Schweizerischen Berufsfischerverbandes, 29 Seiten

Steinsberger, E. et al. (2017)

[Organic carbon mass accumulation rate regulates the flux of reduced substances from the sediments of deep lakes](#)

Biogeosciences; Vol. 14, Seiten 3275 – 3285

SVGW (2020)

Statistische Erhebungen der Wasserversorgungen in der Schweiz, Betriebsjahr 2018

Information W 15 001, Zürich, 94 Seiten

Kapitel 8 **Siedlungsentwässerung**



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Petra Schmocker-Fackel

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto AVA Altenrhein, Europas erste Kläranlage mit Ozon- und Aktivkohlestufe

© AVA Altenrhein 2019

Fachliche Begleitung **Reto Battaglia** AWA BE, **Stefan Hasler** VSA, **Philipp Stauffer** AfU SO, **Rahel Waldvogel**

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Visuelle Gestaltung und Layout **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

8 Siedlungsentwässerung

Inhaltsverzeichnis

- 8.1 Flächendeckende Abwasserbeseitigung und Siedlungsentwässerung
- 8.2 Einfluss der Siedlungsentwässerung auf die Gewässer
 - 8.2.1 Städte als Quelle von Schadstoffen
 - 8.2.2 Städte im Landschaftswasserhaushalt
- 8.3 Die Zukunft
 - 8.3.1 Auswirkungen des Klimawandels
 - 8.3.2 Sozioökonomische Veränderungen
- 8.4 Zielkonflikte und Synergien
- 8.5 Potenzielle Lösungsansätze
- 8.6. Wissenslücken/ Forschungsbedarf
- 8.7 Literatur

Die Siedlungsentwässerung muss künftig häufigere Starkregen bewältigen können, zugleich aber einer Austrocknung und Überhitzung der Städte vorbeugen

In der Schweiz sind 97% aller Einwohner an eine Kanalisation angeschlossen. Praktisch das gesamte häusliche Abwasser wird einer modernen Abwasserreinigung unterzogen, bevor es in die Gewässer entlassen wird. Der Klimawandel wird dazu führen, dass bei zeitweise verminderten Abflüssen der Anteil von ARA-Abläufen in den Gewässern zunimmt. Schon heute befinden sich unerwünschte Mikroverunreinigungen in den Gewässern, gefährden das aquatische Leben und können sogar bis an Trinkwasserbrunnen vordringen. Um einer Zunahme solcher Belastungen vorzubeugen, wurde die Ausrüstung von etwa 130 grossen Kläranlagen mit zusätzlichen Reinigungsstufen bis 2040 in die Wege geleitet. Ein zweiter wichtiger Eintragspfad für Schadstoffe sind Starkregenereignisse, bei denen die städtische Kanalisation überläuft (sogenannte Mischwasserentlastung). Da klimawandelbedingt mit häufigeren und intensiveren Starkregen gerechnet werden muss, sollen Mischwasserentlastungen durch punktuellen Ausbau von Rückhaltebecken sowie eine anhand von Rechenmodellen optimierte Kanalbewirtschaftung möglichst vermieden werden. Schliesslich soll die Siedlungsentwässerung Regenwasser zunehmend in den Städten zurückhalten, um den Abfluss bei Starkregenereignissen abzupuffern. Eine solche verstärkte Speicherung z.B. in offenen Gewässern oder Gründächern kann dazu beitragen, die übermässige Erwärmung des urbanen Raums in Hitzephasen einzudämmen (Hitzeinseleffekt).

Résumé chapitre 8 évacuation des eaux urbaines

En Suisse, 97% de tous les habitants sont raccordés à un réseau d'égouts. Pratiquement toutes les eaux usées domestiques sont soumises à un traitement moderne avant d'être rejetées dans les cours d'eau. Durant les périodes de débits réduits dans des cours d'eau, conséquence du changement climatique, la proportion des effluents provenant des STEP va augmenter. Des micropolluants indésirables sont déjà présents dans les eaux aujourd'hui, mettant en danger la vie aquatique et peuvent même atteindre les puits d'eau potable. Afin de prévenir une augmentation de cette pollution, quelque 130 grosses stations d'épuration vont être équipées d'une étape de traitement supplémentaire jusqu'en 2040. Les fortes précipitations constituent une deuxième voie d'entrée importante pour les polluants, lorsque le réseau d'assainissement urbain déborde (ce qu'on appelle le déversements d'eaux mélangées). Le changement climatique va entraîner des pluies plus fréquentes et

plus intenses. Les déversements d'eaux mélangées doivent être évités autant que possible par un agrandissement de certains bassins de rétention, ainsi que par un système de gestion des réseaux optimisé au moyen de modélisations informatiques. Enfin, les systèmes d'évacuation des eaux urbaines devraient retenir davantage les eaux de pluie dans les villes afin d'amortir (effet tampon) le ruissellement lors des fortes pluies. Ce stockage accru, par exemple dans des plans d'eau ouverts ou des toitures végétalisées, peut aider à contenir le réchauffement excessif des zones urbaines pendant les périodes de chaleur (effet d'îlot de chaleur).

Riassunto capitolo 8 smaltimento delle acque urbane

In Svizzera, il 97% degli abitanti è collegato a una rete fognaria. Praticamente tutte le acque reflue domestiche vengono sottoposte a un trattamento moderno delle acque reflue prima di essere immesse nei corsi d'acqua. Il cambiamento climatico porterà ad un aumento della percentuale del deflusso dalle stazioni di depurazione nei corsi d'acqua con portate temporaneamente ridotte. Microinquinanti indesiderati sono già oggi presenti nei corpi idrici, mettendo in pericolo la vita acquatica e possono persino raggiungere i pozzi d'acqua potabile. Per evitare un aumento di tale inquinamento, circa 130 grandi impianti di depurazione delle acque reflue saranno dotati di ulteriori fasi di depurazione entro il 2040. Un secondo importante percorso di immissione di sostanze inquinanti è rappresentato dalle forti precipitazioni, durante le quali la rete fognaria urbana trabocca (scarico delle acque usate miste). Poiché a causa dei cambiamenti climatici sono previste piogge più frequenti e più intense, è necessario evitare per quanto possibile lo scarico delle acque usate miste grazie all'espansione selettiva dei bacini di ritenzione e alla gestione ottimizzata delle fognature sulla base di modelli di calcolo. Infine, i sistemi di drenaggio urbano dovrebbero trattenere in misura crescente l'acqua piovana nelle città, al fine di tamponare il deflusso durante i periodi di forti piogge. Tale maggiore stoccaggio, ad esempio in corpi d'acqua aperti o tetti verdi, può contribuire a contenere l'eccessivo riscaldamento delle aree urbane durante i periodi caldi (effetto isola di calore).

8 Siedlungsentwässerung

8.1 Flächendeckende Abwasserbeseitigung und Siedlungsentwässerung

Über 97% der Haushalte in der Schweiz sind an die öffentliche Kanalisation angeschlossen. Auch Gewerbe und Industrie leiten ihr Abwasser mit wenigen Ausnahmen in die öffentliche Kanalisation ein (Braun et al. 2014). (Einzelne grosse Industriebetriebe haben eigene Kläranlagen. Einzelheiten zu direkten und indirekten Einleitungen siehe Kapitel 2). Das öffentliche Abwassernetz umfasst circa 49 000 km Kanalisation, die das Schmutzwasser zu rund 4 000 Kläranlagen transportieren (VSA/KI 2011). Hinzu kommen weitere rund 42 000 km an privaten Liegenschaftsentwässerungen, welche die Gebäude mit der öffentlichen Kanalisation verbinden (Maurer et al. 2006).

Sämtliche in Mischkanalisationen gefassten Abwasserströme werden in Abwasserreinigungsanlagen (ARA) geführt und dort gereinigt. Derzeit werden jährlich etwa 1 700 Mio. m³ Abwasser in ARAs behandelt. Dies entspricht täglich etwa 650 Liter pro Einwohner, wovon aber nur 142 Liter auf den häuslichen Konsum entfallen. Die Mehrheit des behandelten Wassers (rund 55%) besteht aus über die Kanalisation abgeführten Niederschlägen (von Dächern, befestigten Flächen und Strassen) und sogenanntem Fremdwasser – Wasser aus Brunnen, Bächen, Drainagen sowie in die Kanalisation eindringendem Grundwasser. Das verbleibende Drittel ist Abwasser von Industrie und Gewerbe (Maurer et al. 2012).

Mehr als 97% des kommunalen Abwassers wird gesammelt und behandelt (circa 2% fallen in ländlichen Gebieten an, wo eine zentrale Abwassersammlung nicht sinnvoll ist). Nach der Behandlung wird das gereinigte Abwasser gemäss ARA-Datenbank des BAFU (Stand 2018) zu 88.3% in Flüsse und zu 11.7% in Seen eingeleitet.

Neben dem eigentlichen Schmutzwasser, das in Haushalten, öffentlichen Gebäuden, Büros, Gewerbe und Industrie anfällt, muss in Siedlungen auch das Meteorwasser gesammelt und abgeführt werden. Je höher der Anteil der durch Bebauung und Verkehrswege versiegelten Oberflächen, desto mehr Niederschlag muss gefasst werden. Das oberflächlich ablaufende Niederschlagswasser gelangt in der Schweiz auf 70% der Siedlungsfläche über Mischkanalisationen in eine Kläranlage, auf 30% der Fläche mittels einer separaten Regenwasserkanalisation direkt in Oberflächengewässer (Trennkanalisation) (Staufner et al. 2012).

Der ausserhalb von Siedlungen auf Strassen und Bahntrassees niedergehende Regen ist nicht Gegenstand dieses Kapitels. Strassenabwässer

werden meist über die Schulter versickert oder in nahe gelegene Oberflächengewässer geleitet. Bei stark belasteten Nationalstrassenabschnitten kommen Strassenabwasserbehandlungsanlagen (SABA) zum Einsatz (Astra o. J.). Bahntrassees müssen schon aus Sicherheitsgründen gut drainiert sein, der Umweltaspekt wurde durch die Richtlinie «Entwässerung von Eisenbahnanlagen» berücksichtigt (BAV/BAFU 2014).

8.2 Einfluss der Siedlungsentwässerung auf die Gewässer

8.2.1 Städte als Quelle von Schadstoffen

Reststoffe aus Abwasserreinigungsanlagen

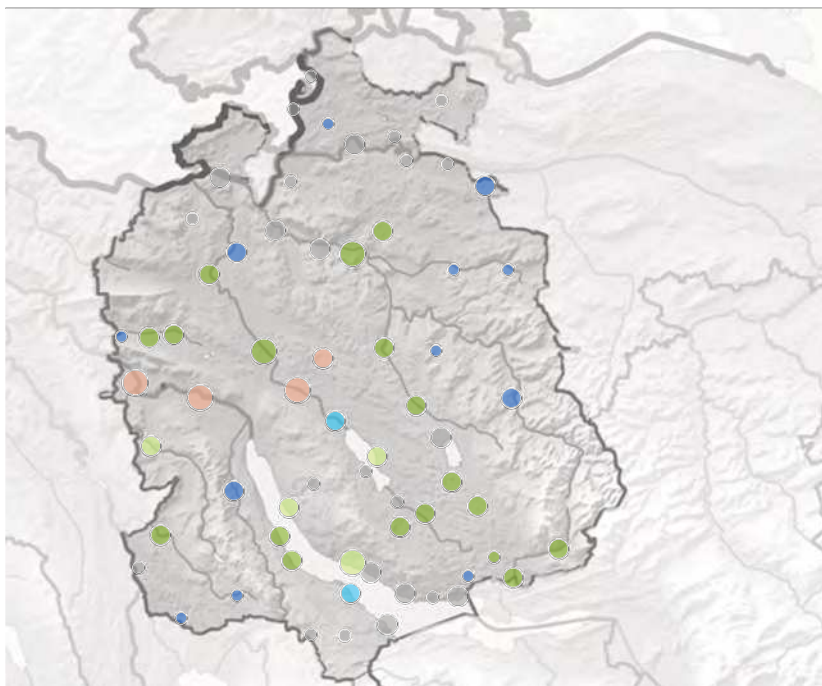
Auch nach der Behandlung in den ARAs ist das gereinigte Wasser nicht gänzlich frei von potenziell schädlichen Stoffen. Hierbei sind insbesondere organische Mikroverunreinigungen von Belang. Darunter versteht man Rückstände schwer abbaubarer (persistenter) Chemikalien aus verschiedensten Anwendungen in Haushalten, Gewerbe und Industrie. Diese werden bei der Einleitung in die Gewässer zwar verdünnt, können aber trotzdem die Gewässerökologie und andere Nutzungen flussabwärts beeinträchtigen (siehe 8.3.2). Je kleiner das aufnehmende Gewässer und je höher der Anteil an Abwasser, desto grösser ist das Konfliktpotenzial. Ausschlaggebend für die Bewertung ist der Abwasseranteil während der abflussärmsten Situationen (Q₃₄₇).

2014 wurde eine Ergänzung der Kläranlagentechnik um weitere Reinigungsstufen beschlossen, weil so die Konzentration vieler Abwasserinhaltsstoffe deutlich herabgesetzt werden kann. Der Fokus liegt dabei auf rund 130 Kläranlagen, die die grössten Effekte bei der Verbesserung von Gewässerökologie und Trinkwasserqualität versprechen: erstens sehr grosse Kläranlagen (mehr als 80 000 angeschlossene Einwohnerinnen und Einwohner, Kriterium 1), zweitens solche im Einzugsgebiet von Seen (bei mehr als 24 000 Einwohnerinnen und Einwohnern, Kriterium 2). Weiter sollen ARAs aufgerüstet werden, die im Fließgewässer einen Abwasseranteil von mehr als 10 Prozent verursachen (mehr als 8 000 Einwohnerinnen und Einwohner, Kriterium 3). Die Finanzierung erfolgt zu 75% durch eine Umlage auf alle an ARAs angeschlossenen Einwohner von CHF 9 pro Jahr. Abb. 08-01 zeigt am Beispiel des Kantons Zürich, in welchen Zeiträumen der ARA-Ausbau bewältigt werden soll. Ab 2028 werden zusätzliche Reinigungsstufen auch für kleinere Kläranlagen (ab 1 000 Einwohner) Pflicht, sofern sie in ökologisch sensiblen Gebieten liegen oder in für die Trinkwasserversorgung wichtige Gewässer einleiten (Bundesrat 2019).

Abb. 08-01

Geplanter Ausbau der Kläranlagen
im Kanton Zürich
(AWEL 2019, DHM25/200,
Swiss Boundaries © Swisstopo)
Zeitliche Staffelung Ausbau

- 1. Etappe bis 2025 ■
 - 2. Etappe 2025 – 2030 ■
 - 3. Etappe 2030 – 2035 ■
 - Entscheid Ausbau ab 2021 ■
 - MV-Stufe in Betrieb ■
 - ARA wird nicht aufgerüstet ■
- Ausbaugrösse
- über 50 000 Einwohner ○
 - 10 000 – 50 000 Einwohner ○
 - 1 000 – 10 000 Einwohner ○



Stoffeinträge mit dem Meteorwasser

Niederschläge, die auf Dächer, Terrassen, Hauseinfahrten, Trottoirs, Strassen, Parkplätze und Industrieareale niedergehen, nehmen von diesen versiegelten Flächen Stoffe mit, die in Gewässern unerwünscht sind. So sind viele Fassadenputze heute mit herbiziden Wirkstoffen ausgerüstet, um Algenbewuchs zu verhindern. Bei Bitumenbahnen auf begrüntem Flachdächern kommen Herbizide als Durchwurzelungsschutz zum Einsatz. Hinzu kommen Pestizide, die auf Vorplätzen, Hauseinfahrten oder anderen befestigten Flächen angewendet werden. Der Abrieb von Reifen, Bremsen oder Kupplungen sammelt sich ebenfalls im städtischen Strassenabwasser. In Städten mit Mischkanalisation gelangen die von Oberflächen abgewaschenen Schadstoffe in die kommunale ARA. In Siedlungen mit Trennkanalisation gelangen sie in der Regel ohne Behandlung in den nächsten Bach oder Fluss.

Gemäss Gewässerschutzgesetz gilt verschmutztes Niederschlagswasser als Abwasser und muss behandelt werden, bevor es in die Umwelt entlassen wird (Art. 6 Abs.1 und Art. 7 Abs. 1 GschG). Eine Versickerung über bepflanzte Böden hält die meisten Schadstoffe zurück, doch stehen in urbanen Gebieten keine ausreichenden Vegetationsflächen zur Verfügung. Eine andere Möglichkeit, verschmutztem Regenwasser vor der Versickerung Schadstoffe zu entziehen, sind Adsorbersysteme. Erste Pilotanlagen sind bereits in Betrieb (Burkhardt et al. 2017). Allerdings ist eine Einrichtung solcher Regenwasserbehandlungen meist nur bei Neubauprojekten wirtschaftlich durchführbar.

Mischwasserentlastung

Fällt in kurzer Zeit eine grosse Regenmenge, etwas bei einem Sommergewitter, kann dies in Siedlungsgebieten mit Mischkanalisation (70% der Siedlungsfläche) zu einer hydraulischen Überlastung des Abwassersystems

führen. Die Kanalisation kann dann den Regen kurzzeitig nicht mehr fassen, das überschüssige Wasser fließt zunächst in Überlaufbecken und, wenn auch diese gefüllt sind, in Oberflächengewässer (Mischwasserentlastung). Dabei gelangt auch Schmutzwasser aus der Kanalisation unbehandelt in Flüsse und Seen, pro Jahr schätzungsweise 3.5% des häuslichen Abwassers (Staufer et al. 2012). Dies bedeutet einerseits eine Belastung der Gewässerökologie, andererseits sind betroffene Fluss- oder Seeufer zeitweise hygienisch nicht mehr als Badegewässer geeignet (Maurer et al. 2012). Bei einer Trennkanalisation treten keine hygienischen Gewässerbelastungen auf, der Eintrag von Schadstoffen ist indessen vergleichbar (siehe Abschnitt «Stoffeinträge mit dem Meteorwasser»).

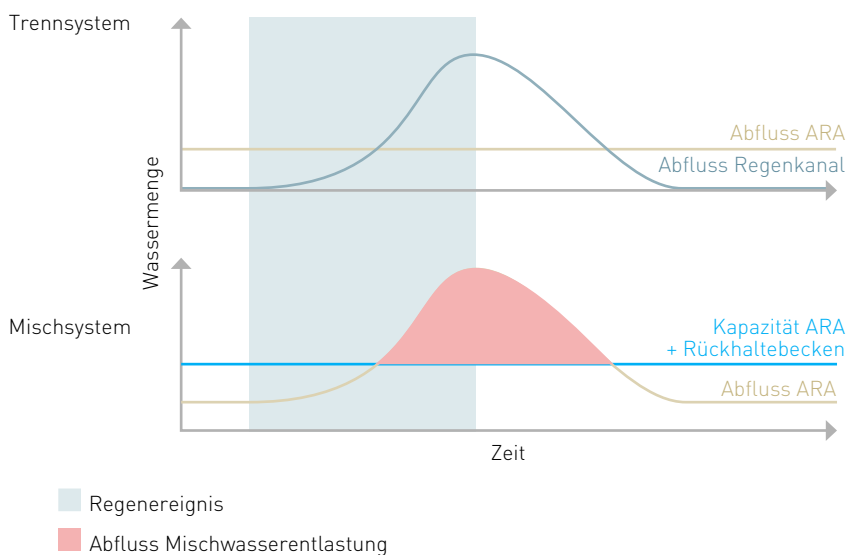


Abb. 08-02

Reaktion von Trenn- bzw. Mischsystem bei starken Regenfällen (Braun et al. 2015)

Urbane Stoffeinträge in das Grundwasser

Das Grundwasser unter bebauten Flächen ist stärker von Stoffeinträgen betroffen als in siedlungsfernen Gebieten. Zum einen können mit dem lokal versickernden Niederschlag z.B. Pestizide, Baustoffzusätze oder Rückstände aus dem Verkehr (Treib-, Schmier- und Zusatzstoffe) ins Grundwasser vordringen. Zum anderen gelangen Teile des Abwassers durch Lecks in der (privaten und öffentlichen) Kanalisation in den Untergrund und ins Grundwasser (siehe Abb. 08-03). Nach Schätzung der Kantone könnten bis zu 10% der im Abwasser enthaltenen Stoffe auf diesem Weg ins Grundwasser gelangen, in erster Linie über undichte Hausanschlüsse. Welchen Einfluss auf das Grundwasser und welchen Umfang diese Einträge haben, ist weitgehend unbekannt.

Abb. 08-03

Durch Risse in der Kanalisation kann Abwasser in den Untergrund gelangen, aber auch Wasser von aussen einsickern
(Quelle: Alexander Preobrajenski)



Einträge von Mikroverunreinigungen aus dem Siedlungsgebiet werden auch zukünftig eine Herausforderung darstellen, kommen doch immer neue Chemikalien und neue Anwendungen hinzu (Maurer et al. 2012). Der geplante Ausbau der Kläranlagen hilft, die Einträge aus den ARAs zu vermindern. Regenwasserbehandlungen können das urbane Grundwasser entlasten. Das Auftreten von Mischwasserentlastungen – wenn bei Starkregen ein Teil des Abwassers aus Mischwasserkanalisationen ungereinigt in die Flüsse gelangt – lässt sich entweder durch vermehrte Rückhaltungsmöglichkeiten vor der Einleitung (vSA 2019) oder durch optimierte Abflusssteuerung im Kanalsystem durch moderne Mess- und Regeltechnik begrenzen (Hopper et al. 2019). Gänzlich vermeiden liesse es sich allerdings nur mit unverhältnismässig hohem Aufwand.

Hydraulischer Stress für Gewässer

Bei Starkregen können schubweise Mischwasserentlastungen (Mischsystem) und Regenwassereinleitungen (Trennsystem) vor allem bei kleinen und mittleren Gewässern Erosion und die Abschwemmung von Lebewesen verursachen (hydraulischer Stress). Das Resultat ähnelt den Schwalloeffekten der Wasserkraftnutzung, ist allerdings weniger ausgeprägt (Maurer et al. 2012).

Wärmeeinträge aus Siedlungen

Urbane Abwasserströme sind durch die Warmwassernutzung von Haushalten, Büros und Gewerbe in der Regel deutlich wärmer als Leitungswasser. Ihre Temperatur schwankt je nach Jahreszeit zwischen 10° (Winter) und 20°C (Sommer). Daher trägt Abwasser im Winter zur Erwärmung der Gewässer bei, im Sommer ist der Einfluss geringer und eher kühlend, so dass keine negativen Folgen für die Gewässerökologie zu befürchten sind.

Probleme kann hingegen urbanes Meteorwasser bereiten. Wenn sich an heißen Sommertagen Dächer, Fassaden, Strassen und Plätze aufheizen und ein Gewitterregen folgt, beeinflusst das über Regenkanäle oder direkt abfliessende erwärmte Wasser die Temperatur von Bächen, Flüssen oder Seen. Eine plötzliche Erwärmung kann besonders für kälteliebende Organismen schädlich sein (Somers et al. 2012). Über die tatsächliche Bedeutung dieses Effekts für aquatische Lebewesen in Schweizer Gewässern ist noch wenig bekannt, er sollte aber angesichts steigender Wassertemperaturen beobachtet werden.

Misch- oder Trennkanalisation?

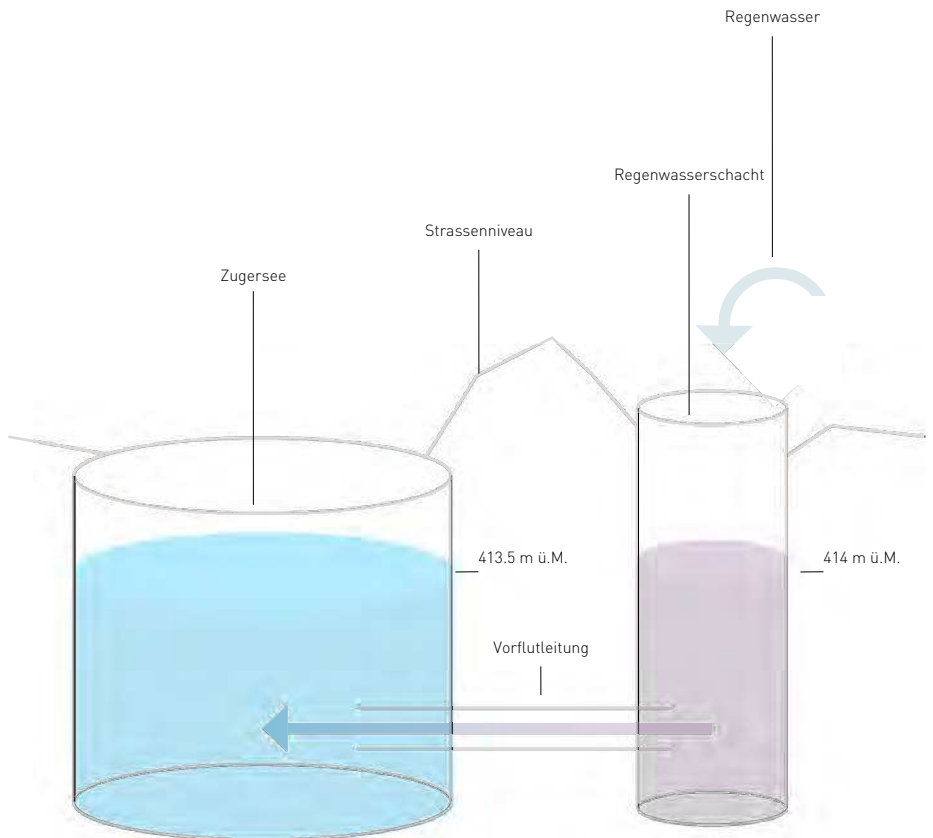
Die Abwasserinfrastruktur ist gebaut und hat eine Lebensdauer von vielen Jahrzehnten. Ein Wechsel von Misch- zu Trennkanalisation oder umgekehrt ist deshalb höchstens in sehr langen Zeiträumen machbar. Eine Wahl besteht in der Regel nur, wo ganze Quartiere neu erschlossen werden. Dabei wird in der Regel das Meteorwasser getrennt vom Schmutzwasser gefasst und versickert oder abgeleitet. Bei neuen Industriearealen hängt die Wahl des Systems davon ab, ob auf den befestigten Verkehrsflächen gefährliche Stoffe umgeschlagen werden. Ist dies der Fall, kommt eine direkte Ableitung des Regenwassers in Oberflächengewässer nicht in Frage – es sei denn, das Regenwasser wird zusätzlich behandelt (wie bei Flughäfen).

Ein Sonderfall ist die Stadt Zug, die sich wegen ihrer besonderen Lage und rasanten Stadtentwicklung zur Umstellung vom Misch- auf das Trennsystem gezwungen sah. Durch die ausserordentliche Vergrösserung der versiegelten Fläche in den vergangenen Jahrzehnten konnte die über 100 Jahre alte Mischkanalisation den Regen immer weniger fassen, so dass grosse Mengen ungereinigten Abwassers in den Zugersee gelangten. 1995 beschloss die Stadtverwaltung den Umbau zu einem Trennsystem. Über 60% des Systems sind heute mit einem eigenen Regenwasserkanal ausgestattet.

Mit dem Bau einer alle anderen städtischen Leitungen in rund acht Metern Tiefe untertunnelnden Vorflutleitung kann seit Ende 2018 der grösste Teil des Regenwassers in den See abgeführt werden (siehe Abb. 08-04). Das Regenwasser von den stark frequentierten Durchgangsstrassen mit seinem hohen Schadstoffanfall wird weiterhin über die Schmutzwasserkanalisation der Kläranlage zugeführt. Die Umstellung auf das Trennsystem hat allerdings ihren Preis: allein die Kosten für die neue Vorflutleitung beliefen sich auf CHF 19.5 Mio. (Talenta 2018).

Abb. 08-04

Die neue Vorflutleitung der Stadt Zug endet in 100 Meter Entfernung vom Ufer des Zugersees in etwa 18 Metern Tiefe. Das zwei Meter starke Betonrohr ist stets mit Wasser gefüllt, da es unter dem Wasserspiegel des Zugersees liegt (Quelle Stadt Zug)



8.2.2 Städte im Landschaftswasserhaushalt

Neben den in 8.2.1 skizzierten qualitativen Herausforderungen bringen urbane Gebiete auch tiefgreifende Veränderungen im natürlichen Wasserhaushalt mit sich. Ursprünglich konzentrierte sich die Siedlungsentwässerung darauf, das auf die versiegelten Flächen niedergehende Meteorwasser mit Hilfe von Drainagen, Kanälen und Dolen möglichst schnell aus dem Stadtgebiet zu transportieren und in das nächste grössere Gewässer abzuleiten. Der Abfluss von bebauten Arealen findet daher um ein Mehrfaches schneller statt als von unversiegelten Flächen oder Waldgebieten.

Abflussbeschleuniger und Trockeninseln

Der beschleunigte Abfluss aus urbanen Gebieten hat unerwünschte Folgen. Einerseits wirkt er sich auf die Wasserstände in den Fließgewässern aus und kann die Hochwassergefahr verstärken (Günthert et al. 2016). Andererseits sorgt er für eine rasche Entwässerung der urbanen Landschaft und zwar umso mehr, je grösser der Anteil versiegelter Flächen am Stadtgebiet ist. Dicht überbauten Flächen fehlt damit neben der natürlichen Vegetation auch das in Böden und Pflanzen gespeicherte Wasser und bei hohen Temperaturen dessen Kühlungseffekt. Dies trägt dazu bei, dass Städte sich an Hitzetagen wesentlich stärker aufheizen als ländliche Gebiete, die Differenz kann mehrere Grad Celsius betragen (Slingerland 2012) (siehe Abb. 08-05).

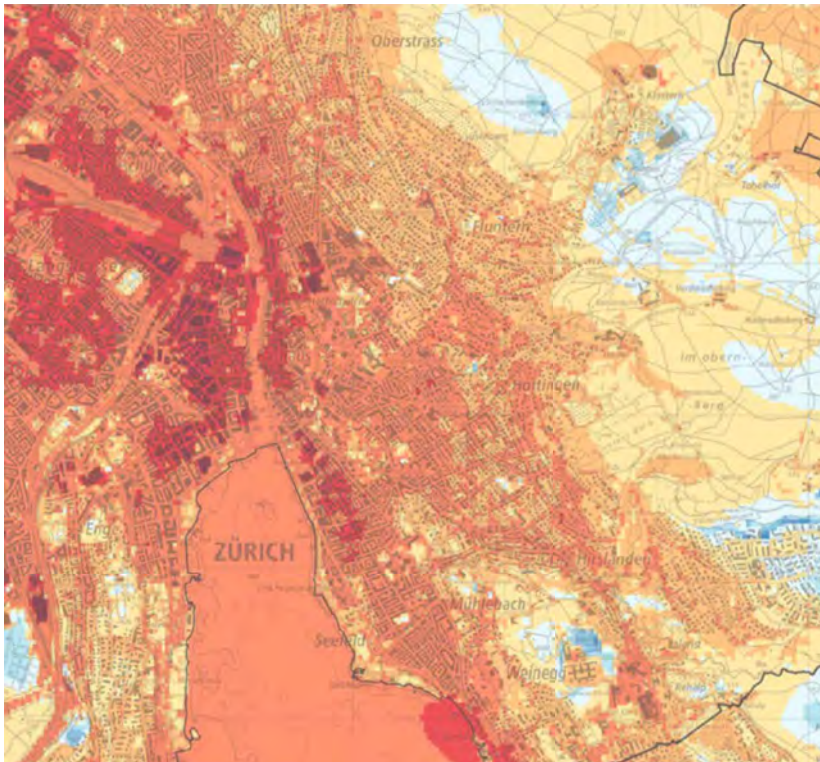
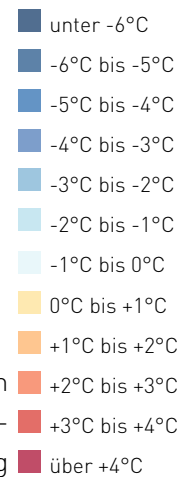


Abb. 08-05

Wärmeineleffekt im Grossraum Zürich:
modellierte Lufttemperatur morgens um 4 Uhr zwei
Meter über dem Boden.

Dargestellt ist die Temperaturabweichung von
einem angenommenen kantonalen Temperaturmittel
einer Sommernacht von 16.3°C (AWEL 2018)



Da mit dem Klimawandel sowohl intensivere Regenereignisse als auch längere Trockenphasen erwartet werden, erweitert sich die ursprüngliche Aufgabenstellung der Siedlungsentwässerung – die Vermeidung lokaler Schäden durch Meteorwasser – um die Ziele Hochwasserschutz flussabwärts und urbanes Klima. Dies bedeutet einen Paradigmenwechsel, denn dazu soll in Zukunft das Meteorwasser möglichst lange im Stadtgebiet zurückgehalten werden. Statt den Abfluss zu beschleunigen, müssen Rückhalte- und Speicherkapazitäten konzipiert werden. Für Stark- und Sturzregenereignisse müssen gleichwohl hohe Abflusskapazitäten bereitstehen. Diese Notentwässerung muss nicht unbedingt über eine Kanalisation erfolgen, möglich sind auch oberflächliche Abflusskorridore.

Es ergibt sich eine komplexe Aufgabenstellung für eine veränderte Stadtplanung, in die Stadtklima und Hochwasserschutz als neue Elemente integriert werden müssen. Viele Massnahmen können auf Ebene Gebäude oder Baumaterialien ergriffen werden, doch werden die Ziele mancherorts nicht ohne Vegetationsflächen und ohne eine Verminderung des Versiegelungsgrads erreicht werden können. Diese Aufgabe mit der derzeit angestrebten baulichen Verdichtung in Einklang zu bringen, wird eine stadtplanerische Herausforderung sein.

8.3 Die Zukunft

8.3.1 Auswirkungen des Klimawandels

Mit dem Klimawandel werden sich die Abfluss- und Temperaturverhältnisse in Fliessgewässern und Seen ändern. Dies hat potenziell auch Folgen für die Siedlungsentwässerung. Bei geringen Abflüssen steigt in den Flüssen der Anteil an gereinigtem Abwasser, zudem haben Abwasserleitungen bei höherer Flusstemperatur stärkere Auswirkungen auf die dortigen Lebewesen. Dies könnte Handlungsbedarf besonders bei Fliessgewässern mit hohem Abwasseranteil auslösen. Wenn die entsprechenden ARAs nicht mit zusätzlichen Reinigungsstufen ausgerüstet werden können, bietet sich der Anschluss an eine ARA mit besseren Durchmischungsverhältnissen an (Bucheli 2017). Dies bedeutet aber neue Abwassertransportleitungen mit hohen Kosten und ggf. erheblichen Eingriffen in ufernahe Bereiche.

Für die Siedlungsentwässerung ist überdies entscheidend, ob und in welchem Mass sich die Intensität und die Häufigkeit von Starkregen verändern werden. Denn je häufiger und heftiger solche Ereignisse auftreten, desto öfter kommt es zur Überlastung der Kanalisation und zur Einleitung unbehandelten Abwassers in die Gewässer (Mischwasserentlastung). Derzeit geht man davon aus, dass die in der Regel grosszügig bemessenen Kanalisationen nicht an intensivere Regenereignisse angepasst werden müssen. Punktuell ist aber ein Ausbau von Regenüberlaufbecken notwendig, um die Häufigkeit von Mischwasserentlastungen zu verringern. Zudem sollten Notabflusswege geschaffen werden, über die auch extreme Regenmengen schadlos oberflächlich abfliessen können.

Auch wenn die Flüsse Hochwasser führen, können Probleme für die Abwasserentsorgung entstehen. Es besteht dann die Gefahr, dass Flusswasser in die Überlaufschächte der Kanalisation drückt und einen Rückstau verursacht. Viele dieser Auslaufschächte sind daher mit Klappen versehen, die bei Hochwasser geschlossen werden können. Tritt aber gleichzeitig mit Hochwasser auch Starkregen auf, können sie ihrer Aufgabe, eine Überlastung von Kanälen und ARAs zu verhindern, nicht mehr gerecht werden. Steigen die Hochwassergefahr und ggf. die Höhe der Flusspegel, könnten Anpassungen der Auslaufbauwerke nötig werden.

Von höheren Temperaturen und Hitzewellen ist die Siedlungsentwässerung kaum in ihren Funktionen betroffen. Sie kann aber eine wichtige Rolle dabei spielen, einer übermässigen Aufheizung urbaner Gebiete vorzubeugen, indem Regenwasser in der Stadt zurückgehalten und in Vegetation und Böden gespeichert wird («sustainable urban design, SUDS»).

8.3.2 Sozioökonomische Veränderungen Urbane Verdichtung

Der Klimawandel legt nahe, dass Städte sich gegen Starkregen und Hitzewellen wappnen, indem sie genügende Vegetationsflächen für den Rückhalt von Bodenfeuchte freihalten oder gar offene Gewässer schaffen. Dem entgegen steht in der eng besiedelten Schweiz das Ziel eines möglichst flächenschonenden Siedlungswachstums, das ohne bauliche Verdichtung nicht erreicht werden kann. Mitunter kommt man beiden Zielen mit den gleichen Massnahmen näher, etwa weil die Zunahme an Flachdächern auch mehr begrünte Dachflächen erlaubt. Häufiger geht aber die Verdichtung mit dem Verlust von Vegetationsflächen und damit Versickerungspotenzial einher (Maurer et al. 2012).

Abb. 08-06



Verdichtetes Bauen bedeutet meist mehr Flachdächer und damit mehr Möglichkeiten für Dachbegrünung – und auch Photovoltaik (Quelle: Contec AG)

Bevölkerungswachstum

Gemäss den Prognosen des Bundesamts für Statistik wird die Bevölkerung der Schweiz in den kommenden Jahrzehnten weiterwachsen. Der Schwerpunkt liegt auf den ohnehin intensiv genutzten Landesteilen im Mittelland und den grossen Alpentälern, insbesondere den Städten. Die städtischen Kanalisationssysteme können einen solchen Bevölkerungszuwachs und einen ggf. höheren Wasserverbrauch ohne Probleme verkraften, denn Haushaltsabwasser macht keine 20% des Wassers in der Kanalisation aus (siehe 8.1). ARA-seitig hingegen könnte eine wesentlich grössere Schmutz- und Mischwassermenge einen Ausbau der Kapazitäten erforderlich machen.

Neue Mikroverunreinigungen

Die Systeme der Siedlungsentwässerung – Kanäle, Kläranlagen, Regenüberlaufbecken, Regenwasserbehandlung – sind teuer und langlebig und können nur allmählich an veränderte Bedingungen angepasst werden. So sind ARAs und Regenwasserbehandlungen auf die heute von Industrie, Gewerbe und Haushalten emittierten Chemikalien optimiert. Kommen neuartige Stoffe zum Einsatz, müssen die bestehenden Systeme auf ihre Wirksamkeit überprüft werden.

Das Spektrum der heute üblichen Chemikalien hat sich in den vergangenen 30 Jahren deutlich erweitert und immer neue Anwendungen greifen auf chemische Hilfsmittel zurück (Fassadenputze, Farben, Dachmaterialien, Fugenmassen, aber auch Inhaltsstoffe von Konsumprodukten, Haushaltstextilien oder Bekleidung). Offen ist auch, wie sich der Einsatz von Chemikalien in Industrie und Gewerbe in den nächsten Jahrzehnten entwickelt. Dies wird Abwasserreinigung, Regenwasserbewirtschaftung und Gewässerschutz vor immer neue Aufgaben stellen.

Dezentrale Konzepte

In entlegenen Dörfern oder ländlichen Streusiedlungen ist eine Sammlung und zentrale Behandlung von Abwasser wegen der grossen Kanalisationslänge mitunter weniger wirtschaftlich als dezentrale Abwasserkonzepte (Eggimann 2016). Als Alternative kommen moderne Kleinkläranlagen in Frage, deren Technik heute weit fortgeschritten ist. Besteht bereits eine Zentralkanalisation mit Anschluss an eine Kläranlage, ist der Umbau auf ein dezentrales System meist nur über längere Zeiträume realisierbar. Denn während der Umbauphase müssen die neuen Anlagen und die alte Infrastruktur gleichzeitig betrieben und finanziert werden. Für jeden Einzelfall muss daher eingehend geprüft werden, ob auf lange Sicht die Umstellung auf kleinere, dezentrale Einheiten wirtschaftlicher ist.

8.4 Zielkonflikte und Synergien

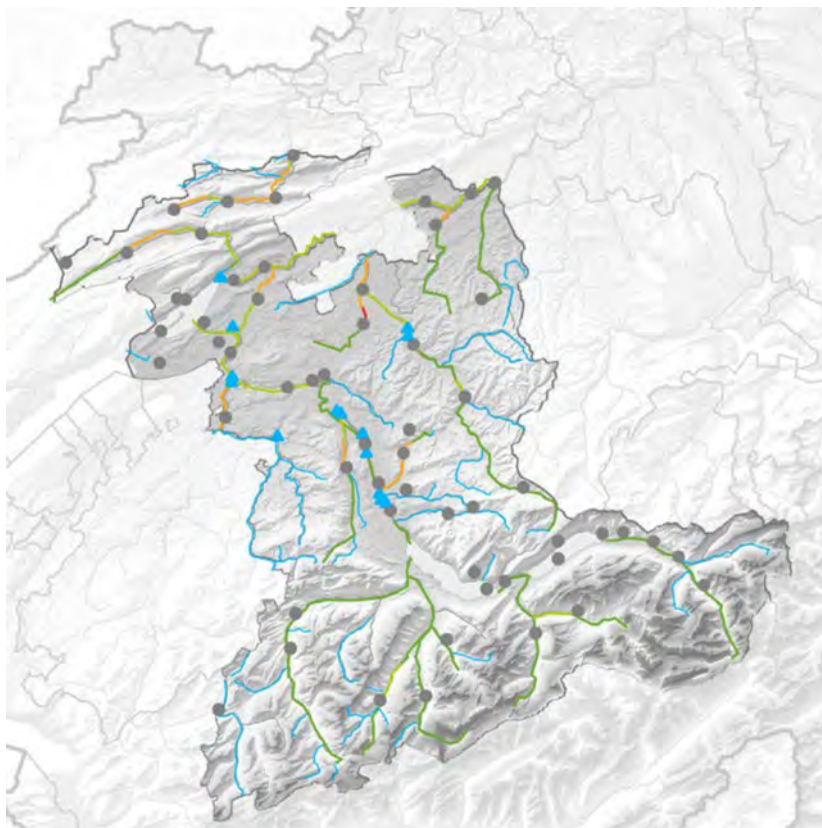
8.4.1 Mit anderen Gewässernutzungen

Trinkwasserversorgung

Am stärksten betroffen durch das Regen- und Abwassermanagement von Siedlungen ist (neben der Gewässerökologie, siehe 8.4.2) die Trinkwasserversorgung. Aufgrund der intensiven Nutzung der Landschaft und der hohen Siedlungsdichte in den Agglomerationen befinden sich zahlreiche Grundwasserfassungen der öffentlichen Wasserversorgung in Flussstrecken, die durch Abwasser beeinflusst sind. Da Flusswasser und Grundwasser meist miteinander in Austausch stehen, können auf diesem Weg auch Schadstoffe zu den Grundwasserfassungen gelangen. Schätzungsweise 25% der Trinkwasserversorgung sind abhängig von Uferfiltrat.

Untersuchungen z.B. an der Ergolz zeigen, dass die meisten im Fluss vorhandenen Mikroverunreinigungen auch an den flussnahen Grundwasserfassungen nachweisbar sind (Auckenthaler et al. 2012). Solche Stoffe sind im Trinkwasser grundsätzlich nicht erwünscht. Deshalb liegt ein Schwerpunkt des laufenden Ausbauprogramms für ARAs bei Kläranlagen, deren Abflüsse Trinkwasserfassungen beeinflussen. Dadurch sollten die Einflüsse der kommunalen Abwasserentsorgung auf das Trinkwasser deutlich vermindert werden. Abb. 08-07 illustriert die Situation am Beispiel des Kantons Bern.

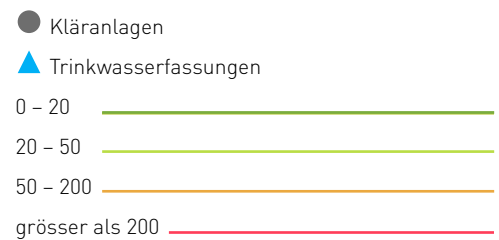
Abb. 08-07



Abwassereinflüsse auf bedeutende Trinkwasserfassungen im Kanton Bern.

Der Einfluss von ARA-Abflüssen auf die Gewässer wurde anhand der Konzentrationen des aus Haushalten stammenden, schwer abbaubaren Schmerzmittels Diclofenac (Voltaren etc.) abgeschätzt. Konzentrationsbereiche in Nanogramm pro Liter (ng/l)

(AWA 2017, DMH25/ 200 © Swisstopo)



Der Klimawandel wird mit der Zunahme von Starkregenereignissen auch eine Häufung von Situationen mit sich bringen, in denen Wasser aus der Mischkanalisation ungereinigt in die Flüsse gelangt. Da solche Überlastungen der Kanalisation aber normalerweise mit hoher Wasserführung des aufnehmenden Flusses einhergehen, werden die austretenden Schadstoffe verdünnt. Die Grundwasserfassungen der Trinkwasserversorgung entlang der Flüsse werden durch Starkregenereignisse also in der Regel nicht zusätzlich beeinträchtigt.

Kaum abzuschätzen ist die Beeinträchtigung von Grundwasser durch undichte Kanalisationen. Zwar ist hiervon die Trinkwasserversorgung nicht direkt betroffen, denn im Siedlungsbereich erlaubt die GSchV keine Grundwasserfassungen. Das Ausmass, in welchem Abwasser mit seinen Inhaltsstoffen ins Grundwasser versickert, hängt vom Zustand der Kanalisation und der Lage des Grundwasserspiegels ab und wird auf 5% bis maximal 15% geschätzt (Rieckermann 2006). Mancherorts könnte dieser Anteil infolge undichter Hausanschlüsse gar bis zu 25% ausmachen (Maurer et al. 2012). Eine völlig dichte Kanalisation lässt sich derzeit nicht mit vertretbaren Kosten realisieren. Dennoch sollte das Austreten von Schmutzwasser aus der öffentlichen und privaten Kanalisation so weit wie möglich verhindert werden. Einmal ins Grundwasser gelangte persistente Mikroverunreinigungen können sich über lange Zeit ausbreiten und auch weiter entfernte Trinkwasserfassungen beeinträchtigen.

Hochwasserschutz

In Siedlungen fliesst ein grosser Teil des Niederschlags direkt und schnell von versiegelten Flächen ab. Dadurch können Hochwasserereignisse verstärkt werden. Jede urbane Rückhaltungsmöglichkeit für Regen, sei es Vegetation, entsiegelte Flächen, wasserdurchlässig gestaltete Verkehrswege oder z.B. Gründächer, vermindert diesen Effekt.

8.4.2 Mit der Gewässerökologie

Zielkonflikte mit der Gewässerökologie bestehen aufgrund der Schadstoffeinträge aus dem Siedlungsgebiet – also ARA-Einleitungen, Mischwasserentlastungen und belastetes Regenwasser. Diese Einflüsse werden mit steigender Temperatur und sinkender Wasserführung der Fließgewässer tendenziell zunehmen. Als Gegenmassnahme wurde das bis 2040 laufende Programm zur Nachrüstung der wichtigsten ARAs mit zusätzlichen Reinigungsstufen initiiert (siehe 8.5). Für die Auswirkungen auf die Gewässerökologie wird letztlich ausschlaggebend sein, wie viele Kläranlagen mit Ozonung oder Aktivkohlebehandlung aufgerüstet werden.

Im Kanton St. Gallen z.B. sind es elf Kläranlagen, so dass nach Abschluss der Nachrüstung das Abwasser von 64% der Bevölkerung nach dem neuen Standard gereinigt werden wird (Zweili 2019). Das Abwasser der restlichen Bevölkerung des Kantons wird in etwa 30 kleineren ARAs behandelt. Die von diesen ARA-Abläufen betroffenen Fließgewässer erfahren also keine Entlastung ihrer Ökologie, die Menge an Mikroverunreinigungen bleibt unverändert. Ein Ausbau aller Kläranlagen wird derzeit für finanziell unrealistisch erachtet. Der VSA regt allerdings an, in spätestens

zehn Jahren zu überprüfen, ob aus Sicht der Gewässer nicht doch ein weiterer Ausbau nötig ist (VSA 2018a). Denn wenn sich die sommerliche Wasserführung durch den Klimawandel weiter vermindert, erhöht sich auch der Abwasseranteil in den Fließgewässern.

Eine deutliche Zunahme von intensiven Starkregen würde zu häufigeren Mischwasserentlastungen und damit verbunden zu grösseren Belastungen für die Gewässerökologie führen (hydraulische Schwalleffekte, mehr Schadstoffe). Um diese Effekte so weit wie möglich zu minimieren, wurde in der Schweiz mit der STORM-Richtlinie (Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter) erstmals ein Ansatz implementiert, der nicht nur den Entwässerungsaspekt, sondern auch die Auswirkungen auf die Gewässer berücksichtigt. Die verschiedenen Anforderungen an die Siedlungsentwässerung sind in einer neuen Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» zusammengefasst (VSA 2019).

8.5 Potenzielle Lösungsansätze

Die Erstellung der Infrastruktur für die urbane Ableitung von Schmutz- und Regenwasser ist vor allem wegen der unterirdischen Leitungsführung enorm aufwendig. Die Systeme sind auf 50 bis 100 Jahre Lebensdauer angelegt und können daher auch nur in solchen Zeiträumen an veränderte Bedingungen angepasst werden. Da alle Elemente des Systems aufeinander abgestimmt und voneinander abhängig sind, ist es auch nicht möglich, Teilabschnitte zu modifizieren. Man spricht von technologischer Pfadabhängigkeit, d.h. eine einmal getroffene Weichenstellung für ein Techniksystem lässt sich nicht mehr mit vertretbarem Aufwand umkehren, selbst wenn dies sinnvoll wäre. Dies gilt insbesondere für die Wahl von Misch- oder Trennkanalisation. Ist die Entscheidung für eines der Systeme einmal getroffen, ist ein Systemwechsel nur noch mit sehr grossem Aufwand möglich (siehe Beispiel Zug, 8.2.1).

Die Anpassung der Siedlungswasserwirtschaft an den Klimawandel muss vor dem Hintergrund ihrer Pfadabhängigkeit und technologischen Trägheit gesehen werden. Die Häufung kurzer, intensiver Regenereignisse könnte eine höhere Abflusskapazität erfordern. Eine grundlegende Vergrößerung der Kanalisationen ist aber mittelfristig weder möglich noch bezahlbar. Bei Mischkanalisationen kann der Ausbau von Regenrückhaltekapazitäten (Regenüberlaufbecken) sinnvoll sein, um die Häufigkeit von Mischwasserentlastungen zu begrenzen. Für deren Bemessung legt die neue VSA-Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» neue Mindestanforderungen fest (VSA 2019).

Wirkungsvoll sind zusätzliche Rückhaltebecken vor allem bei Spitälern, in deren Abwasser sich grosse Mengen an Arzneimitteln befinden. So trägt beim Kantonsspital Baden ein neues Auffangbecken (300 m³) dazu bei, dass bei Starkregenereignissen wesentlich weniger Spitalabwasser unbehandelt in die Limmat gelangt (Märki et al. 2019).

Abb. 08-08

Auf versiegelten Stadtflächen kann der Regen weder versickern noch von der Vegetation aufgenommen werden, sondern muss über die Kanalisation abfliessen
(Quelle: Johanna Bossart, Tamedia)



Einfacher, schneller und kostengünstiger lässt sich erreichen, dass weniger Regenwasser in die Kanalisation gelangt. Je mehr Niederschlag versickern kann oder z.B. in Gründächern zurückgehalten wird, desto besser. Rückhalt und Versickerung von Regenwasser helfen gleichzeitig, das Stadtklima an heissen Tagen abzukühlen, so dass die Entsiegelung von befestigten Oberflächen und das Begrünen von Dächern für die Anpassung an den Klimawandel in doppeltem Sinn nützlich sind. Diese Massnahmen sind nicht in erster Linie Aufgaben der Siedlungsentwässerung, sondern der Stadt- und Bauplanung und der Architektur.

Ausserdem können Kanalisationen und ARAs von Regenwasser entlastet werden, indem man Siedlungsflächen mit guten Versickerungsverhältnissen ganz vom System abkoppelt. So konnten z.B. in der rasch wachsenden Gemeinde Ostermundigen, deren Mischkanalisation an Kapazitätsgrenzen stiess, viele Hauseigentümer durch finanzielle Anreize bewegt werden, das Regenwasser von Dach und Vorplatz auf ihrem Grundstück zu versickern. Das lohnt sich nicht nur für die Eigentümer, sondern auch für die Gemeinde, die nun trotz Siedlungswachstum ihre Kanalisation nicht grösser dimensionieren muss (Jordi 2013). Dieser Ansatz wird auch vom VSA empfohlen (VSA 2018b).

Eine vermehrte Versickerung in den städtischen Untergrund wirft indessen Fragen nach dem Schadstoffgehalt des Regenwassers auf. Chemikalien aus Fassadenputzen und Dachmaterialien und der ubiquitäre Abrieb von Fahrzeugen werden mit dem Regen abgewaschen und können durch Versickerung ins Grundwasser gelangen. Beim Trennsystem gelangen diese Schadstoffe ungehindert in die Flüsse. Daher stellt sich die Frage, ob und ggf. wie das von befestigten Oberflächen stammende Regenwasser in Zukunft behandelt werden sollte, bevor es in die Umwelt entlassen wird.

Die neue Richtlinie «Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter» definiert auch, wie mit Regenwasser aus Siedlungen umgegangen werden soll (VSA 2019). Eine generelle Behandlung ist nicht vorgesehen, d.h. in vielen Fällen kann der Niederschlag ohne Behandlung versickert oder in Oberflächengewässer eingeleitet werden. Für verschmutztes Regenwasser von Dächern, Plätzen und Verkehrsflächen ist indessen eine Behandlung erforderlich (siehe 8.2.1).

Wo immer möglich, sollten Schadstoffe, die mobil sind und schlecht abgebaut werden, an der Quelle zurückgehalten oder ganz vermieden werden. Dies gilt gerade für Anwendungen im Aussenbereich, die durch den Regen mobilisiert werden. So können durch eine Verringerung der Herbizidkonzentration in Dachmaterialien die abgewaschenen Wirkstoffmengen deutlich vermindert werden (BAFU 2017). Auch der Ersatz problematischer Wirkstoffe bevorzugt durch chemiefreie Technologien bietet sich an.

Zusätzliche Reinigungsstufen

Mit dem Entscheid, die bedeutendsten Kläranlagen bis 2040 mit zusätzlichen Reinigungsstufen wie Ozonung oder Aktivkohlebehandlung auszurüsten, soll der Eintrag an Mikroverunreinigungen in die Fließgewässer zumindest halbiert werden. Zugutekommen werden diese Massnahmen einerseits der Ökologie von Flüssen und Seen, andererseits der Trinkwassergewinnung aus flussnahen Fassungen. Ende 2019 waren in der Schweiz 10 nachgerüstete ARAs in Betrieb, 26 weitere befanden sich im Bau oder in der Planung (Micropoll 2019).

Die ersten Praxiserfahrungen zeigen, dass sich sowohl mit Ozon als auch mit Aktivkohle etwa 80% der Mikroverunreinigungen von den Gewässern fernhalten lassen. Eindrücklich konnte das bei der ARA Herisau nachgewiesen werden. Im Ablauf dieser mit einer Aktivkohlestufe versehenen Kläranlage sank die Konzentration der Arzneimittel auf circa 1 µg/l, während bei anderen ARAs fünf- bis zehnfach höhere Werte gemessen wurden (AFU St. Gallen Hrsg. 2017).

Bei ARAs, die Aktivkohle- und Ozonbehandlung kombinieren wie die neue Anlage in Altenrhein, sind noch bessere Reinigungserfolge zu erwarten.

Restprobleme

Einige wenige Stoffe lassen sich aber selbst durch Ozon- und Aktivkohlebehandlung nicht befriedigend aus dem Abwasser entfernen. Probleme bereiten z.B. polare (gut wasserlösliche) Stoffgruppen wie künstliche Süßstoffe und Röntgenkontrastmittel (AFU St. Gallen Hrsg. 2017). Für letztere bietet sich eine separate Urinsammlung bei behandelten Patienten an (Niederste-Hollenberg et al. 2017). Andere Problemstoffe sollten eingehend überprüft und ihre Anwendung ggf. unter Bewilligungsvorbehalt gestellt werden. Existieren Alternativen für ihren Einsatz, könnte eine Substitution wie bei Phosphat in Waschmitteln Abhilfe schaffen.

Das deutsche Umweltbundesamt hat in einer eingehenden Analyse folgende quellenorientierte Handlungsmöglichkeiten identifiziert (UBA 2014):

- Entwicklung umweltfreundlicher Farben, Fassaden- und Baumaterialien (z.B. zur Substitution kritischer Biozide und Flammschutzmittel)
- Entwicklung umweltfreundlicher Textilchemikalien
- Importbeschränkungen für schadstoffbelastete Textilien
- Entwicklung «grüner Wirkstoffe» in der Humanmedizin (laufende Förderinitiative der Deutschen Bundesstiftung Umwelt «Nachhaltige Pharmazie»)
- umweltfreundliche Substitute für Industriechemikalien (z.B. PFOS bei der Metallbearbeitung)
- Massnahmen und Organisationskonzepte zur dezentralen Emissionsminderung bei Röntgenkontrastmitteln
- Informationsmassnahmen in den Bereichen Fassadenmaterialien, Textilien, Arzneistoffe (z.B. Info-Materialien, Labeling, Umweltklassifizierung, Public Procurement, Positivlisten, Entsorgung von Alt-/ unverbrauchten Arzneimitteln).

Auch viele pharmazeutische Produkte enthalten schwer abbaubare und mobile Wirkstoffe (Escher et al. 2011). Bei frei verkäuflichen Mitteln könnte eine Verschreibungspflicht den Einsatz kritischer Wirkstoffe auf das unvermeidliche Mass reduzieren. Die in den Niederlanden praktizierte Option, das gesamte Spitalabwasser einer separaten Entsorgung zuzuführen, befindet sich in der Schweiz in der Prüfung (Zimmermann-Steffens et al. 2016). Immerhin stammen bis zu 40% der Arzneimittel in kommunalen ARAs aus Spitälern (Märki et al. 2019). Auch angesichts zunehmender Antibiotikaresistenzen, für die Spitalabwässer eine wichtige Quelle darstellen, könnte deren separate Behandlung einen wichtigen Beitrag leisten (Rodriguez-Mozaz et al. 2015).

Allgemein werden Massnahmen zur Eintragsbegrenzung von Mikroverunreinigungen dadurch erschwert, dass die Behörden nicht wissen, welche Chemikalien in Industrie und Gewerbe zum Einsatz kommen oder in Konsumprodukten und Baustoffen enthalten sind. Nicht selten werden Stoffe in erheblicher Menge in den Gewässern nachgewiesen, deren Herkunft nicht geklärt werden kann. Dem liesse sich durch ein (ggf. vertrauliches, klassifiziertes) Melderegister für alle in der Schweiz in grösserer Menge (z.B. über 100 kg/a) zum Einsatz gelangenden Chemikalien entgegenwirken.

Unabhängig vom Klimawandel

- Flächendeckende Zustandsaufnahme privater Abwasseranlagen: Definition einer best practice, wie Gemeinden ihre Aufsichtspflicht über die privaten Abwasseranlagen wahrnehmen sollten (VSA 2018c)
- Guter Umgang mit Regenwasser (Versickerung): Sensibilisierung und Information von Raumplanern, Architekten, Bauherren
- Verminderung des Anteils von häuslichem Regenwasser in der Mischkanalisation (Rückhalt, Nutzung, Versickerung vor Ort)
- Rückgewinnung von Phosphat aus kommunalem Klärschlamm (Baumann 2019, Hotz 2019).

8.6 Wissenslücken, Forschungsbedarf

- Evaluation von Ausmass und Auswirkungen von Kanalisationslecks auf Grundwasser
- Verbesserung des Wissens über Mengen und Einsatz von für Gewässer potenziell schädlichen Chemikalien (insbesondere Eintragspfade von organischen Spurenstoffen, die in Industrie und Gewerbe eingesetzt werden, siehe auch Kapitel 2)
- Potenzial dezentraler Abwasserkonzepte in entlegenen oder dünn besiedelten Gebieten (Eggimann et al. 2018).
- Effizienz von Regenüberlaufbecken
- Belastung des Regenabwassers aus der Siedlungsentwässerung, mögliche Massnahmen
- Integrale Regenwasserbewirtschaftung auf Stufe Raumplanung/ Städteplanung
- Erarbeitung von Vermittlungsinstrumenten für Architekten und Städteplaner bezüglich Regenwasserbewirtschaftung und Hitzeinsel-Effekten

8.7 Literatur

Astra (o. J.)

[Entwässerung von Verkehrswegen](#)

Auckenthaler, A. et al. (2012)

[Spurenstoffe in Fließgewässern: Auswirkungen aufs Grundwasser – Fallbeispiele aus dem Kanton Basel-Landschaft](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 60 – 66

AWA (2017)

[Mikroverunreinigungen – Massnahmen an Kläranlagen schützen Gewässer im Kanton Bern](#)

awa Fakten, Kanton Bern

AWEL (2018)

[Klimaanalysekarten für das Gebiet des Kantons Zürich](#)

Zürich, Stand 2018

AWEL (2019)

[Elimination von Mikroverunreinigungen auf Abwasserreinigungsanlagen](#)

Planung des Kantons Zürich, Stand 15.07.2019

BAFU (2017)

[Information über chemische Durchwurzelungsschutzmittel in Bitumenbahnen – Stand 2017](#)

Factsheet von BAFU und Hochschule für Technik Rapperswil

Baumann, C. (2019)

[P-Rückgewinnung aus Abwasser / Klärschlamm](#)

Vortrag an der Klärmeistertagung St. Gallen am 13.06.2019

BAV/ BAFU (2014)

[Richtlinie Entwässerung von Eisenbahnanlagen](#)

Braun, C. et al. (2015)

[Mikroverunreinigungen in Fließgewässern aus diffusen Einträgen – Situationsanalyse](#)

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1514, 78 Seiten

Braun, C. et al. (2014)

[Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe](#)

Erste Grundlagenerhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen

Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). BMG Engineering AG, Schlieren, 44 Seiten

Bucheli, M. (2017)

[Die neue Regenwasser-Richtlinie wird zum zentralen Element für Planer und Behörden](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 10 – 13

Bundesrat (2019)

[Änderung der Gewässerschutzverordnung](#) vom 17.04.2019

Burkhardt, M. et al. (2017)

Behandlung von Regenwasser

Aqua & Gas No. 4, Seite 78 – 85

Eggimann, S. (2016)

[The optimal degree of centralisation for wastewater infrastructures](#)

A modelbased geospatial economic analysis

Doctoral Thesis ETH Zürich

Eggimann, S. et al. (2018)

[Screening European market potentials for small modular wastewater treatment systems an inroad to sustainability transitions in urban water management?](#)

Land Use Policy No. 78, Seiten 711 – 725

Escher, B.I. et al. (2011)

[Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater](#)

Water Research No. 45, Seiten 75 – 92

Günthert, F.W. et al. (2016)

[Anpassung der quantitativen Niederschlagswasserbeseitigung an den Klimawandel – Urbane Sturzfluten](#)

Studie im Auftrag des Bundesverbands Deutscher Baustoff-Fachhandel e.V. (BDB)

Hopper, H. et al. (2019)

Datenbasierte Planungs-, Betriebs- und Vollzugskonzepte zur nachhaltigen Regenwasserbehandlung

In: J. Pinnekamp (Hrsg.): Gewässerschutz - Wasser – Abwasser, No. 250, Seiten 26 – 42

Aachen, Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen

Hotz, S. (2019)

[Recycling-Pioniere: Wie die Schweiz aus Abwasser 6000 Tonnen Phosphor gewinnen könnte](#)

NZZ vom 04.06.2019

Jordi, B. (2013)

[Kostengünstige Alternative zum Ausbau der Abwasserkanäle](#)

Aqua & Gas No. 7/8, Seiten 64 – 67

Märki, M. et al. (2019)

[Weniger Mikroverunreinigungen in der Limmat dank Rückhaltebecken beim neuen Kantonsspital Baden](#)

Umwelt Aargau No. 81, Seiten 47 – 50

Maurer, M. et al. (2006)

[Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der Schweizerischen Abwasserentsorgung](#)

Bericht im Auftrag des BAFU, Dübendorf, 63 Seiten

Maurer, M. et al. (2012)

[Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz](#)

Bericht im Auftrag des BAFU, Dübendorf, 232 Seiten

Micropoll (2019)

[Liste der grosstechnischen Umsetzungen in der Schweiz](#)

(Stand der ARA-Nachrüstung)

Niederste-Hollenberg, J. et al. (2017)

[Gewässerbelastung durch Arzneistoffe – Ansätze zur Reduzierung in 2 Pilotprojekten](#)

In: DWA-Landesverband Baden-Württemberg (Hrsg.): Tagungsband DWA Landesverbandstagung 2017

ISBN 978-3-88721-496-8

Rieckermann, J. (2006)

[Quantification of exfiltration from sewers with tracers](#)

Dissertation ETH Zürich

Rodriguez-Mozaz, S. et al. (2015)

[Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river](#)

Water Research No. 69, Seiten 234 – 242

Slingerland, J. (2012)

[Mitigation of the Urban Heat Island effect by using water and vegetation](#)

MSc Thesis Delft University of Technology

Somers, K.A. et al. (2012)

[Streams in the urban heat island: spatial and temporal variability in stream temperatures](#)

Freshwater Science No. 32, Seiten 309 – 326

Staufer, P. et al. (2012)

[Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen – Diffuse Mikroverunreinigungs-Emissionen aus Siedlungen](#) (DIMES)

Eawag Faktenblatt, Dübendorf, 175 Seiten

Talenta, M. (2018)

[Lange Tunnels, dicke Rohre](#)

Kommunalmagazin No. 6, Seiten 20 – 21

UBA (2014)

[Massnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer](#)

Texte 85/2014, Rosslau-Dessau, ISSN 1862 – 4804

VSA (2011)

Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung 2011, Glattbrugg

VSA (2013)

Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter (STORM) Technische Richtlinie, Glattbrugg

VSA (2018a)

[Vernehmlassung zur Änderung der Gewässerschutzverordnung im Vernehmlassungspaket Umwelt](#)

vom Frühling 2018, Glattbrugg, 2 Seiten

VSA (2018b)

Empfehlung «Finanzierung der Abwasserentsorgung», Glattbrugg

VSA (2018c)

Empfehlung Grundstücksentwässerung

Aufsicht der Gemeinden über die privaten Entwässerungsanlagen. Glattbrugg, 36 Seiten

VSA/KI (2011)

[Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung](#)

Bericht im Auftrag der KVU, Glattbrugg und Bern

Zimmermann-Steffens, S. et al. (2016)

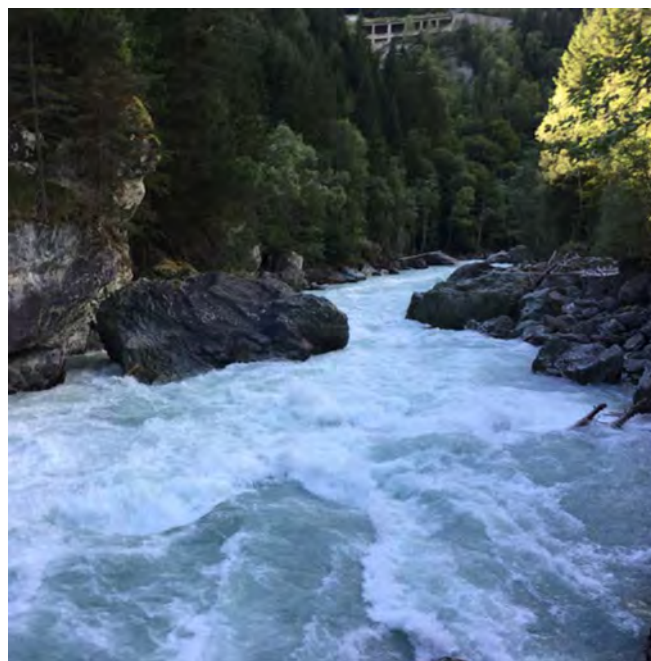
Innovativer Umgang mit Spitalabwässern Aqua & Gas No. 5, Seiten 68 – 73

Zweili, C. (2019)

[Die ARA Altenrhein gehört dank der vierten Reinigungsstufe zu den modernsten Europas](#)

Tagblatt vom 05.09.2019

Kapitel 9 **Bewirtschaftung der Grenzgewässer**



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Olivier Overney †, Carlo Scapozza, Petra Schmockler-Fackel, Ulrich Sieber

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfotos Der Rhein am Dreiländereck mit Deutschland und Frankreich in Basel

© Pantarhei, wikimedia

Der Inn am Grenzübertritt zu Österreich in der Finstermünzschlucht

(Quelle: www.outdoor-engadin.ch)

Rhone bei Chancy am Grenzübertritt zu Frankreich

© Alexej M., wikimedia

Ticino am Abfluss aus dem Lago Maggiore bei Sesto Calende

© Andrea Albin, Panoramio

Fachliche Beratung **Céline Barrelet** SKF, **Andrea Salvetti** Kanton Tessin

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Visuelle Gestaltung und Layout **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © **Susanne Dubs** unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

9 **Bewirtschaftung der Grenzgewässer**

Inhaltsverzeichnis

- 9.1 Internationale Gewässer unter dem Einfluss der Schweiz
- 9.2 Internationale Abkommen zur Bewirtschaftung geteilter Gewässer
- 9.3 Die Bewirtschaftung der grenzüberschreitenden Flüsse und Seen
 - 9.3.1 Rhein
 - 9.3.2 Ticino, Lago Maggiore (Verbano) und Luganersee (Ceresio)
 - 9.3.3 Doubs
 - 9.3.4 Genfersee und Rhone
 - 9.3.5 Inn
- 9.4 Die Zukunft
 - 9.4.1 Klimawandel und Bewirtschaftung grenzüberschreitender Gewässer
 - 9.4.2 Einfluss sozioökonomischer Veränderungen
- 9.5 Zielkonflikte und Synergien
 - 9.5.1 Mit anderen Nutzungsansprüchen in der Schweiz
 - 9.5.2 Mit Schutzzielen für Ökologie und Hochwasserschutz
- 9.6 Potenzielle Lösungsansätze
- 9.7 Wissenslücken/ Forschungsbedarf
- 9.8 Literatur

Die wasserwirtschaftlichen Ziele der Schweiz sind mit denen ihrer Nachbarn nicht immer deckungsgleich, vor allem in punkto Wasserkraft und Seeregulierung

Für die grenzüberschreitenden Flüsse und Seen trägt die Schweiz grosse Verantwortung. Die Unterlieger- und Nachbarstaaten sind auf diese Gewässer für vielerlei Nutzungen angewiesen – vor allem als Trinkwasser, für die Wasserkraft, die Kühlung von Kraftwerken und die landwirtschaftliche Bewässerung. Auch der Hochwasserschutz muss international abgestimmt sein. Der Klimawandel macht die ins Ausland abfliessenden Wassermengen unetlicher, vor allem im Sommer und Herbst dürften die Abflüsse zurückgehen. Weil in diesen Monaten bei den südlichen Unterliegern Frankreich und Italien die Wassernachfrage für die Bewässerung am grössten ist und die Schweiz Wasser für die Füllung der Speicherkraftwerke benötigt, besteht ein Mengenkonflikt, der nur durch internationale Abstimmung gelöst werden kann. Am Rhein wirken zunehmende Trockenheiten vor allem auf die Schifffahrt, aber auch auf das Wassermanagement der Niederlande, wo ein Rheinabfluss unter 1000 m³/s Probleme mit eindringendem Meerwasser verursacht. Neben Gewässerökologie und Hochwasserschutz stehen an allen grenzüberschreitenden Flüssen und Seen Qualitätsfragen im Vordergrund, an Genfersee und Lago Maggiore zusätzlich die Regulierung von Abfluss und Seepegel. Zukünftige Abkommen über die internationale Mengenbewirtschaftung sollten nicht allein auf die Verteilung der (potenziell zurückgehenden) Wasserressourcen fokussieren, sondern auch zu deren effizienter Verwendung verpflichten (Demand Management).

Résumé chapitre 9 gestion des eaux limitrophes

La Suisse a une grande responsabilité concernant les cours d'eau et les lacs transfrontaliers. Les pays riverains et les pays en aval des cours d'eau suisses dépendent de ces eaux pour une large gamme d'utilisations - avant tout comme eau potable, pour l'énergie hydroélectrique, pour le refroidissement des centrales nucléaires et pour l'irrigation agricole. La protection contre les inondations doit également être coordonnée au niveau international. Le changement climatique rend les volumes d'eau qui s'écoulent à l'étranger plus instables et les débits devraient diminuer, surtout en été et en automne. Comme les besoins en eau pour l'irrigation sont les plus élevés dans les pays riverains du sud (la France et l'Italie) pendant ces mois et que la Suisse a besoin d'eau pour remplir les réservoirs de ses centrales à accumulation, il existe un conflit de quantités qui ne peut être résolu que par une coordination internationale. Sur le Rhin, les sécheresses croissantes ont un

impact principalement sur la navigation, mais aussi sur la gestion de l'eau aux Pays-Bas. En effet, les rejets du Rhin inférieurs à 1000 m³/s posent des problèmes d'infiltration d'eau de mer. Outre l'écologie des eaux et la protection contre les crues, les questions de la qualité de l'eau revêtent une importance primordiale sur tous les cours d'eau et lacs transfrontaliers. Sur le Lac Léman et le Lac Majeur, la régulation des niveaux et des débits des lacs est également une question cruciale. Les futurs accords internationaux sur la gestion des lacs et cours d'eaux transfrontaliers ne devraient pas se concentrer uniquement sur la répartition des ressources en eau (potentiellement en déclin), mais devraient également s'engager à les utiliser efficacement (gestion selon la demande).

Riassunto capitolo 9 gestione delle acque di confine

La Svizzera ha una grande responsabilità per i fiumi e i laghi transfrontalieri. I paesi rivieraschi e quelli vicini dipendono da queste acque per una vasta gamma di usi - soprattutto come acqua potabile, per l'energia idroelettrica, per il raffreddamento delle centrali nucleari e per l'irrigazione agricola. La protezione contro le inondazioni deve essere coordinata anche a livello internazionale. Il cambiamento climatico sta rendendo i volumi d'acqua che fluiscono all'estero più instabili e il deflusso è destinato a diminuire, soprattutto in estate e in autunno. Poiché in questi mesi la domanda di acqua per l'irrigazione è più alta negli Stati rivieraschi meridionali di Francia e Italia e poiché la Svizzera ha bisogno di acqua per riempire le sue centrali elettriche di stoccaggio, c'è un conflitto di quantità che può essere risolto solo attraverso un coordinamento internazionale. Sul Reno, l'aumento della siccità sta avendo un impatto soprattutto sulla navigazione, ma anche sulla gestione delle acque nei Paesi Bassi, dove gli scarichi del Reno al di sotto dei 1000 m³/s causano problemi di infiltrazione di acqua di mare. Oltre all'ecologia delle acque e alla protezione dalle piene, le questioni di qualità sono di primaria importanza su tutti i fiumi e i laghi transfrontalieri, mentre sul Lago Lemano e sul Lago Maggiore la regolazione della portata e del livello dei laghi è una priorità. I futuri accordi sulla gestione dei volumi internazionali non dovrebbero concentrarsi esclusivamente sulla distribuzione delle risorse idriche (potenzialmente in calo), ma dovrebbero anche impegnarsi per un loro uso efficiente (gestione della domanda).

9 Bewirtschaftung der Grenzgewässer

9.1 Internationale Gewässer unter dem Einfluss der Schweiz

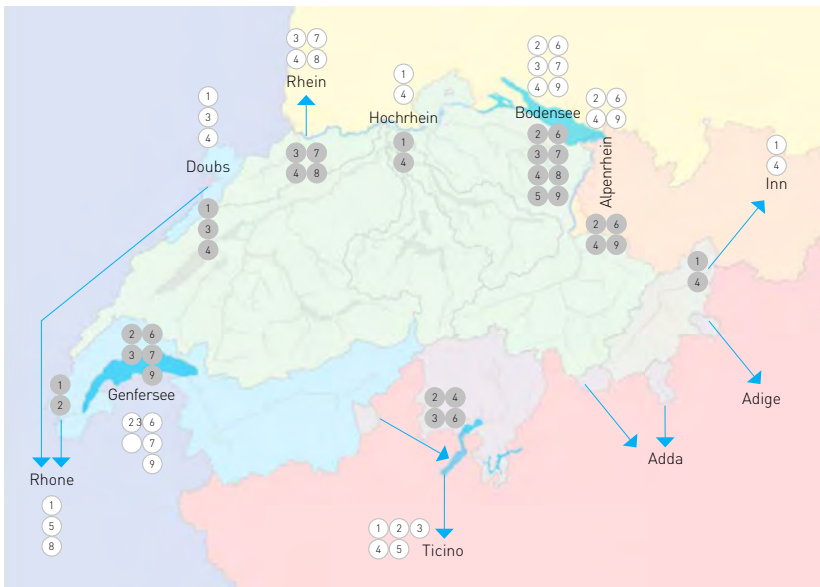
Wasser aus der Schweiz gelangt über Rhein, Rhone, Ticino (Po), Inn (Donau) und Doubs (Rhone) in drei verschiedene Meere, was die Schweiz zur zentralen Wasserscheide Europas macht. Vom grössten Teil des Territoriums gelangt das Wasser mit dem Rhein in die Nordsee. Fast das gesamte Wallis und Teile der Kantone Waadt, Jura, Neuenburg und Genf entwässern direkt oder via Doubs in die Rhone, die ihrerseits dem Mittelmeer zufließt. Die Gewässer des Tessins und der Bündner Südtäler fließen dem Po und der Adda zu und damit der Adria. Die Niederschläge aus dem Einzugsgebiet des Inns im Engadin im äussersten Osten der Eidgenossenschaft schliesslich werden mit der Donau bis ins Schwarze Meer geführt (siehe Abb. 09-01).

Der Schweiz fließen auch nicht unerhebliche Wassermengen aus dem Ausland zu (circa 13 Mrd. m³ pro Jahr): aus Österreich und Deutschland über die östlichen und nördlichen Zuflüsse des Rheins, aus Frankreich der gesamte Doubs und viele Bäche am Genfersee sowie die Arve, aus Italien ein erheblicher Teil des Wassers von Luganersee und Lago Maggiore. Die mit den Oberliegern verbundenen Managementfragen (Mengenbewirtschaftung, Qualität) werden in diesem Kapitel nicht detailliert erörtert.

Die Unterlieger sind auf das aus der Schweiz abfliessende Wasser in vielerlei Weise angewiesen, sei es als Trinkwasser, für die Bewässerung, für die Flussschifffahrt, zur Aufnahme von gereinigten Abwässern, als Kühlwasser und nicht zuletzt als Grundlage einer intakten Gewässerökologie. Sie erwarten nicht nur ausreichende Wassermengen und eine gute Wasserqualität, auch das Geschiebemanagement muss abgestimmt sein. Hinzu kommen Managementfragen an den internationalen Seen und an Flussabschnitten, die die Aussengrenze der Schweiz markieren.

Die Bewirtschaftung der grenzüberschreitenden Gewässer geht über Fragen der Wassermenge also weit hinaus. Die Qualität des Wassers, der ökologische Zustand der aquatischen Lebensräume und der Hochwasserschutz spielen ebenso eine Rolle wie Schutz und Nutzung der Grenzseen zugunsten von Trinkwasserversorgung, Fischerei und Tourismus. Die wichtigsten in- wie ausländischen Interessen sind in Abb. 09-01 und Tabelle 09-01 zusammengefasst.

Abb. 09-01



International abgestimmte Bewirtschaftungsaspekte:

- Abfluss zu:
- Frankreich
 - Deutschland
 - Österreich
 - Italien
 - Liechtenstein
 - Mittelmeer
 - Nordsee
 - Schwarzes Meer
 - Adria
- ① Wasserkraft
 - ② Hochwasserschutz
 - ③ Wasserqualität
 - ④ Gewässerökologie
 - ⑤ Bewässerung
 - ⑥ Tourismus
 - ⑦ Schifffahrt
 - ⑧ thermische Nutzung
 - ⑨ Trinkwasserversorgung
- ausländische Stakeholder/ Schutz-/ Nutzinteressen
 - inländische Stakeholder/ Schutz-/ Nutzinteressen

Tabelle 09-01

In- und ausländische Interessen an Nutzung und Schutz der Gewässer

	Interessen Schweiz	Interessen Anrainer/ Untertlieger
Alpenrhein	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz (2) • Revitalisierung (4) • Erholungswert Rhein (6) • Sicherung rheinnaher Grundwasserfassungen (9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz (2) • Revitalisierung (4) • Erholungswert Rhein (6) • Anpassung Trinkwasserversorgung (9)
Bodensee	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz (2) • Wasserqualität (3) • Gewässerökologie und Fischerei (4) • Bewässerung Gemüse- und Obstbau (5) • Tourismus (6) • Erreichbarkeit der Häfen für Kurs- und Freizeitschifffahrt (7) • Kühlwassernutzung (8) • Entnahme Trinkwasser (9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz (2) • Wasserqualität (3) • Gewässerökologie und Fischerei (4) • Tourismus (6) • Erreichbarkeit der Häfen für Kurs- und Freizeitschifffahrt (7) • Entnahme Trinkwasser (9)
Hochrhein	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Fischwanderung Geschiebemanagement (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Fischwanderung Geschiebemanagement (4)
Rhein (Abfluss)	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserqualität (3) • Gewässerökologie (4) • Schifffahrt (7) • Kühlwassernutzung (8) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserqualität (3) • Gewässerökologie (4) • Schifffahrt (7) • Kühlwassernutzung (8)

Fortsetzung Tabelle 09-01

	Interessen Schweiz	Interessen Anrainer/ Unterlieger
Inn (Abfluss)	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Schwall-Sunk-Effekte (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Schwall-Sunk-Effekte (4)
Tessiner Seen (Lago Maggiore Luganersee)	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz Ufer (2) • Wasserqualität (3) • Uferökologie (4) • Ufertourismus (6) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz Ufer (2) • Wasserqualität (3) • Uferökologie (4) • Ufertourismus (6)
Ticino (Abfluss)		<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Hochwasserschutz Unterlauf (2) • ökologische Restwassermengen Unterlauf (4) • Bewässerung (5)
Genfersee	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz Ufer (2) • Wasserqualität (3) • Ufertourismus (6) • Erreichbarkeit der Häfen für Kurs- und Freizeitschiffahrt (7) • Entnahme Trinkwasser (9) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz Ufer (2) • Wasserqualität (3) • Ufertourismus (6) • Erreichbarkeit der Häfen für Kurs- und Freizeitschiffahrt (7) • Entnahme Trinkwasser (9)
Rhone (Abfluss)	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Hochwasserschutz Unterlauf (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Hochwasserschutz Unterlauf (2) • Bewässerung Unterlauf (5) • Kühlwasser für Kernkraftwerk Bugey (8)
Doubs	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Wasserqualität (3) • Schwall-Sunk-Effekte und Fischwanderung (4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserkraft (1) • Wasserqualität (3) • Schwall-Sunk-Effekte und Fischwanderung (4)

9.2 Internationale Abkommen zur Bewirtschaftung geteilter Gewässer

Übergeordnete internationale Abkommen

Zwei globale Umweltabkommen sind zentral für die grenzüberschreitende Bewirtschaftung von Gewässern: die UN-Gewässer-Konvention (Übereinkommen über das Recht der nichtschifffahrtlichen Nutzung internationaler Wasserläufe) von 1997 und die UNECE-Konvention (oder Helsinki-Übereinkommen) zum Schutz und zur Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe und internationaler Seen von 1992. Diese beiden Rahmenabkommen ergänzen sich. Sie behandeln sowohl die Qualität (Vermeidung von Schadstoffbelastungen) als auch Mengenaspekte (ökologisch verträgliche und rationelle Wasserbewirtschaftung) und definieren Prinzipien und Regeln für Nutzung, Bewirtschaftung und Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser. Insbesondere sieht die UNECE-Wasserkonvention die Gründung grenzüberschreitender Abkommen und gemeinsamer Institutionen vor (UNECE 2018).

Die UNECE-Wasserkonvention wurde durch die Schweiz am 23. Mai 1995 ratifiziert, die Ratifizierung der UN-Gewässer-Konvention steht noch aus. Weiterhin ist das Übereinkommen des Europarats über die Erhaltung der europäischen wildlebenden Pflanzen und Tiere und ihrer natürlichen Lebensräume, die Berner Konvention (Bundesrat o. J.a), für die Schweiz von Bedeutung, vor allem am Doubs.

Spezifische Abkommen

Für die internationalen Flüsse wurden Kommissionen zur grenzüberschreitenden Abstimmung geschaffen. An Bodensee, Genfersee, Luganersee und Lago Maggiore verläuft die Staatsgrenze im Gewässer, so dass die Regulierung von Wasserqualität und Wasserständen eine internationale, gemeinsame Bewirtschaftung erfordert. Bei den Tessiner Seen wird die Qualitätsüberwachung durch die Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (CIP AIS, 1973) ausgeführt, am Genfersee durch die Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL, 1963) und am Bodensee durch die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB, 1959).

Weiterhin gibt es Abkommen, Staatsverträge und Gremien, die die Regulierung von Abfluss und Wasserständen, die Fischerei, die Gewinnung von Wasserkraft oder die Wasserentnahme aus Seen regeln. Eine vollständige Übersicht aller relevanten internationalen Abkommen findet sich auf der Webseite «Internationales Recht» des Bundesrates (Bundesrat o. J.b).

9.3 Die Bewirtschaftung der grenzüberschreitenden Flüsse und Seen

9.3.1 Rhein

Bevor der Rhein bei Basel die Schweiz verlässt, bildet er über lange Flussstrecken die Aussengrenze der Eidgenossenschaft. Vor allem in vier Bereichen sind Bewirtschaftungsfragen mit den Nachbarstaaten zu erörtern und abzustimmen: am Alpenrhein mit Österreich und dem Fürstentum Liechtenstein, am Bodensee mit Österreich und Deutschland, am Hochrhein mit Deutschland und in Basel mit den Unterliegern Frankreich, Deutschland und den Niederlanden. Dieses Kapitel gliedert sich anhand dieser vier Rheinabschnitte.

Alpenrhein

Am Alpenrhein gibt es ein vorherrschendes Thema, das die internationalen Diskussionen seit 200 Jahren bestimmt: der Schutz vor Hochwasser. Zwar dauerte es fünfzig Jahre, bis wasserbauliche Meinungsverschiedenheiten und Interessenkonflikte zwischen Österreich-Ungarn und der Schweiz überwunden werden konnten, doch unter dem Eindruck verheerender Hochwasserschäden kam es 1871 zu einer ersten Einigung. Bis heute wurden drei Staatsverträge zwischen Österreich und der Schweiz abgeschlossen. 1892 vereinbarte man, den Flusslauf zu begradigen und um rund 10 km zu verkürzen, 1924, den Schuttkegel an der Mündung in den Bodensee zu regulieren und 1954, Dämme und Bauwerke an Hochwassermengen bis 3 100 m³/s anzupassen. Selbst beim bisher grössten Hochwasser von 1987 mit bis zu 2 650 m³/s bewährten sich diese Massnahmen (Disse et al. 2018).

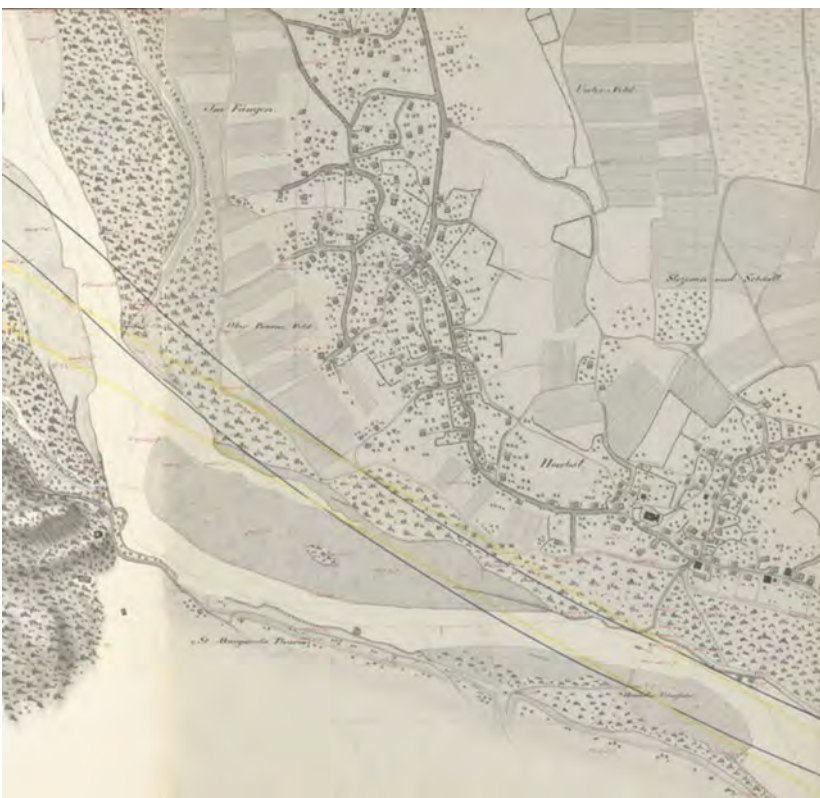
Der aktuelle Hochwasserschutz am Alpenrhein (max. 3100 m³/s) bietet Sicherheit bei Hochwassern mit einer hundertjährigen Eintretenswahrscheinlichkeit (HQ 100). Höhere Abflüsse könnten enorme Schäden verursachen, die auf bis zu CHF 10 Mrd. geschätzt werden. Beide Anrainerstaaten sind sich einig, dass der Alpenrhein zukünftig bis zu 4 300 m³/s sicher abführen können soll (HQ 300). Die baulichen Details – Aufweitungen des Flussbettes, Rückverlegung und Erhöhung von Dämmen, Anpassung von Brücken, Verlegung von Trinkwasserbrunnen – und die Kostenaufteilung sollen in einem weiteren Staatsvertrag festgelegt werden, der im Entwurf seit 2018 vorliegt (Rhesi 2018).

Die Anpassung des Alpenrheins läuft unter dem Kürzel Rhesi (Rhein – Erholung und Sicherheit) und soll neben besserem Hochwasserschutz auch die Gewässerökologie aufwerten und die Attraktivität des Flusses für die Bevölkerung erhöhen. Die Kosten für die Umgestaltung des 26 km langen Abschnitts zwischen Ill-Mündung und Bodensee werden derzeit auf 900 Mio. Euro beziffert. Die Arbeiten an einigen stark gefährdeten Abschnitten könnten 2024 in Angriff genommen werden, das Gesamtprojekt jedoch wird erst gegen Mitte des Jahrhunderts abgeschlossen sein (Vol.at 2018).

Ein solch umfassendes Projekt berührt nicht nur den Hochwasserschutz und die ökologische Qualität des Gewässers, sondern auch sämtliche Nutzungen von Land und Wasser in seinem Perimeter. Landwirtschaftliche Flächen werden in ihrer Nutzbarkeit eingeschränkt, flussnahe Trinkwasserbrunnen verlegt oder aufgegeben, Brücken angepasst oder ganz neu erstellt. Lokale Interessen müssen berücksichtigt werden, dürfen aber den Abschluss des internationalen Staatsvertrags nicht hemmen. Nicht alle Ansprüche an den Fluss und seinen Gewässerraum können erfüllt werden, und die Verhandlungen sind zeitintensiv und teils sehr konfrontativ.

Ein Jahrhundertwerk wie Rhesi bietet die Möglichkeit, Fehlentwicklungen der Vergangenheit zu korrigieren. Der Flusskorridor des Alpenrheins ist – ähnlich wie auch bei anderen Schweizer Flüssen – durch die früheren Baumassnahmen übermässig verkleinert und zu einem kanalähnlichen Gewässer umgestaltet worden. Dieser Zustand entspricht nicht mehr den heutigen Rechtsnormen und Erkenntnissen in punkto Hochwasserschutz und Gewässerschutz. Unter anderem ist zu entscheiden, in welchem Mass man die vor einigen Jahrzehnten dem Fluss abgewonnenen Flächen wieder freigibt – und damit auch, wie weit man die seinerzeit erst ermöglichten Nutzungen in Rheinnähe einschränkt.

Abb. 09-02



Ausschnitt aus der Grossen Rheinkarte von Joseph Duile von 1825, die die Ausdehnung der ursprünglichen Fluss- und Auenlandschaft des Alpenrheins beim vorarlbergischen Dorf Höchst zeigt. Die blauen Linien zeigen die damals geplante Korrektur von Salomon Hegner, die gelben die Planungen von Duile selber an. Das aktuelle Projekt Rhesi wird dem Fluss nur einen kleinen Teil der einstigen Fluss- und Auenlandschaft zurückgeben.

(Quelle: Staatsarchiv St. Gallen
Zusammensetzung der Blätter 76 und 77
der Duile-Karte)

Trotz zwischenstaatlichem Koordinierungsbedarf verläuft die Konfliktlinie am Alpenrhein nicht zwischen den Staatsgebieten, auch nicht zwischen Hochwasserschutz und Gewässerökologie, sondern zwischen dem Ziel eines naturnäheren Alpenrheins einerseits und Flächennutzungsansprüchen in seinem angestammten Flusskorridor andererseits. Es ist unerlässlich, bei der Bearbeitung dieses Konflikts Generationen übergreifend zu planen. Unstrittig ist der Hochwasserschutz, doch besteht die Befürchtung, dass das landschaftliche und ökologische Potenzial dieses Jahrhundertvorhabens wegen lokaler, kurzfristiger Interessen nur beschränkt ausgeschöpft wird.

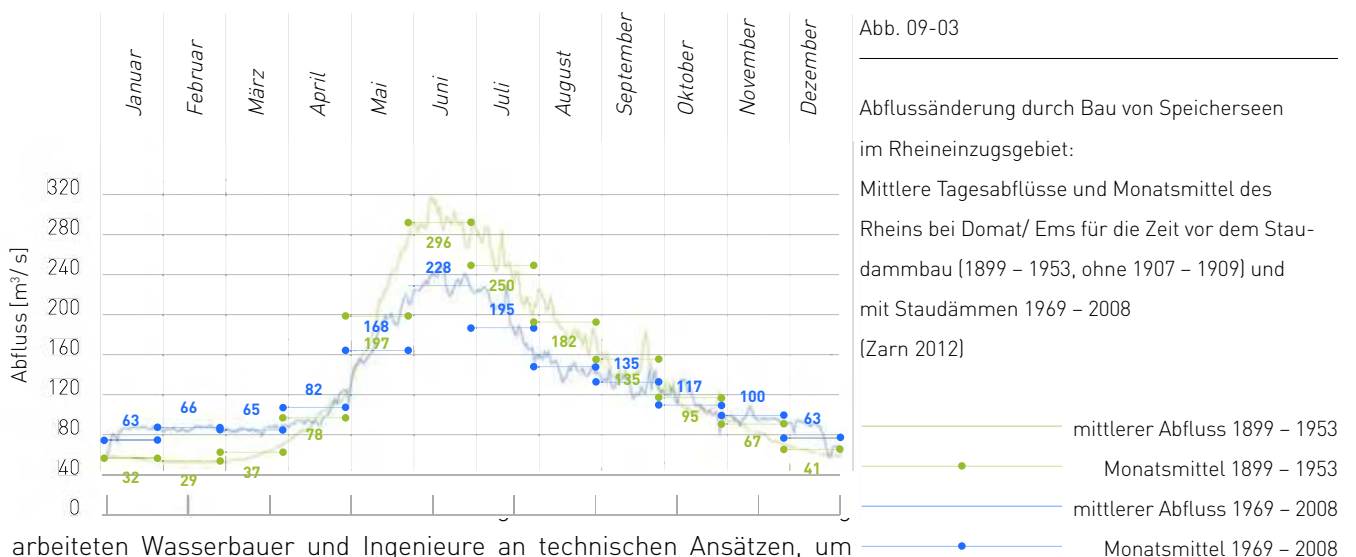
Der Bodensee

Der Rhein trägt mit 61.8% den bedeutendsten Anteil des Zuflusses zum Bodensee bei, wobei ein Teil davon aus Österreich, Liechtenstein und Italien (Val di Lei) stammt (Disse et al. 2018). Kleinere Flüsse und Bäche aus Deutschland, Österreich und der Schweiz tragen den übrigen Zufluss bei. 173 km Seeufer liegen in Deutschland, 72 km in der Schweiz und 28 km in Österreich (Disse et al. 2018). Die Staatsgrenzen innerhalb der Seefläche sind für den grössten Teil des Sees wegen unterschiedlichen Rechtsauffassungen bis heute undefiniert (Nachbaur 2007).

Die gemeinsamen Interessen der Anrainer am Bodensee betreffen vorrangig die Qualität seines Wassers: Eine hohe Reinheit ist einerseits Grundlage für die Trinkwasserversorgung von mehr als vier Millionen Menschen vor allem in Deutschland (3.7 Mio.), andererseits sind Tourismus, Fischerei und Seeökologie darauf angewiesen. Die touristische Nutzung ist stark auf das deutsche Ufer konzentriert.

1959 wurde die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) gegründet, in der neben der Schweiz die deutschen Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern sowie das österreichische Bundesland Vorarlberg und das Fürstentum Liechtenstein Einsitz haben. Ein Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen wurde am 27. Oktober 1960 verabschiedet. Seit 1967 legen kontinuierlich aktualisierte Bodensee-Richtlinien Anforderungen an die Reinigung von Abwässern fest und geben Empfehlungen für Massnahmen im Einzugsgebiet zum Schutz der ökologischen Funktionsfähigkeit des Sees (IGKB 2018).

Der Bodensee ist ein unregulierter See, das heisst, sein Abfluss wird überwiegend von den Niederschlägen in seinem Einzugsgebiet geprägt. Allerdings werden seit Mitte des letzten Jahrhunderts Zufluss und Wasserstand durch 30 grosse Speicherseen im Einzugsgebiet spürbar beeinflusst (790 Mio. m³ Volumen). Sommerliche Hochwasser im Alpenrhein sind seit dem Bau der Hochgebirgsspeicher seltener geworden, während die winterlichen Abflüsse zugenommen haben (siehe Abb. 09-03). Auch in Zukunft wird die Bewirtschaftung der Speicherseen Einfluss auf den Wasserstand des Bodensees haben (Zarn 2012). Durch den Klimawandel induzierte Niedrigwasserstände im Sommer und Herbst werden sich dadurch aber nicht anheben lassen. So lag im Sommer 2018 der Wasserstand monatelang auf sehr niedrigem Niveau, mit grossen Problemen unter anderem für die Schifffahrt (BAFU et al. 2019).

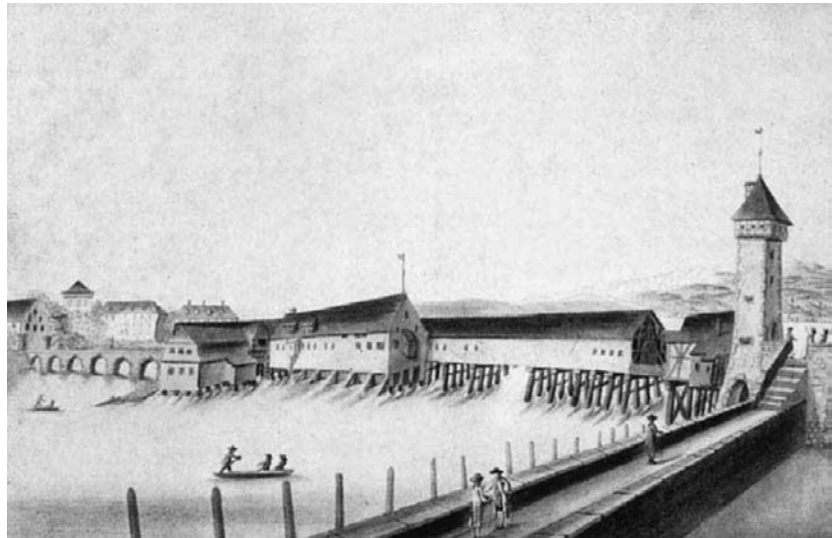


arbeiteten Wasserbauer und Ingenieure an technischen Ansätzen, um Hochwasser im See abzusenken und bei Trockenheit mehr Wasser zurückhalten zu können. Als Kernproblem erwies sich die Erhöhung des Seeabflusses, denn die erforderlichen Anpassungen an der Verbindung von Ober- und Untersee und an der Sohle des Hochrheins müssten gewaltige Ausmasse annehmen.

Abb. 09-04

Rheinbrücke und Rheinmühle in Konstanz um 1800
vom Unterwasser her gesehen
(Quelle: Rosgartenmuseum Konstanz)

Lange Zeit wirkten diese Bauwerke in Konstanz
wie ein Stauwehr für den Bodensee.
Sie verursachten immer wieder Rückstau- und
Überschwemmungsprobleme, und als Brücke
und Mühle 1856 abbrannten, beschlossen Baden,
Österreich und die Schweiz, sie nicht wieder aufzu-
bauen, sondern alle wasserbaulichen Hindernisse
rückstandsfrei abzubrechen
(Disse et al. 2018)



Die Regulierungsprojekte wurde jahrzehntelang vor allem von den Ostschweizer Kantonen vorangetrieben, die einen regulierten Bodensee und einen durchgehend schiffbaren Hochrhein als unverzichtbar für ihre Wirtschaft erachteten. Mit dem Deutschen Reich konnte man sich 1929 auf einen Vertrag und 1943 sogar auf ein Seereglement einigen, doch verhinderte der Zweite Weltkrieg jegliche Baumassnahmen. Ab Mitte der 1960er Jahre wurde der Wasserweg gegenüber Schiene und Strasse wirtschaftlich zunehmend unattraktiv und das Interesse an Hochrheinkanalisation und Bodenseeregulierung schwand – vor dem Hintergrund der gewachsenen Bedeutung des Sees für die Trinkwasserversorgung zunächst in Deutschland (Steiner 2005). Zwar wurden auch in den 1970er Jahren noch neue Varianten zur Regulierung des Bodensees vorgeschlagen (etwa ein Stollen mit Ableitung zur Thur), doch führte das aufkeimende Umweltbewusstsein zu einer gesellschaftlichen Neubewertung der Pläne auch in der Schweiz. 1973 wurde schliesslich im Kanton Thurgau eine Volksinitiative angenommen, die sich gegen Massnahmen wendete, «welche die natürlichen Verhältnisse und Gleichgewichte der See- und Flusslandschaft am Bodensee, Untersee und Rhein beeinträchtigen» (Schneider 2004).

Der Hochrhein

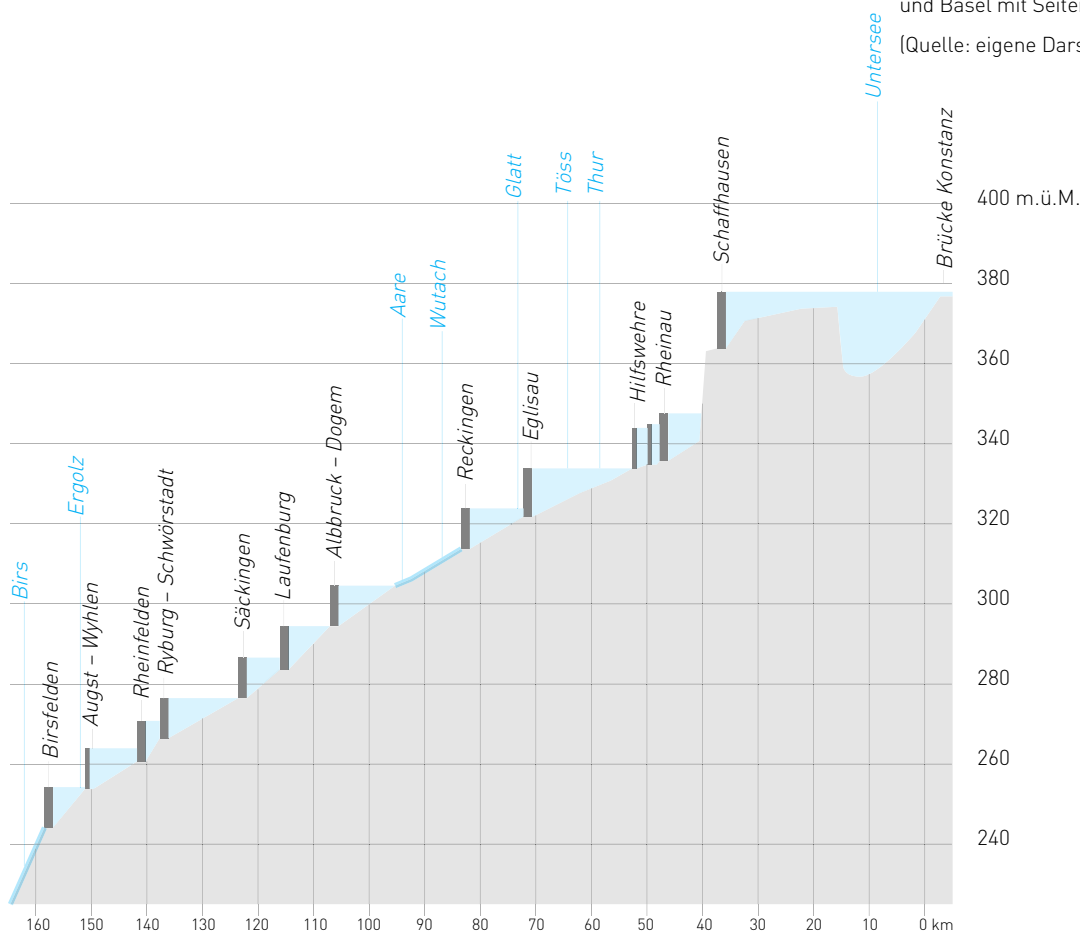
Schiffbar ist der Rhein oberhalb von Basel aktuell bis Rheinfelden. Der Ausbau des Rheins für die Grossschiffahrt bis zur Aaremündung und ein dortiger Industriehafen sind zwar nicht geplant, rechtlich aber weiterhin möglich. Die Absicht des Kantons Aargau, die Schiffbarmachung von Rhein und Aaremündung aus Gewässerschutzgründen durch den kantonalen Richtplan auszuschliessen, wurde vom Bundesrat 2017 für unzulässig erklärt (mit Verweis auf Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte und die

Verordnung über die Freihaltung von Wasserstrassen von 1993): «Die Schiffbarmachung des Rheins vom Raum Aaremündung bis Rheinfelden, einschliesslich der wesentlichen Hafenstandorte, ist vorbehalten» (ARE 2017).

Inzwischen hat sich die Zusammenarbeit mit Deutschland am Hochrhein von der Schiffbarkeit vor allem auf die Verbesserung der ökologischen Parameter verlagert (Biologie, Fischgängigkeit, Qualität). Seit 1990 führen Bund, Anliegerkantone und Baden-Württemberg regelmässig koordinierte Messkampagnen zum biologischen Zustand des Hochrheins durch. Deutschland folgt dabei den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie, die Schweiz führt das 1990 beschlossene Untersuchungsprogramm fort (BAFU 2016a). Zudem ist ein langer Abschnitt des Hochrheins vom Ausfluss des Bodensees bis Glattfelden im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) gelistet und steht unter besonderem Schutz (BAFU o. J.).

Abb. 09-05

Laufkraftwerke am Hochrhein zwischen Bodensee und Basel mit Seitenflüssen
(Quelle: eigene Darstellung nach Axpo 2018)



Der Ausbau der Wasserkraftnutzung am Hochrhein erfolgte ab dem frühen 20. Jahrhundert in enger Zusammenarbeit mit Deutschland. Elf Staustufen gibt es am Hochrhein. Sein Wasser wird von zwölf Kraftwerken (zwei in Wyhlen/Augst) genutzt, wovon sich acht in deutschschweizerischem Gemeinschaftsbesitz befinden. Stets müssen die Rechtsnormen beider Anrainer eingehalten werden, etwa bei der Neukonzessionierung des Kraftwerks Reckingen. Abstimmungsbedarf besteht dort – analog zu inländischen Wasserkraftsanierungen – vor allem bei den ökologischen Ausgleichsmaßnahmen. Auf deutscher Seite wehren sich Landwirte gegen Nutzungseinschränkungen ihres Landes, auf Schweizer Seite der Kanton Zürich gegen die angedachte Verlegung einer Grundwasserfassung in Weiach (RKR 2017).

Der Ausbau der Wasserkraft hat den grössten Teil des einst wilden Hochrheins in morphologisch monotone Staueeen verwandelt. Für die im Rhein heimischen strömungsliebenden Fischarten bleiben nur wenige Fließstrecken, doch deren Ufer sind überwiegend verbaut und wenig strukturiert. Für die Fische als Überwinterungsorte besonders wichtig sind die wenigen verbliebenen Altwasser und Seitenarme, die am Hochrhein bevorzugt revitalisiert und vor schädlichen Einflüssen geschützt werden sollen.

Für den Fischbestand entscheidend ist auch die ökologische Anbindung der Zuflüsse, denn sie dienen als Rückzugsraum bei Hochwasser und können bei Hitze kühlere Bedingungen bieten. Nur wenige Mündungsbereiche sind am Hochrhein noch naturnah, einige konnten aufgewertet werden, doch bei grossen Zuflüssen wie Aare und Glatt bestehen weiterhin grosse morphologische Defizite. Gemäss aktueller Programmvereinbarung zwischen Bund und Kantonen sollen in den nächsten zehn Jahren weitere Mündungsabschnitte ökologisch verbessert werden; ebenso ist die Revitalisierung des Hochrheins bei Laufenburg und Stein am Rhein vorgesehen (Dönni et al. 2019). Parallel finden auf deutscher Seite von der EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderte Massnahmen zur Verbesserung des morphologischen Zustands statt.

Schliesslich findet auch im Hochwasserschutz eine internationale Abstimmung ab. Im Mittelpunkt stehen die Erstellung von Gefahrenkarten und die Festlegung kompatibler HQ-Werte für die Häufigkeit von Hochwasserereignissen (IKT 2010).

Der Rhein bei Basel

Der Rheinabfluss nach Deutschland lässt sich im Unterschied zu Rhone und Ticino praktisch nicht beeinflussen. Am Bodensee gibt es kein Wehr, und die Regulierung von Aare, Limmat und Reuss an den Ausläufen von Bieler-, Zürich- und Vierwaldstättersee hat nur geringe Auswirkungen auf den Abfluss in Basel. Naturgemäss bestehen daher keine Ansprüche der Unterlieger auf Eingriffe der Schweiz in den Abfluss des Rheins.

Abhängig von genügenden Wassermengen im Rhein ist zuerst die Schifffahrt. Sie nützt nicht nur den Unterliegern Deutschland und Niederlande, sondern ist auch im vitalen Interesse der Schweiz, die vor allem beim Import von Brennstoffen, Dünge- und Futtermitteln auf diesen Transportweg angewiesen ist. Um den Güterumschlag in Basel möglichst resistent gegen schwankende Wasserstände zu machen, hat der Kanton Basel-Stadt eine Vertiefung der Rheinhäfen in Angriff genommen. Damit sollen Warentransporte via Rhein auch bei niedrigen Wasserständen, wie sie bei fortschreitendem Klimawandel häufiger zu erwarten sind, erleichtert werden. Ob ein neues Terminal für den Containerverlad von Rheinfrachten auf die Schiene im Rheinhafen von Kleinhüningen gebaut wird, ist derzeit noch offen.

Besonders die Niederlande sind schicksalhaft auf das Wasser des Rheins angewiesen. Benötigt wird ein dauerhafter Mindestabfluss von rund 1 200 m³/s, wovon 200 bis 300 m³/s der Trinkwasserversorgung, der Regulation des Grundwassers und der Entsalzung von Böden dienen. Weitere 1 000 m³/s erfordert das Zurückdrängen einsickernden Salzwassers am Nieuwe Waterweg (Biesboer 2018). Problematisch wurde die Situation im Sommer 2018, als der Rhein an der deutsch-niederländischen Grenze zeitweise nur noch 1 000 m³/s führte.

Der Hauptfokus der Zusammenarbeit der Schweiz mit den Rhein-Unterliegern liegt indessen auf der Wasserqualität. Rund 20 Mio. Menschen in Deutschland und den Niederlanden beziehen ihr Trinkwasser aus aufbereitetem Grundwasser in Rheinnähe (IKSR 2009). Dies erfordert grosse Anstrengungen bei der Abwasserreinigung und der Vermeidung sonstiger Schadstoffeinträge. Zwar ist die Schweiz nicht an die EU-Wasserrahmenrichtlinie gebunden, unterstützt die EU-Mitgliedstaaten jedoch bei den Koordinierungs- und Harmonisierungsarbeiten im Rahmen der völkerrechtlichen Übereinkommen und ihrer nationalen Gesetzgebung.

Die Zielsetzungen für den Rhein wurden im Auftrag der Ministerkonferenz der Anrainerstaaten im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) gemeinsam erarbeitet. Vor allem sollen

Wasserqualität und Biologie des Rheins durch Mikroverunreinigungen nicht beeinträchtigt werden und die Gewinnung von Trinkwasser «mit einfachen, natürlichen Aufbereitungsverfahren» möglich sein (IKSR 2010).

Um Schwerpunkte für wirksame Massnahmen festlegen zu können, ist die Überwachung der Wasserqualität des Rheins beim Verlassen der Schweiz von entscheidender Bedeutung. 1993 wurde dafür die Rheinüberwachungsstation in Weil eingerichtet, die mit modernsten analytischen Techniken ausgestattet ist. Sie bestimmt kontinuierlich die Konzentration von Hunderten von Mikroverunreinigungen (Mazacek et al. 2016) und quantifiziert den chemischen Einfluss häuslicher und industrieller Abwässer (deren Anteil am Rhein in Basel kann bei Niedrigwasser bis zu 5% ausmachen), der Landwirtschaft und der intensiven Flächennutzung in Städten (Ruff et al. 2013). Dies sind denn auch die Bereiche, in denen die Anrainerstaaten Massnahmen planen oder bereits verwirklicht haben.

Alle Mitgliedstaaten der IKSR und die Europäische Kommission verpflichteten sich 2013 im Rhein-Ministerkommuniqué, Aktivitäten zur Vermeidung und Verminderung von Einträgen von Mikroverunreinigungen einzuleiten. In einer 2017 vorgelegten umfassenden Bestandsaufnahme wurde die Belastungssituation des Rheins mit Mikroverunreinigungen bilanziert und bestehende sowie potenziell mögliche nationale Strategien dargelegt (IKSR 2017). 2019 wurden gemeinsame IKSR-Empfehlungen für die Reduzierung von Mikroverunreinigungen beschlossen (IKSR 2019). Sie fokussieren auf drei Kernpunkte:

- Einrichtung zusätzlicher Reinigungsstufen bei ausgewählten kommunalen Abwasserreinigungsanlagen
Separate Sammlung von persistenten Röntgenkontrastmitteln.
- Landwirtschaft:
Reduktion der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, besonders in Gewässernähe, Anreizsysteme für umweltschonenden Anbau, Abgaben auf Pflanzenschutzmittel.
- Massnahmen an der Quelle in Industrie und Gewerbe:
Substitution persistenter Stoffe durch wassererträgliche Alternativen, Schliessung von Stoffkreisläufen, Behandlung von stark belasteten Teilströmen (möglichst durch nationale Regelungen)

Der Einfluss der Massnahmen auf die Qualität des Rheins wird kontinuierlich überprüft und evaluiert. Bei Bedarf können die IKSR-Empfehlungen nach sechs Jahren angepasst werden.

Die Schweiz nimmt beim Punkt Abwasserreinigung eine Vorreiterrolle ein, indem sie die Nachrüstung wichtiger Kläranlagen mit zusätzlichen Reinigungsstufen beschlossen und teilweise bereits eingeleitet hat (siehe Kapitel 8). Zusätzlich sind Massnahmen an den Eintragsquellen etwa in industriellen Prozessen in der Erörterung. Eine der grössten Herausforderungen bei der Eindämmung von Mikroverunreinigungen bleibt in allen Anrainerstaaten des Rheins – auch der Schweiz – der landwirtschaftliche Eintrag von Stickstoff, Pflanzenschutzmitteln und Antibiotika.

Schliesslich ist auch das Wärmemanagement ein Thema. Die Wassertemperaturen des Rheins übersteigen mitunter schon in Basel die Grenze von 25°C, 2018 in Weil am Rhein an 12 Tagen (52 Tage über 22°C). Im Jahresmittel hat die Temperatur im Hochrhein (oberhalb Basel) und Oberrhein (unterhalb Basel) zwischen 1978 und 2011 um 1.3 bis 2.2°C zugenommen. Hohe Temperaturen sind eine Belastung für strömungsliebende Fische und andere Flusslebewesen, und sie schränken Kühlnutzungen im weiteren Verlauf des Rheins ein. Neu werden in der Schweiz seit 2018 Kühlwassernutzungen in sehr begrenztem Mass auch oberhalb von 25°C toleriert, nicht jedoch für die Rückleitung von erwärmtem Kühlwasser des AKW Beznau. Werden in der Aare 25°C erreicht, müssen die Reaktoren heruntergefahren oder zumindest auf 50% gedrosselt werden (BFE 2019). Weiter wird die klimabedingte Erwärmung des Rheins seit 2011 durch die Abschaltung von vier deutschen AKW-Reaktorblöcken (Philippsburg, Biblis) teilweise kompensiert, da hier keine Kühlung mehr benötigt wird (Keller 2013). Mit der in naher Zukunft geplanten Abschaltung des französischen AKW Fessenheim ist eine weitere thermische Entlastung des Rheins zu erwarten. Seit der Abschaltung des AKW Mühleberg Ende 2019 sank die Temperatur der Aare bei der Mündung in den Bielersee um durchschnittlich 2°C (Råman Vinnå et al. 2017).

Mit dem neuen Programm «Rhein 2040» streben die Rheinanliegerstaaten eine Bewirtschaftung des Rheineinzugsgebiets an, die nachhaltig ist und zugleich den Herausforderungen des Klimawandels begegnet. Im Zuge der Verhandlungen setzt sich die Schweiz neben besserem Hochwasserschutz und einer guten Wasserqualität für Ökologie und Trinkwassergewinnung vor allem für den raschen Bau von Fischpässen an allen Staufstufen am Oberrhein ein (Bundesrat 2019).

9.3.2. **Ticino, Lago Maggiore (Verbano) und Luganersee (Ceresio)**

Das Einzugsgebiet des Lago Maggiore teilen sich die Schweiz (3 369 km², 51%) und Italien (3 229 km², 49%) fast hälftig, während sich der See selber zum grössten Teil in Italien befindet. Die wichtigsten Zuflüsse sind Ticino, Toce, Maggia und Tresa (vom Luganersee her).

Die wasserwirtschaftliche Schnittstelle zwischen der Schweiz und Italien ist das Wehr Miorina im italienischen Sesto Calende, wo der Abfluss des Lago Maggiore (italienisch Verbano) in den Ticino seit 1943 gesteuert wird. Verantwortlich dafür ist das Consorzio del Ticino, auf das die Schweiz keinen Einfluss hat. Das Wehr ermöglicht die Steuerung des Abflusses zwischen 2 m³/s und etwa 800 m³/s. Übersteigt der Abfluss diesen Wert, ist keine Steuerung mehr möglich. In einem Beschluss vom 24. Oktober 1938 vereinbarten die Schweiz und Italien einen Regulierungsbereich für den Seepiegel, innerhalb dessen das Consorzio del Ticino frei über den Seeabfluss entscheiden kann. Die Extreme des Regulierungsbereichs sind saisonal verschieden und beziehen sich auf die Meereshöhe von Sesto Calende auf 193.016 m.ü.M.:

- im Sommer (16. März - 31. Oktober) -0,5 m bis +1,0 m
- im Winter (1. November - 15. März) -0,5 m und +1,5 m

Im Winter wird also ein 0.5 m höherer Seepiegel toleriert als im Sommer.

Abb. 09-06

Während das Einzugsgebiet zur Hälfte in der Schweiz liegt, befinden sich 80% der See-
fläche in Italien
(Quelle: Wikipedia, eigene Darstellung)



Für die unterliegenden italienischen Provinzen Lombardei und Piemont sind Bewässerung, Wasserkraft sowie ein für die Gewässerökologie genügender Abfluss im Unterlauf des Ticino entscheidend. Im Vordergrund steht in den Sommermonaten die Bewässerung: die vom Ticino gespeisten Kanäle (Villoresi) und Naviglio Grande leiten in den Sommermonaten insgesamt bis zu 120 m³/s auf lombardische Ackerflächen (Gandolfi 2003). Dort wurde jahrzehntelang überwiegend Reis angebaut, heute dominiert Futtermais für die Tierproduktion (75% der bewässerten Flächen in der Lombardei). Auf der orografisch rechten Flussseite erfolgen weitere Entnahmen aus dem Ticino für die Bewässerung in den piemontesischen Provinzen Vercelli und Novara, in denen etwa die Hälfte des italienischen Reisanbaus konzentriert ist.

Die Bewässerungskonsortien sind daran interessiert, von März bis Juni möglichst viel Wasser im See zurückzuhalten, um im Juli und August auch bei längerer Trockenheit über ausreichende Wasserreserven zu verfügen. Eine Anhebung des Sommerpegels auf +1.50 Meter gegenüber der jahrelang üblichen Sommerkote von +1.00 Meter könnte laut Bewässerungskonsortien die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser um 57 Tage ausdehnen (1 cm Seespiegel entspricht rund 2 Mio. m³). 2018 wurde probeweise mit einer Kote von +1.25 Meter gearbeitet, entsprechend 45 zusätzlichen Bewässerungstagen gegenüber der alten Sommerkote.

Auch die Naturschutzorganisationen unterhalb des Sees sprechen sich für einen möglichst grossen Wasserrückhalt aus (Vigevano²⁴ 2018). Denn bis zu 90% des Ticino werden direkt unterhalb des Lago Maggiore in Kanäle abgeleitet, so dass der Fluss im unterliegenden Naturschutzgebiet Parco del Ticino ganzjährig unter stark verminderten Restwassermengen leidet und Gewässerökologie und Fischbestand gefährdet sind. Aus dieser Sicht ist ein hoher Wasserstand im See die beste Gewähr für genügende Restwassermengen auch in längeren Trockenphasen. Schliesslich sind auch die Wasserkraftbetreiber an einem hohen Seespiegel interessiert, allerdings vorwiegend im Winterhalbjahr bei hohem Strombedarf.

Ein höherer Seepegel vermindert allerdings die Pufferkapazität für die Aufnahme von Intensivniederschlägen, wie sie im Einzugsgebiet des Lago Maggiore häufig sind (Südstau der Alpen). Dies erhöht die Überflutungsgefahr am (Schweizer und italienischen) Seeufer und flussabwärts beim Zusammenfluss des Ticino mit dem Po nahe Pavia. Zudem hat ein erhöhter Pegel im Frühling negative Auswirkungen auf das Naturschutzgebiet Bolle di Magadino und auf die Nutzbarkeit der Strände.

Im Jahr 2015 hat die zuständige Einzugsgebietsbehörde (Autorità di Bacino del Po) eine fünfjährige Testphase angeordnet, während der der Sommerpegel sukzessive über die alte Sommerkote von +1.00 angehoben werden soll. Zielwert ist ein Pegel von +1.50 im letzten Jahr der Testphase. Während der Pegelerhöhung werden verschiedene Parameter gemessen, die anschliessend von einem Runden Tisch auf fachlicher und technischer Ebene evaluiert werden. Dieser steht unter Federführung der zuständigen italienischen Einzugsgebietsbehörde. Teilnehmer sind Vertreter der regionalen Verwaltungen, von NGOs und von Gemeinden aus Italien sowie Vertreter der Schweiz.

Ziel des Runden Tisches ist die Suche nach Regulierungsmodalitäten, welche die divergierenden Bedürfnisse der Ober- und Unterlieger gleichsam berücksichtigen. Dabei müssen auch Bedingungen berücksichtigt werden, wie sie bei verstärktem Klimawandel erwartet werden (siehe 9.4.1), aber auch heute schon auftreten. So sank nach einem ungewöhnlich trockenen Sommer der Pegel des Lago Maggiore 2019 schon Anfang Oktober unter den Referenzwert Null in Sesto Calende (193.016 m.ü.M.), und der Zufluss zum Ticino drohte auf kritische Werte zurückzugehen (Ticino News 2019). Nur wenige Tage später stieg der Seepiegel durch ergiebige Regenfälle innert kürzester Zeit um mehr als zwei Meter, und die Trockenheitsprobleme wurden von Hochwassersorgen abgelöst.

Eingehende Modellierungen verschiedener Regulierungsvarianten (unter Einschluss des via Tresa verbundenen Luganersees) zeigten, dass sich die Zielkonflikte durch ein neues Regulierwehr am Auslauf des Lago Maggiore deutlich abmildern liessen (Salvetti 2014). Das derzeitige Wehr lässt oberhalb eines Abflusses von etwa 800 m³/s keinen Rückhalt und keine Abflussregulierung mehr zu (Salvetti 2014). Ein modernes Wehr könnte in Kombination mit einer Vertiefung des Seeauslaufs die maximale Durchflussmenge erhöhen und so eine schnellere und flexiblere Abflusssteuerung bei Hochwasser erlauben.

Im heissen und trockenen Sommer 2018 reduzierte das Consorzio del Ticino den Abfluss ab 7. August um 20% unter den üblichen (und von den Bewässerungsgenossenschaften gewünschten) Wert. Es hielt den Seespiegel bei +0.10 m, da die Befürchtung bestand, die Trockenheit könne länger anhalten und schliesslich der Mindestabfluss für die Ökologie am Unterlauf des Ticino nicht eingehalten werden (VCOAzzurraTV 2018).

Dies machte einmal mehr deutlich, dass auf italienischer Seite gegensätzliche Positionen existieren. So befürworteten das Forschungsinstitut CNR-IRSA von Pallanza und das Ente di Gestione delle Aree Protette del Ticino e del Lago Maggiore (Region Piemont) das alte Sommerreglement mit +1.00 Meter Seespiegel, während das Parco del Ticino (Region Lombardei) seit Jahren eine Erhöhung auf +1.50 Meter fordert. In diesem Sinn handelt es sich nicht in erster Linie um einen internationalen Konflikt zwischen Italien und der Schweiz, die Trennlinie verläuft vielmehr zwischen Wassernutzung und Gewässerschutz am Unterlauf und den Interessen der Seeanlieger.

Zu bedenken ist auch, dass noch enormes Potenzial bei der Wassernutzungseffizienz in der landwirtschaftlichen Bewässerung im Piemont und der Lombardei besteht. Denn in den Transportkanälen und bei der Anwendung versickert oder verdunstet ein grosser Teil des dem Ticino entnommenen Wassers, bevor es die Felder erreicht. Vertiefte Studien haben belegt, dass ein optimiertes Bedarfsmanagement in der Landwirtschaft den Wassereinsatz wesentlich senken und die Flexibilität deutlich erhöhen könnte (Negri 2016). So betrug der Flächenanteil von Mikrobewässerungssystemen in der Lombardei 2010 nur 1.4% (Regione Lombardia 2015).

Qualität

Die Tessiner Seen haben eine grosse touristische Bedeutung, dienen der Wasserversorgung der Bevölkerung und der Fischerei und haben wichtige ökologische Funktionen. Über ihre Qualität wacht die Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italiane-Svizzere (CIPAIS), auf deren Gründung sich die Schweiz und Italien angesichts der zunehmend prekären Wasserqualität der Seen 1972 einigten. Die CIPAIS führt regelmässige Messkampagnen durch.

In besonders tiefen Seen ist der Sauerstoffgehalt des Tiefenwassers eine kritische Grösse. Dies betrifft besonders das fast 300 Meter tiefe Nordbecken des Luganersees, das nur höchst selten bis in die Tiefe zirkuliert (zuletzt 2006). Entscheidend ist es, Phosphat und sauerstoffzehrende Stoffe vom See fernzuhalten. Eine Herausforderung ist die Siedlungsentwässerung, denn die Abwässer von 240 000 Menschen gelangen in den Luganersee. Während die Bevölkerung im Schweizer Teil des Einzugsgebiets zu 96% an eine Kanalisation angeschlossen ist und 90% des Phosphats in Kläranlagen entfernt werden, beträgt der Anschlussgrad auf der italienischen Seite nur 80% und der Rückhalt von Phosphaten ist deutlich niedriger. Die Sanierung und Aufrüstung der Kläranlagen auf italienischer Seite sind nötig und geplant (BAFU 2016b).

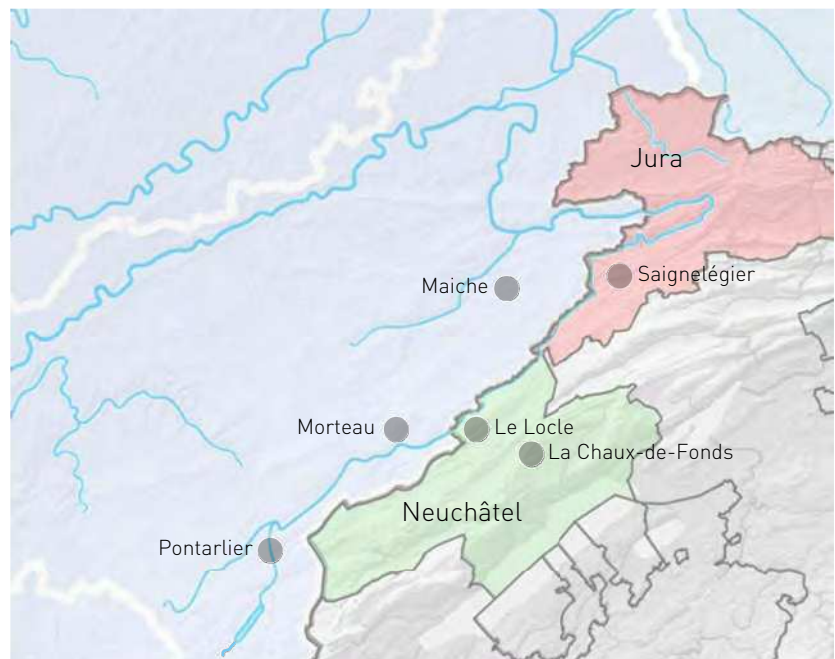
Auch am Lago Maggiore gibt es Zuflüsse überwiegend von italienischer Seite, mit denen zum Teil besorgniserregende Mikroverunreinigungen zum Beispiel aus der Textilindustrie in den See gelangen (BAFU 2016c).

9.3.3 Doubs

Der grenznahe Verlauf des Doubs verlangt nach einer besonders intensiven Abstimmung zwischen den beiden Anrainerstaaten Schweiz und Frankreich. Der Fluss entspringt in 936 m.ü.M bei der Gemeinde Mouthe im französischen Departement Doubs aus einer mächtigen Karstquelle, durchfließt nach wenigen Kilometern den Lac de Saint-Point und folgt nach rund 70 km ab dem Lac de Brenets (franz. Lac de Chaillexon) der französisch-schweizerischen Grenze (der genaue Grenzverlauf ist komplex ¹). Auf seinen 50 km als Grenzfluss durchfließt der Doubs eine tief eingeschnittene, wilde Juraschlucht, die mit dem 27 m hohen Saut du Doubs ihren Anfang nimmt. Drei grosse Wasserkraftanlagen nutzen das in diesem Abschnitt beträchtliche Gefälle des Doubs: Chatelôt (1953, 74 Meter, Konzession bis 2028), Refrain (1909, 66,5 Meter, Konzession bis 2032) und Goule (1898, Konzession bis 2024). Anschliessend bildet der Doubs bei St. Ursanne eine rund 30 km lange Flussschleife (Clos du Doubs), die sich ganz auf Schweizer Territorium befindet und kehrt unterhalb Ocourt nach Frankreich zurück. Dort mündet der Doubs nach insgesamt 453 km in die Sône. Sein Wasser gelangt schliesslich mit der Rhone ins Mittelmeer.

Abb. 09-07

Das topografische Einzugsgebiet des Doubs von der Quelle bis zum Verlassen der Schweiz bei Ocourt
(Quelle: Wikipedia, eigene Darstellung)



Der Doubs weist aktuell einen prekären gewässerökologischen Zustand auf, das Überleben des endemischen Roi du Doubs (*Zingel asper*) ist akut gefährdet (Berner Konvention 2018).

Als Fluss, der über viele Kilometer die französisch-schweizerische Grenze bildet und so keinem der beiden Anrainer ganz gehört, haben über Jahrzehnte weder die schweizerischen noch die französischen Behörden die volle Verantwortung übernommen. Schutzaspekte hatten es schwer, Nutzungsinteressen setzten sich durch: Schon früh im 20. Jahrhundert und verstärkt ab dem Zweiten Weltkrieg kam es zu einer intensiven Ausnutzung seiner Wasserkräfte. Hinzu kommt das durch Karst geprägte Einzugsgebiet, über dessen schnelle unterirdische Fließwege sich anthropogene Schadstoffeinträge unmittelbar auf den Fluss auswirken können (Walther 2017).

¹ Die Grenze zwischen Neuenburg und Frankreich verläuft in der Flussmitte, im Jura bildet ab Biaufond das rechte Ufer die Landesgrenze bis oberhalb des Clos du Doubs, ab Ocourt bis zum endgültigen Eintritt nach Frankreich ist es das linke Ufer (Leimgruber 2017).

Das gilt einerseits für diffuse Einträge über die Fläche, also vor allem Pflanzenschutzmittel, Düngemittel und Gülle aus der Landwirtschaft, die fast ungehindert in den Untergrund gelangen und sich nach kurzem in den Quellen und wenigen Fließgewässern des Doubs-Einzugsgebiets wiederfinden. Es gilt andererseits auch für die Siedlungsentwässerung: mangels grösserer Fließgewässer können die ARA-Abläufe nicht wegtransportiert werden, sondern versickern in den Untergrund. Beispielsweise leitet die Stadt La Chaux-de-Fonds ihr gereinigtes Abwasser in das Ruisseau de La Ronde, wo es nach wenigen hundert Metern versickert und anschliessend in grossen Quellen oberhalb des Doubs und bald im Fluss selber erscheint. Da durch die metallverarbeitende Industrie das Abwasser zusätzlich mit Schwermetallen und Spezialchemikalien belastet ist, soll die dortige ARA zur Entfernung von Mikroverunreinigungen kurzfristig nachgerüstet werden. Auch viele der im Jura verbreiteten Streusiedlungen, die nicht an eine kommunale Kläranlage angeschlossen sind, lassen Schmutzwasser in den Karstuntergrund versickern. Hinzu kommen hunderte Altlasten, die wegen des durchlässigen Untergrunds eine besonders grosse Gefahr darstellen.

Trotz ihres naturnahen Eindrucks wird die Landschaft beiderseits des Doubs intensiv genutzt, vor allem für die Fleisch- und Käseproduktion. Die Viehbestände sind beiderseits der Grenze hoch, in der Region Franche-Comté westlich des Doubs hat die Milchproduktion in den vergangenen 20 Jahren um 56% zugenommen (Brunnarius 2019). Durch die dafür eingesetzten Futtermittelimporte entstehen grosse Überschüsse an Gülle, die letztlich zu einer Überdüngung der Landschaft und zu hohen Stickstoffemissionen führen (Boismartel 2015). Hinzu kommen Pestizide und Biozide, die nicht nur von Landwirten, sondern auch von der Holzindustrie in Sägereien und zum Schutz der Lagerplätze eingesetzt werden, mitunter in unmittelbarer Nähe des Doubs.

Schliesslich unterbinden seit Jahrzehnten mehrere hohe Wehre die Fischwanderung. Verschärft wurde die Situation für die Fauna durch extreme Schwall-Sunk-Effekte unterhalb der drei Staudämme im 75 km langen Grenzbereich des Doubs, deren Betrieb jahrzehntelang allein auf Stromausbeute optimiert wurde.

Nach einem grossen Fischsterben und vehementen Protesten von Fischerei- und Umweltorganisationen 2011 erkannten die französischen und schweizerischen Behörden offiziell an, dass zur Rettung eines lebendigen Doubs Massnahmen dringend erforderlich waren. Auch die Berner Konvention rief zu sofortigem Handeln auf (Berner Konvention 2018). Zwei binationale Arbeitsgruppen wurden ins Leben gerufen, die Arbeitsgruppe «Wasserqualität» (BAFU) und die Arbeitsgruppe «Abflussbewirtschaftung» (BFE). Bereits seit 1991 existiert eine dem BAFU unterstellte «gemischte Kommission für die Fischerei im Doubs».

Die Schweiz und Frankreich erarbeiteten in der Folge einen binationalen Aktionsplan (Groupe de Travail binationale 2014) und vereinbarten, den Empfehlungen der Berner Konvention von 2013 zu folgen. Beide Länder verabschiedeten seither nationale Aktionspläne für den Doubs (für die Schweiz siehe BAFU 2018). Zwar zielten die Massnahmen zuerst auf den kritischen ökologisch-fischereilichen Aspekt des Zingel asper, doch soll das Wassermanagement des gesamten Einzugsgebiets und seiner Nutzungen (inkl. Trinkwasserversorgung) überprüft und optimiert werden – auch im Hinblick auf dessen Veränderung durch den Klimawandel.

Bereits eingeleitete oder geplante Massnahmen

- Zur Verminderung von Schwall- und Sunk-Effekten unterhalb der Wasserkraftwerke wurde am 13.10.2017 ein neues binationales Abflussreglement eingeführt (Bundesrat 2017). Derzeit wird daran gearbeitet, die noch verbleibenden Belastungen zu minimieren.
- La Chaux-de-Fonds und die neue ARA von Le Locle werden mit zusätzlichen Reinigungsstufen für die Eliminierung von Mikroverunreinigungen ausgerüstet (Ville de La Chaux-de-Fonds 2018).
- La Chaux-de-Fonds soll eine von der Schmutzwasserkanalisation unabhängige Regenwassersammlung mit dezentraler Versickerung erhalten (Trennsystem), um die Effizienz der Abwasserreinigung zu steigern.
- Die Grenzgemeinde Goumois soll ihre Abwässer in der ARA der französischen Nachbargemeinde behandeln lassen.
- In Saignelégier erfolgt die Sanierung der veralteten ARA.
- Die stark organisch belasteten Abwässer der Käsereien beiderseits der Grenze sollen zukünftig ordnungsgemäss abgeführt und behandelt werden.
- Am Saut du Doubs wird eine NAWA-TREND Beobachtungsstelle eingerichtet.
- Auf französischer Seite sollen laut Plan d'action von 2014 die Landwirtschaftsbetriebe ihre Güllelagerkapazitäten auf 4-6 Monate ausbauen (bis 2019) und die Ausbringung der Gülle optimieren (Boismartel 2015).

Verbleibender Handlungsbedarf

- Beim Einfluss von Mikroverunreinigungen auf die Ökologie des Doubs bleiben viele offene Fragen (Walther 2017). Möglicherweise spielen stossweise Belastungsschübe eine wichtige Rolle, die von den üblichen Monitorings nicht erfasst werden. Probenahmen mit Passivsammlern über längere Zeit machen die Stoffbelastung eher sichtbar. Die neue NAWA-TREND Station am Saut du Doubs erfasst keine Mikroverunreinigungen.
- Ungeklärt ist der Einfluss von Holzlagerung und Holzverarbeitung auf den Eintrag von Pestiziden in den Doubs. Es gibt Hinweise auf hohe Pyrethroidwerte bei kontinuierlichen Probenahmen des Doubs-Wassers (Walther 2017).
- Der Einfluss der Fischzucht in Soubey auf die Belastung des Doubs ist nicht abschliessend geklärt. Möglicherweise werden hier zeitweise Bakterien, Pyrethroide und Antibiotika eingetragen (Walther 2017).
- Der Rückbau der verbleibenden Wehre ist zum Teil geplant, es bestehen aber Zielkonflikte mit der Kleinwasserkraft (z.B. Theusselet) (SFV/FSP 2018).
- Im Dezember 2018 mahnte die Berner Konvention die Umsetzung und Ausweitung der Massnahmen zur Landwirtschaft an, wie etwa eine Kartierung von für den Eintrag von Schadstoffen sensiblen Gebieten im Einzugsgebiet des Flusses (Berner Konvention 2018).

9.3.4 Genfersee und Rhone

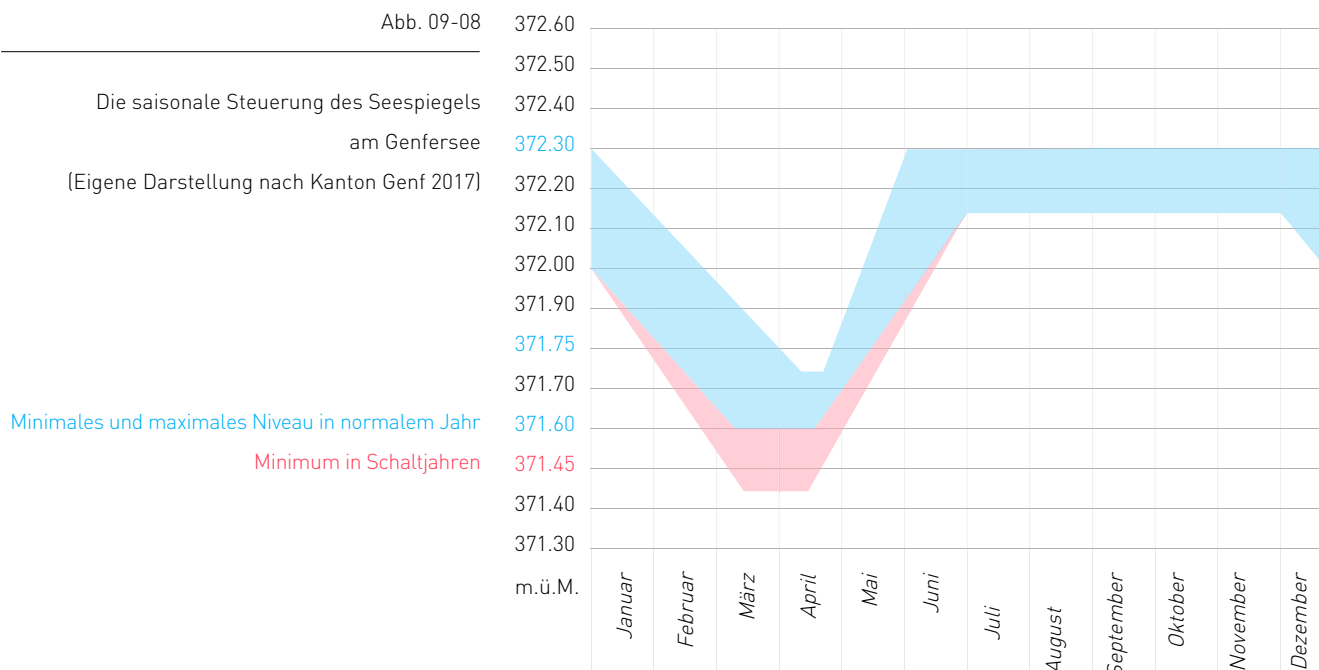
Der Genfersee ist mit 580 km² Fläche zugleich der grösste See Frankreichs als auch der Schweiz. Europaweit fasst kein anderes Binnengewässer eine grössere Wassermenge. 59.53% seiner Oberfläche entfallen auf die Schweiz, 40.47% auf Frankreich. Bei den Uferabschnitten ist der Schweizer Anteil mit 74% noch etwas höher. 900 000 Menschen beiderseits der Grenze beziehen Trinkwasser aus dem See (CIPEL 2018).

Die Bewirtschaftung des Genferseepiegels

Der Abfluss aus dem Genfersee in die Rhone – und damit der Wasserstand des Sees – wird von den Services Industriels de Genève (SIG) am Laufkraftwerk Seujet gesteuert. Die kurzfristige Feinregulierung richtet sich nach dem Strombedarf und ist in Ausführungsbestimmungen geregelt, die Art. 20 des Staatsvertrages zur Wassernutzung von Emosson präzisieren («Mésures d’Exécution d’Emosson», Details siehe nächster Abschnitt). Diese Ausführungsbestimmungen werden zwischen schweizerischen und französischen Behörden ausgehandelt und im Fünfjahresrhythmus überprüft und ratifiziert. Die Grenzwerte für den Wasserspiegel unterliegen den Bestimmungen eines interkantonalen Seereglements der drei Anrainerkantone Genf, Waadt und Wallis (Frankreich ist nicht beteiligt). Dieses legt für den Seespiegel monatsweise Koten fest, im Sommer von 372.30 m.ü.M. Wegen des Einflusses von Spiegelschwankungen auf die Seeufer (Ökologie, Zugänglichkeit, Bademöglichkeiten, Segelboothäfen) und den Bedürfnissen der Kursschifffahrt sollen die Schwankungen 5 cm nach unten und 10 cm nach oben nicht übersteigen (Conseil d’état Genève 1997).

Abb. 09-08

Die saisonale Steuerung des Seespiegels am Genfersee
(Eigene Darstellung nach Kanton Genf 2017)



Zum Zweck des Hochwasserschutzes wird der Seespiegel ab Dezember allmählich auf das Minimum von 371.70 m.ü.M. abgesenkt, um im Frühjahr Schneeschmelzwasser aufnehmen zu können und so Überflutungen der Seeufer und am Unterlauf der Rhone zu vermeiden. Der durch die Absenkung bewirkte zusätzliche winterliche Abfluss kommt zugleich der Stromerzeugung der SIG in Monaten mit hoher Elektrizitätsnachfrage zugute. Im April und Mai lässt man den Pegel des Sees wieder auf die Sommerkote ansteigen.

Die Krux besteht darin, dass das interkantonale Reglement ein Anheben des Seespiegels in den Monaten April und Mai und damit einen Wasser-rückhalt im See vorsieht, wodurch die Abflüsse in diesen Monaten reduziert sind. Frankreich argumentiert, dass dies nach einem trockenen Winter oder Frühling wie 1974 oder 2011 zu Problemen mit der Kühlung des nächstgelegenen Atomkraftwerks in Bugey führen kann, vor allem wenn im Mai hohe Temperaturen herrschen. Für die einwandfreie Kühlung dieses Kraftwerks haben die französischen Behörden einen Mindestabfluss der Rhone von 130 m³/s Abfluss festgesetzt.

Im Sommer sieht das interkantonale Reglement einen möglichst konstanten Seepegel vor, so dass sich der Abfluss des Genfersees dann vor allem nach den Zuflüssen zum See richtet. Diese werden durch die Bewirtschaftung der Hochgebirgsspeicher im Wallis beeinflusst, die im Sommer Wasser zurückhalten, um die während des Winters für die Stromgewinnung entleerten Speicher zu füllen. Das Gesamtvolumen aller Speicherseen von 1.2 Mrd. m³ entspricht rechnerisch einer Pegeldifferenz von zwei Metern im See (1.2 Mrd. m³, 1 cm Seepegel = 5.8 Mio. m³).

Sonderfall Kraftwerk Emosson

Kompliziert werden die bilateralen Beziehungen durch das Kraftwerk Emosson. 1963 einigten sich die Schweiz und Frankreich auf den Bau dieses grossen gemeinsamen Wasserkraftprojekts bei Emosson, dessen Turbinen Wasser aus beiden Staatsgebieten zufließt (und dessen Stromausbeute anhand dieser Wassermengen aufgeteilt wird). Der französische Zufluss stammt aus dem Einzugsgebiet der Arve und gelangt nach der Nutzung über die Rhone in den Genfersee.

Gemäss dem Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Französischen Republik über den Ausbau der Wasserkräfte bei Emosson, abgeschlossen am 23. August 1963 (Bundesrat o. J.c) wird dieses im Genfersee aufbewahrte Wasser «auf Verlangen der zuständigen

französischen Behörden zur Verbesserung der Nutzungsmöglichkeiten des Rhonewassers in Frankreich, besonders hinsichtlich der Schifffahrt, abgegeben» (Art. 20, Emosson-Abkommen). Zusätzlich hält Art. 20 fest, dass «der so im Genfersee verfügbare Wasservorrat ... das einer Wasserschicht von 150 mm entsprechende Volumen nicht überschreiten» darf. Daraus errechnet sich eine jährliche verhandelbare Wassermenge von 87 Mio. m³.

Weiter heisst es im Abkommen: «Um die gegenwärtigen Verhältnisse hinsichtlich der Nieder- und Hochwasserstände des Genfersees aufrechtzuerhalten und um die Nutzung der vorgenannten zusätzlichen Wasserabgaben in den Kraftwerken La Colouvrenière, Verbois und Chancy-Pougny zu erleichtern, werden die Speicherungen im Genfersee und die zusätzlichen Wasserabgaben in Genf gewissen Einschränkungen unterworfen werden können. Die zuständigen Behörden beider Staaten werden im gegenseitigen Einverständnis die erforderlichen Ausführungsbestimmungen aufstellen.» Für die Klärung von Unstimmigkeiten ist ein Schiedsgericht vorgesehen (Art. 21-23 Emosson-Abkommen).

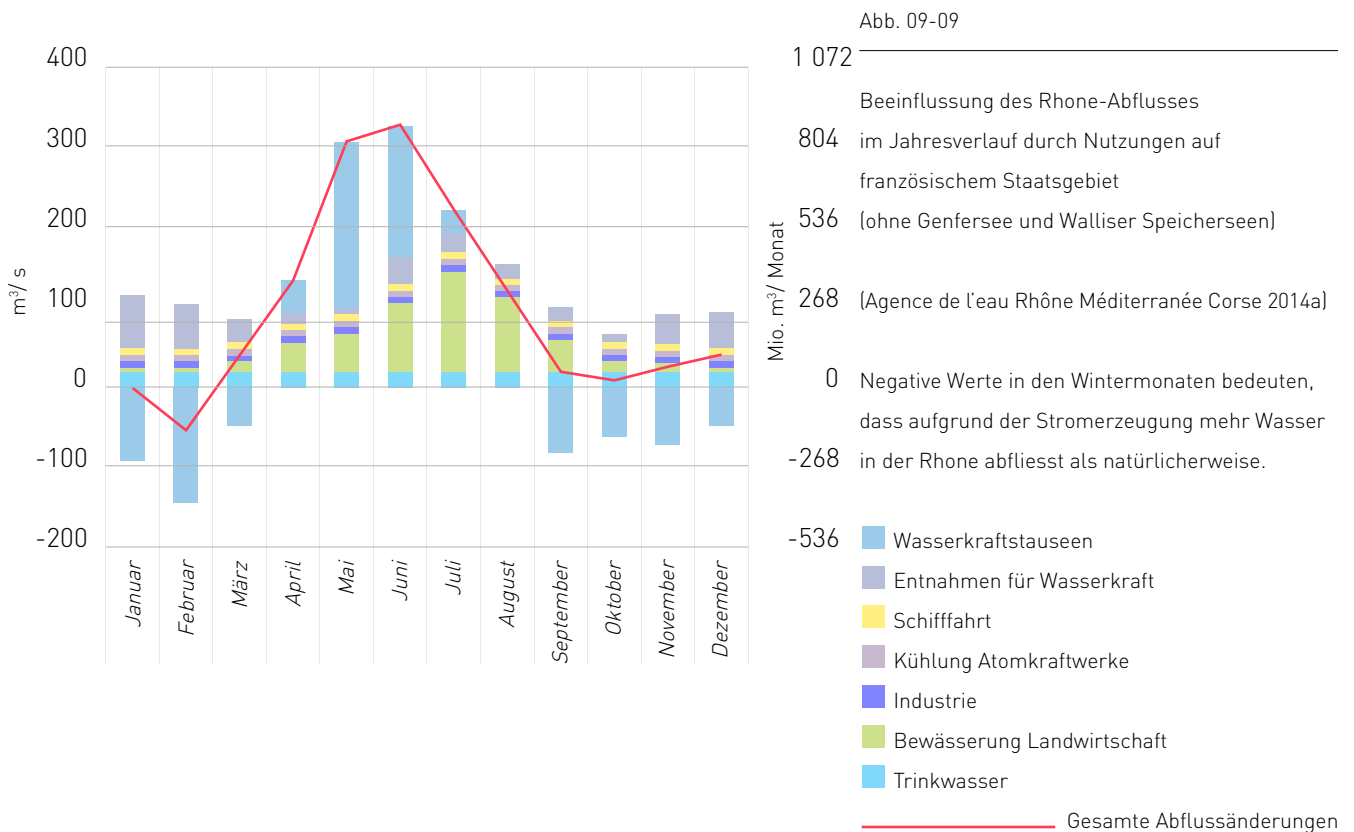
Nachdem die Ausführungsbestimmungen zum Emosson-Abkommen in den Jahren 2004, 2009 und 2014 unverändert ratifiziert wurden, verlangte die zuständige französische Behörde vor dem Hintergrund des Klimawandels und den Erfahrungen im trockenen und abflussarmen Winter und Frühjahr 2011 eine Diskussion über allfällige Anpassungen. Diese Verhandlungen konnten im Frühjahr 2019 erfolgreich abgeschlossen werden. Die Ausführungsbestimmungen wurden so optimiert, dass selbst in hydrologisch kritischen Phasen der Abfluss aus dem Genfersee die Marke von 150 m³/s möglichst nicht unterschreitet. Eine Anpassung der maximalen und minimalen Koten für den Seespiegel im Interkantonalen Abkommen war dazu nicht nötig, die französischen Behörden erhalten aber einen grösseren Einfluss auf die kurzfristige Abflusssteuerung (Schweizerische Eidgenossenschaft und République Française 2019).

Wohl unter dem Einfluss des trockenen und abflussarmen Winters und Frühjahrs 2011 forderte Frankreich die Schweiz zudem auf, sich an der Erarbeitung eines gemeinsamen vertraglichen Rahmens über die Rhone zu beteiligen. Zunächst erstellten die beiden Länder ein Inventar der gemeinsamen mit Wasser befassten Gremien im Rhonegebiet sowie Faktenblätter über die Hauptthemen (Wasserqualität, Wassermengen). Zugleich wurden erste Elemente eines bilateralen Vertrags über die grenzüberschreitende Kooperation an der Rhone erarbeitet.

Bei den Verhandlungen stehen Mengenaspekte im Vordergrund, namentlich die Steuerung des Abflusses des Genfersees. Qualitative Fragen spielen eine untergeordnete Rolle, denn Gemeinden auf beiden Seiten der Grenze nutzen den See als Trinkwasserressource und wachen seit Jahrzehnten in einer gemeinsamen Kommission (CIPEL) über seine Qualität. Die vorgesehene gemeinsame Bewirtschaftung soll aber auch die Trinkwassergewinnung, thermische Nutzungen von See und Fluss, Geschiebefragen (Geschiebespülungen an Laufkraftwerken), die Seeschifffahrt und den Hochwasserschutz umfassen.

Das Interesse Frankreichs

Das grosse Interesse Frankreichs an einer grenzüberschreitenden Bewirtschaftung begründet sich mit der intensiven Nutzung der Rhone auf französischem Territorium. Einerseits befinden sich im weiteren Verlauf der Rhone vier Kernkraftwerke mit vierzehn Blöcken, die zur Kühlung auf Flusswasser angewiesen sind. Sie ist aber auch Gegenstand eines umfassenden Mengenmanagements, das neben Kraftwerkskühlung, Trinkwasserversorgung und Industrie in erster Linie auf die Wasserkraftnutzung und die landwirtschaftliche Bewässerung zugeschnitten ist. Die Wirkung der dem Flusssystem entnommenen Wassermengen auf den Abfluss der Rhone sind in Abb. 09-09 aufgeschlüsselt.



Ausserdem wird Wasser aus der Rhone und den sie begleitenden Grundwasserleitern für die landwirtschaftliche Bewässerung eingesetzt, verstärkt in trockenen Sommern wie 2018, wenn für Grundwasser und Quellen Entnahmeverbote gelten (Préfet du Rhône 2018). Insgesamt werden mit Wasser aus der Rhone oder ihrem Grundwasserstrom 221 000 Hektaren bewässert, was im Juli den Abfluss der Rhone alleine schon um 135 m³/s (Normaljahr) bis 155 m³/s (Trockenjahr) vermindert (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse 2014b). Nach und nach findet eine weitere Erhöhung der Rhone-Entnahmen statt. Die 140 Getreidebauern von Ain bewässerten ihre 14 000 Hektaren bisher mit 30 Mio. m³ Wasser aus lokalen Ressourcen. Seit 2018 werden stattdessen weitere 16 Mio. m³ direkt der Rhone entnommen (Le Progrès 2018).

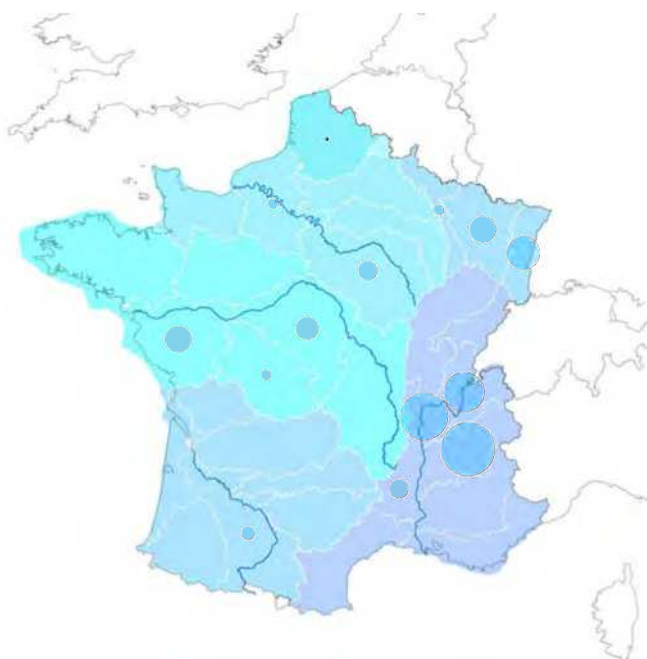
Von besonderer strategischer Bedeutung ist die Kühlung der Kernkraftwerke (siehe Abb. 09-10). Sie verbraucht zwar netto nur wenig Wasser (durch Verdunstung über Kühltürme), benötigt aber enorme Durchflussmengen. Für die Schweiz bedeutsam ist das KKW Bugey, für das die französischen Behörden bei Vollast einen Mindestabfluss der Rhone von 130 m³/s festgesetzt haben (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse 2014a). Als durchschnittlicher Jahresbedarf werden 2'363 Mio. m³ angegeben (Datalab 2017). Dieser hohe Bedarf wird durch die Durchflussskühlung im zweitältesten KKW Frankreichs verursacht. Das KKW Cruas flussabwärts verfügt über eine Kreislaufkühlung und benötigt weitaus geringere Wassermengen (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse 2014a).

Abb. 09-10

Kein anderes Flussgebiet Frankreichs wird stärker für die Kraftwerkskühlung in Anspruch genommen als das der Rhone (Datalab 2017)

Dies könnte sich bei Abschaltung von KKW und deren Ersatz durch verdampfungsgekühlte Kraftwerke auf einen Bruchteil vermindern

○ = 4 895 Mio. m³/a



Der für die Kühlung von Bugey nötige Mindestabfluss lässt sich in Trockenphasen wie im Frühjahr 2011 am einfachsten durch die Regulierung des Genfersees sicherstellen, da der andere grosse Zufluss der Rhone oberhalb Bugey, die Arve, über keine Speicherkapazitäten verfügt.

Um diese hohe Nachfrage flexibel bedienen zu können, streben die französischen Behörden Mitspracherechte bei der Steuerung des Abflusses des Genfersees an und idealerweise auch bei der Bewirtschaftung der Stauseen im schweizerischen Einzugsgebiet der Rhone.

(«Concernant le point nodal de la frontière franco-Suisse, il est proposé de définir un mode de gestion partagée des débits plutôt qu'une valeur minimale stricte, dans le cadre d'un échange intergouvernemental» (Agence de l'Eau Rhone Méditerranée Corse 2014a)).

Überdies argumentiert die französische Seite, dass 26% des Ufers und 40% der Oberfläche des Genfersees auf französischem Territorium liegen und deshalb eine gemeinsame Bewirtschaftung des Sees angemessen wäre. Auch sei infolge des Klimawandels mit grösseren hydrologischen Veränderungen im Einzugsgebiet der Rhone zu rechnen, auf die man vorausschauend mit gemeinsamen Bewirtschaftungsstrategien reagieren sollte (Eaufrance o. J.).

Grundlage für die wasserwirtschaftliche Zusammenarbeit an grenzüberschreitenden Gewässern ist das Helsinki-Abkommen. Es verpflichtet Staaten, «sicherzustellen, dass grenzüberschreitende Gewässer mit dem Ziel einer ökologisch verträglichen und rationellen Wasserbewirtschaftung sowie des Schutzes der Wasserressourcen und der Umwelt genutzt werden». Diesem Prinzip sollten sich beide Seiten verpflichten und die bilaterale wasserwirtschaftliche Abstimmung langfristig – auf Jahrzehnte hinaus – anlegen. Dabei gilt es nicht nur den Klimawandel zu berücksichtigen, sondern auch potenzielle Anpassungen der zukünftigen Wassernutzung.

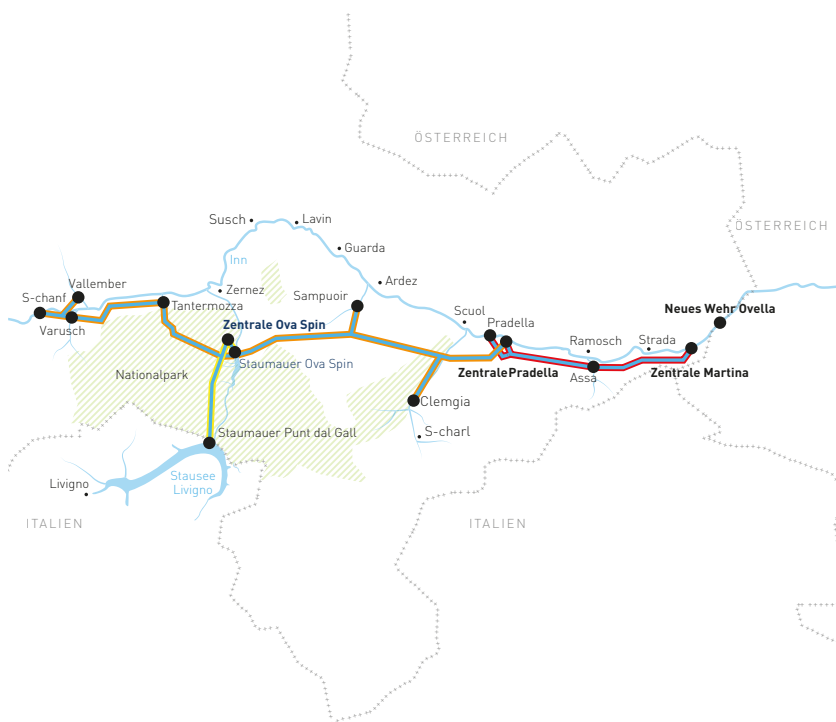
9.3.5 Inn

Der Inn, Hauptfluss und Namensgeber des Engadins im äussersten Osten der Schweiz, überschreitet die Grenze zu Österreich in einer engen Schlucht unterhalb des Weilers Martina. Der grösste Teil seines Abflusses erreicht den Grenzort allerdings nicht im Flussbett, sondern durch einen Stollen an der rechten Talseite, wird in Martina turbiniert und in den Inn zurückgeleitet. Zudem führt der Stollen Wasser aus dem Livigno-Stausee, der wiederum überwiegend auf italienischem Terrain liegt. Im Stausee sammelt sich im Sommer Schmelzwasser aus den umliegenden Bergen, er kann aber auch im Sinne einer Pumpspeicherung mit Innwasser beschickt werden. Bei hohem Strombedarf (und hohem Strompreis) im Winter wird das im Livigno-Stausee gespeicherte Wasser in drei Kraftwerksstufen turbiniert, in Ova Spin und Pradella bei S-chanf und schliesslich nochmals an der Landesgrenze in Martina.

Abb. 09-11

Grenzüberschreitende Stromgewinnung:
Die Wasserkraftanlagen der Engadiner Kraftwerke (EKW) sammeln und verstromen Wasser aus dem Inn als auch von italienischem Staatsgebiet. Durch den italienischen Livigno-Stausee können Abflüsse vom Sommer in den Winter verschoben werden.

Der Schwall unterhalb der Zentrale Martina wirkte sich bis zur Fertigstellung des neuen Wehrs Ovella an der Landesgrenze vor allem auf den österreichischen Abschnitt des Inns aus
(Quelle: eigene Bearbeitung nach EKW o. J.)



- Stufe Livigno–Ova Spin ■
- Stufe S-chanf–Pradella ■
- Stufe Pradella–Martina ■

Weil das Wasser bedarfsabhängig auf die Turbinen und weiter in den Inn geleitet wird, fluktuiert der Abfluss unterhalb Martina stark. 93 m³/s können durch den Stollen geleitet werden, während der Restinn hier nur noch 2 bis 5 m³/s führt. Entsprechend gross sind die Schwall-Sunk-Effekte: der Wasserstand im Fluss steigt und fällt sprunghaft um bis zu 1.5 m, die Wassermenge kann innert kürzester Zeit um das Dreissigfache variieren. Die Auswirkungen betreffen fast ausschliesslich den österreichischen Abschnitt des Inns und verhindern dort die nach EU-Rahmenrichtlinie erforderliche Erreichung eines guten ökologischen Zustands.

Um dieses Problem zu lösen, haben sich die Schweiz und Österreich auf ein Projekt geeinigt, das sowohl die Schwallbelastung reduzieren, in erster Linie aber die Wasserkraftnutzung am Inn steigern soll: Das Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI). Mit einem 15 Meter hohen Stauwehr bei Ovella unterhalb von Martina wird der Inn zu einem 2,6 km langen See aufgestaut. Dieser soll einerseits den Schwall des Kraftwerks Martina abdämpfen, andererseits als Vorratsbecken für ein neues Wasserkraftwerk dienen. Vom neuen Stausee bis Prutz in Tirol leitet ein 23 km langer Druckstollen (Durchmesser 5,8 m) im Fels der rechten Talflanke den überwiegenden Teil des Innabflusses (plus Wasser aus dem Livignostausee) auf die Turbinen des neuen Gemeinschaftskraftwerks. Die Ausbaumenge des neuen Stollens beträgt 75 m³/s, die Restwassermenge unterhalb Ovella wurde jahreszeitenabhängig und dynamisch auf 5,5 bis 20 m³/s festgelegt.

Abb. 09-12



Gemeinschaftskraftwerk Inn, Übersichtskarte
(Quelle: eigene Bearbeitung nach GKI o. J.)

- 1 Stauraum und Wehr Ovella
- 2 Fensterstollen Maria Stein
- 3 Druckstollen
- 4 Wasserschloss
- 5 Apparatekammer
- 6 Zugangstunnel
- 7 Schrägschacht gepanzert
- 8 Flachstrecke
- 9 Verteilrohrleitung
- 10 Krafthaus Prutz/ Ried
- 11 Unterwasserkanal
- 12 Rückgabebauwerk

Auch wenn der Inn zwischen Martina und Prutz in Zukunft überwiegend in einem Stollen verschwindet und zu einer Restwasserstrecke wird, wurde die Schwall-Sunk-Sanierung von den Bewilligungsbehörden beider Staaten als bedeutender öffentlicher Nutzen gewertet. Die Fischgängigkeit wird durch eine 81-stufige Fischtreppe und eine Abstiegshilfe in Ovella erhalten.

Die Kosten des GKI-Projektes werden gemeinsam von den österreichischen und schweizerischen Partnern getragen (86% TIWAG, 14% EKW), wobei für die Engadiner Kraftwerke neben dem künftigen Stromertrag auch die Schwall-Sunk-Sanierung des bestehenden Kraftwerks Martina wichtig ist. Die hierfür anfallenden Kosten werden den EKW aus einer bei allen Konsumenten erhobenen Stromabgabe (Netzentgelt nach Energiegesetz) erstattet.

Im Resultat verbindet das Gemeinschaftskraftwerk grenzübergreifend das ökologisch Notwendige mit dem wirtschaftlich Nützlichen. Die Schwall-Sunk-Probleme zwischen Martina (CH) und Prutz (A) werden abgemildert (allerdings um den Preis einer neuen Restwasserstrecke von 23 km), das neue 89 MW-Kraftwerk wird Strom für rund 89 000 Haushalte bereitstellen. Der Schwall bei der Rückgabe des Wassers am neuen Kraftwerk in Prutz soll durch ein Schlauchwehr auf Schwankungen auf maximal 10 cm pro Minute begrenzt werden, bleibt aber ökologisch kritisch (TIWAG 2014). Nach 2.7 km freier Fließstrecke des Inns folgt flussabwärts bereits das Staubecken Runserau des KW Imst.

Neben der Wasserkraft ist auch die Qualität des Inns ein Thema auf der internationalen Agenda. Die bestehenden ARAs sind vor allem im Oberengadin nicht mehr auf dem Stand der Technik und werden durch eine neue regionale ARA in S-chanf ersetzt, die circa 2021 in Betrieb gehen soll (Abwasserreinigung Oberengadin 2016). Dadurch wird sich die Qualität des Inns deutlich verbessern, obwohl gemäss Gewässerschutzverordnung in diesem Fall keine zusätzlichen Reinigungsstufen für die Reduzierung von Mikroverunreinigungen vorgeschrieben sind. Die Verbesserung ist nicht nur im Interesse des Unterliegers Österreich, sondern auch bedeutsam für den (auf italienischem Gebiet liegenden) Livigno-Stausee. Weil nämlich der Ablauf der ARA S-chanf über den EKW-Kanal ins Speicherbecken Ova Spin gelangt und von dort zeitweise in den Stausee gepumpt wird, finden auch die darin enthaltenen Schadstoffe den Weg dorthin.

9.4. Die Zukunft

9.4.1 Klimawandel und Bewirtschaftung grenzüberschreitender Gewässer

Die Grundannahmen für alle alpinen Flüsse – Rhein, Rhone, Ticino, Inn – sind klar: durch die steigende Schneegrenze wird sich der sommerliche Schneewasseranteil vermindern und mehr Wasser im Winterhalbjahr abfließen. Hinzu kommt der sukzessive Wegfall der meisten Gletscher bis Mitte des Jahrhunderts. Bei der Summe der Niederschläge über das gesamte Jahr wird keine klare Tendenz erwartet, doch kann die Menge

von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausfallen und sich sehr ungleich verteilen. Ein gutes Beispiel dafür waren Sommer und Herbst 2018.

Am Doubs mit seinem nivopluvialen Abflussregime liegen die Dinge anders, da die Schneeschmelze eine weit geringere Rolle spielt als bei Gewässern alpinen Ursprungs. Die dominierenden Karstböden können kaum Wasser zurückhalten, und schon zwei Wochen ohne Niederschlag wirken sich spürbar auf den Abfluss der Oberflächengewässer und die Bodenfeuchte aus (CESER Franche-Comté 2015). Im Sommer und Herbst 2018 versiegte der Doubs unterhalb Pontarlier ganz, der Lac des Brenets fiel für Wochen trocken, ebenso der berühmte Saut du Doubs.

Die wasserwirtschaftliche Abstimmung mit den Nachbarstaaten wird durch diese vom Klimawandel ausgelöste Verschiebung der hydrologischen Koordinaten noch wichtiger. Im Mittelpunkt stehen die saisonale Verlagerung der alpinen Abflüsse vom Sommer- ins Winterhalbjahr und beim Hochwasserschutz zunehmende Extremereignisse (Hochwasser, Geschiebemobilisierung).

Der klimabedingte Regimewechsel lässt sich nur durch gesamthafte, nutzungs- und sektorenübergreifende Planung bewältigen, das gilt auch für die internationale Zusammenarbeit. Eine optimierte Abflusssteuerung reicht hierfür nicht. Erstens ist das Steuerungspotenzial selbst an grossen Flüssen und Seen begrenzt, zweitens muss grundsätzlich auch der Wassereinsatz einer Optimierung unterzogen werden (Demand Management). In der Regel besteht beim Wassereinsatz weit grösseres Potenzial, den Druck auf die Wasserressourcen zu vermindern – und damit auch für grenzüberschreitende Lösungen.

9.4.2 Einfluss sozioökonomischer Veränderungen

Die Einflüsse zukünftiger sozioökonomischer Entwicklungen auf die Bewirtschaftung der Grenzgewässer sind vielfältig. Denkbar ist etwa, dass die Nachbarstaaten, in erster Linie die Unterlieger, in Zukunft steigenden Bedarf an Kühlwasser für die Gebäude- und Industriekühlung (Rhone, Rhein), Bewässerungswasser (Rhone, Ticino) und für die Wasserkraft (Rhone, Ticino) geltend machen.

Bedacht werden muss auch die Abhängigkeit der Schweiz von Importen über den Rhein, die nicht wesentlich erhöht werden sollte bzw. für die Alternativen (Verlagerung auf die Schiene) vorgehalten werden müssen.

Tendenziell wird in trockenen Zeiten ein grösserer Anteil des Abflusses ins Ausland für die Ökologie bereitgestellt werden müssen, um in den Unterläufen der Flüsse eine intakte Flora und Fauna aufrecht zu erhalten.

Am Rhein könnten für die Unterlieger bei saisonal zurückgehenden Abflüssen Qualitätsfragen wichtiger werden, wie es heute schon bei den Chloridkonzentrationen der Fall ist. Denn an Rhein und Rhone wird ein grosser Teil der Bevölkerung direkt oder indirekt mit Flusswasser versorgt. In geringerem Mass können die grenzüberschreitenden Seen in Hitzephasen auch durch Algenblüten oder Sauerstoffarmut Qualitätsprobleme erfahren, welche die Gewinnung von Trinkwasser erschweren. In besonderem Masse gilt dies für den Luganersee.

9.5 Zielkonflikte und Synergien

9.5.1 Mit anderen Nutzungsansprüchen in der Schweiz

Zwei Nutzungsinteressen der Schweiz können von Unterliegeransprüchen vor allem betroffen sein: die Wasserkraft und – im Falle der Ufer von Genfersee und Lago Maggiore – die touristische Nutzung. In geringerem Mass könnte auch deren Seeökologie zum Thema werden (siehe 9.5.2).

Wasserkraft

An der Rhone betreffen die Wünsche Frankreichs nicht nur die Regulierung des Genfersees, sondern auch der Speicherseen in dessen Einzugsgebiet. Das strategische Interesse der Schweiz an winterlicher Stromgewinnung (mit sommerlicher Füllung von Speicherseen) und dasjenige Frankreichs an sommerlicher Kühlung von Kernkraftwerken und landwirtschaftlicher Bewässerung stehen zeitlich miteinander in direkter Konkurrenz. Auch von italienischer Seite wird bemängelt, dass im Sommer das für die Füllung von Speicherseen in den Schweizer Bergen zurückgehaltene Wasser zu niedrigen Wasserständen im Unterlauf des Ticino führt. Aus Schweizer Sicht würde eine Steigerung der Abflüsse im Sommer eine Verminderung der Stromausbeute der alpinen Speicherkraftwerke im Winter nach sich ziehen.

Seeufer

An Seeufern wird im Sommer ein Wasserstand bevorzugt, der hoch genug für Kurs- und Freizeitschiffahrt sowie gut erreichbare und attraktive Badeplätze ist, andererseits aber nicht zu hoch, um noch ausreichend Puffer zur Aufnahme von Starkniederschlägen zu bieten. Dies spiegelt sich im interkantonalen Regulierungsreglement des Genfersees wieder, das nur eine geringe Schwankungsbreite vorsieht. Das Reglement des Lago Maggiore dagegen, das stärker auf die unterliegenden Nutzungen ausgerichtet ist, ist viel weiter gespannt und ermöglicht eine Bewirtschaftung des Seespiegels im Sommer um bis zu 1,5 Meter. Die Unterlieger möchten diese Spanne gar auf 2 Meter ausweiten, um bessere Bedingungen für die Bewässerung zu schaffen.

9.5.2 Mit Schutzziele für Ökologie und Hochwasserschutz

An Luganersee und Lago Maggiore ist auch die Ökologie ein zentraler Bestandteil der internationalen Abstimmung. So wurde unter anderem ermittelt, welche saisonalen Wasserstände für das Gedeihen der Schilfbestände am Luganersee optimal sind (Salvetti 2014). Für die Bolle di Magadino am Oberen Ende des Sees, dem von Ticino und Verzasca gebildeten naturbelassenen Delta, sind hohe Wasserstände schädlich, da sie die Insektenfauna und damit die Nahrungsgrundlage tausender Zugvögel gefährden.

9.6 Potenzielle Lösungsansätze

Grundvoraussetzung jeder internationalen Abstimmung ist eine grenzüberschreitend koordinierte wasserwirtschaftliche Planung. Sie sollte sich daran orientieren, wie die Bewirtschaftung gestaltet würde, wenn sie ganz in der Verantwortung nur eines Staates läge. Konkret: Wie würde ein Unterliegerstaat die Kraftwerksspeicher in den Alpen bewirtschaften, wenn sie ganz auf seinem Territorium lägen? Und wie würde ein Oberlieger entscheiden, wenn er auch die Nutzungen am Unterlauf zu sichern hätte?

Wasser muss verstärkt in den Mittelpunkt gesellschaftlicher Planung rücken. Zielkonflikte um Wasser und Gewässer werden durch Klimawandel und Wachstumsprozesse zunehmen, und Wasser könnte in weiteren Nutzungssektoren zum limitierenden Faktor werden. Die Ressource Wasser und die Ökologie der Gewässer sollten daher bei allen Planungen (Raumplanung, Energie, Landwirtschaft) integral und von Beginn an einbezogen werden. Das brachliegende Potenzial für einen effizienteren und schonenderen Wassereinsatz ist enorm. Zum Beispiel liesse sich der Kühlwasserbedarf an der Rhone mit modernen verdampfungsgekühlten Kraftwerken auf einen Bruchteil reduzieren. Ähnlich grosse Einsparmöglichkeiten gibt es in der Landwirtschaft.

Der Gedanke des Demand Management – die Pflicht und Notwendigkeit, den Gewässern so wenig Wasser zu entnehmen wie möglich – muss in allen Sektoren Einzug halten. Die Lösung liegt nicht in der Bereitstellung immer neuer, zusätzlicher Wasserressourcen (gleich ob aus dem In- oder Ausland), sondern in der Optimierung der Nutzungen.

9.7 Wissenslücken/ Forschungsbedarf

- Wie lassen sich Konflikte um Wasser und Gewässer besser öffentlich kommunizieren und verständlich machen?
Was legt zum Beispiel die Priorität eines auf Jahrzehnte angelegten Unternehmens wie Rhesi am Alpenrhein gegenüber kurzfristigen Interessen überzeugend dar?
- Wie lässt sich Vertrauen schaffen auf beiden Seiten der Grenze in den Nutzen gemeinschaftlicher Lösungen/ Bewirtschaftung?
Kann Wasser als geografisch und symbolisch verbindendes Element auch als völkerverbindendes Medium dienen?
- Wo liegen Win-Win-Potenziale, auch unkonventionelle?
In der Region Genf gibt es bereits zahlreiche grenzüberschreitende, für beide Seiten vorteilhafte Wasserkooperationen.
Eine Motion im Grand Conseil des Kantons schlägt vor, die Trinkwassergewinnung aus dem Grundwasser unter Bächen im Nordwesten Genfs auf Seewasser umzustellen, um die dortigen übernutzten grenzüberschreitenden Bäche von Entnahmen zu entlasten – zum beiderseitigen Nutzen (Kanton Genf 2018). Dieser Geist sollte sich auch in anderen Wasserfragen durchsetzen.

9.8 Literatur

Abwasserreinigung Oberengadin (2016)

[ARA Oberengadin – Projekt regionale Abwasserreinigungsanlage](#)

Botschaft der Delegiertenversammlung des Verbandes Abwasserreinigung Oberengadin (ARO)
Celerina, 62 Seiten

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (2014a)

[Étude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage – constats et recommandations](#)

Lyon, 26 Seiten

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (2014b)

[Étude de la gestion quantitative du fleuve Rhône à l'étiage – principaux résultats](#)

Lyon, 26 Seiten

ARE (2017)

[Richtplan Kanton Aargau Gesamtrevision – Prüfungsbericht](#)

Bern, 54 Seiten

Axpo (2018)

[Strom vom Strom](#)

Energiedialog, Axpo-Magazin, Baden

BAFU (2016a)

[Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein](#)

Reihe Umwelt-Zustand, Bern, 72 Seiten

BAFU (2016b)

[Der Lago di Lugano – Zustand bezüglich Wasserqualität](#)

Faktenblatt, Bern, 9 Seiten

BAFU (2016c)

[Der Lago Maggiore – Zustand bezüglich Wasserqualität](#)

Faktenblatt, Bern, 6 Seiten

BAFU (2018)

[Plan d'action national en faveur du Doubs - Catalogue des mesures - Etat 2018](#)

Bern, 61 Seiten

BAFU et al. (2019)

[Hitze und Trockenheit im Sommer 2018 - Auswirkungen auf Mensch und Umwelt](#)

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909, 91 Seiten

BAFU (o. J.)

[Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler BLN](#)

BAFU-Webseite

Berner Konvention (2018)

[List of decisions and adopted texts, 38th Meeting](#)

Strasbourg 27.-30.11.2018, Seite 14

BFE (2019)

[Zwischenverfügung des Bundesamtes für Energie in Sachen Axpo Power AG betreffend Verfahren bezüglich allfällige Anpassung bzw. Neuerteilung der Bewilligung des Bundesrates vom 15. Dezember 1997 betreffend Einleitung von Kühlwasser für die Kernkraftwerke Beznau I und II](#)

Biesboer, F. (2018)

[Can our Delta cope with the drought?](#)

In: De Ingenieur vom 06.08.2018

Boismartel, M. (2015)

[Analyse spatiale agricole du bassin versant du Doubs jurassien](#)

Projekt Pro Natura Doubs, 54 Seiten

Brunnarius, I. (2019)

[Réchauffement climatique : un effet d'aubaine pour les rivières comtoises ?](#)

In: Le blog de la Loue et des rivières comtoises, France Info, 06.03.2019

Bundesrat (2017)

[Unterzeichnung des gemeinsamen Wasserreglements für die Kraftwerke am Doubs](#)

Medienmitteilung vom 13.10.2017, Bern

Bundesrat (2019)

[«Rhein 2040» – Die Schweiz engagiert sich für die nachhaltige Entwicklung des Rheins](#)

Verhandlungsmandat des Bundesrats vom 20.12.2019

Bundesrat (o. J. a)

[Webseite zur Berner Konvention](#)

Bundesrat (o. J. b)

[Webseite zu internationalen Abkommen](#)

Bundesrat (o. J. c.)

[Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Französischen Republik über den Ausbau der Wasserkräfte bei Emosson vom 23. August 1963](#)

CESER Franche-Comté (2015)

[Le climat change, la Franche-Comté s'adapte](#)

Sommaire des Klimaberichts für die Region Franche-Comté. Besançon, 16 Seiten

CIPEL (2018)

[Informations-Bulletin No. 55](#)

Nyon, 8 Seiten

Conseil d'état Genève (1997)

[Règlement sur la manœuvre de l'ouvrage de régularisation du niveau du lac Léman à Genève](#) (RMORN)
vom 17. September 1997

Datalab (2017)

[Les prélèvements d'eau douce en France : les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans](#)

Republique Française, Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (Hrsg.), Paris

Disse, M. et al. (2018)

[Die Regulierung des Bodensees – Planungen und Realisierungsansätze in zwei Jahrhunderten](#)

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

Bericht Nr. I-26, Utrecht, 165 Seiten

Dönni, W. et al. (2019)

[Fischereimanagement Hochrhein – Strategieplan 2025](#)

Internationale Fischereikommission (Hrsg.), 63 Seiten

Eaufrance (o. J.)

[L'eau dans le bassin Rhône-Méditerranée – Gouvernance franco-suisse des eaux du bassin versant du Rhône](#)

EKW (o. J.)

[Anlagenübersicht auf Webseite](#)

ETPB Saône et Doubs (2011)

[Projet intégré Doubs franco-suisse](#) – Etats des lieux/ diagnostic du bassin versant

Gandolfi, C. (2003)

[Ricerca sui consumi irrigui e le tecniche di irrigazione in Lombardia](#)

Università degli Studi di Milano, Istituto di Idraulica Agraria, 225 Seiten

GKI (o. J.)

[Anlagenübersicht auf Webseite](#)

Groupe de travail binationale (2014)

[Plan d'action visant à réduire les impacts des activités humaines sur la qualité du Doubs franco-suisse](#)

37 Seiten

IGKB (2018)

[Bodensee-Richtlinien 2005](#)

IKSR (2009)

[International koordinierter Bewirtschaftungsplan für die internationale Flussgebietseinheit Rhein, Teil A](#)

Koblenz, 106 Seiten

IKSR (2010)

[Strategie Mikroverunreinigungen](#)

Strategie für die Siedlungs- und Industrieabwässer Bericht No. 181. Koblenz, 14 Seiten

IKSR (2017)

[Mikroverunreinigungen im Rheineinzugsgebiet – Bilanz 2017](#)

IKSR-Bericht No. 246. Koblenz, 53 Seiten

IKSR (2019)

[IKSR-Empfehlungen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen in Gewässern](#)

IKSR-Bericht No. 253. Koblenz, 16 Seiten

IKT (2010)

[Aktualisierung des Hochwasserabfluss-Längsschnitts für den Hochrhein](#)

Endbericht, Karlsruhe, 64 Seiten

Kanton Genf (2017)

[Le niveau du lac varie. Plaquette de l'office cantonal de l'eau](#)

(OCEau)

Kanton Genf (2018)

[Rapport de la commission des affaires communales, régionales et internationales chargée d'étudier la proposition de motion M 2457-A](#)

Secrétariat du Grand Conseil, 27.11.2018. Genf, 25 Seiten

Keller, M. (2013)

[Entwicklung der Rheinwassertemperaturen in den letzten Jahrzehnten](#)

Vortrag beim Workshop «Auswirkungen des Klimawandels auf das Flussgebiet Rhein» am 31.01.2013 in Bonn

Leimgruber, W. (2017)

[Grenzen](#)

In: Historisches Lexikon der Schweiz, Bern

Le Progrès (2018)

[Lagnieu : pomper l'eau du Rhône pour sauver la rivière d'Ain](#)

In: Le Progrès vom 12.10.2018

Mazacek, J. et al. (2016)

[Vom Unfall zur präventiven Überwachung](#)

Aqua & Gas No. 11, Seiten 66 – 75

Nachbaur, U. (2007)

[Vorarlberger Territorialfragen 1945 bis 1948](#)

Forschungen zur Geschichte Vorarlbergs, Band 8. Vorarlberger Landesarchiv (Hrsg.), 380 Seiten

Negri, G. (2016)

[Progetto ISIL, Relazione finale, Parte 1](#)

Milano, 206 Seiten

Préfet du Rhône (2018)

[Arrêté Sécheresse du 4 Octobre 2018](#)

Råman Vinnå, L. et al. (2017)

[Physical effects of thermal pollution in lakes](#)

Water Resources Research, No. 53, Seiten 3968 – 3987

Regione Lombardia (2015)

[Lombardy Agriculture in Figures 2015](#)

Milano, 188 Seiten

Rhesi (2018)

[Wichtiger Meilenstein erreicht](#)

Rhesi-Magazin No. 11

RKR (2017)

[Neukonzessionierung Kraftwerk Reckingen – Protokoll Frühe Öffentlichkeitsbeteiligung](#)

Reckingen, 8 Seiten

Ruff, M. et al. (2013)

[20 Jahre Rheinüberwachungsstation – Erfolge und analytische Neuausrichtung in Weil am Rhein](#)

Aqua & Gas No. 5, Seiten 16 – 25

Salvetti, A. (2014)

[Il progetto STRADA](#)

In: Orioni, P.: Dati - Statistiche e società, A. XIV, No. 1, Ustat, Giubiasco, 120 Seiten

Schneider, R. (2004)

[Die Schiffbarmachung des Hochrheins – Eine Chronik](#)

Natur + Mensch No. 3, Seiten 20 – 29

Schweizerische Eidgenossenschaft und République française (2019)

Emosson – Mésures d'exécution 2020

Commission Franco-Suisse d'étude pour le stockage dans le Léman des eaux d'Arve dérivées dans Emosson (Hrsg.)

SFV/FSP (2018)

[Communiqué de presse](#)

05.12.2018

Steiner, R. (2005)

[Der Ausbau des Hochrheins zur Schifffahrtsstrasse - Die Geschichte eines gescheiterten Grossprojekts](#)

Inaugural-Dissertation, Universität Mannheim, 385 Seiten

Ticino News (2019)

[Il Lago Maggiore va sotto zero](#)

Online-Ausgabe vom 04.10.2019

TiWAG (2014)

[Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Grosswasserkraftsvorhaben Tiroler Oberland](#)

Strategische Umweltprüfung – Umweltbericht. Wien, 262 Seiten

UNECE (2018)

[The Water Convention: responding to global water challenges](#)

Water Convention Secretariat, Genf, 13 Seiten

VCOAzzurraTV (2018)

[Cala il livello delle acque del Lago Maggiore](#)

Meldung vom 07.08.2018

Vigevano24 (2018)

[Siccità: i danni si potevano evitare! Il Parco del Ticino va all'attacco](#)

Vigevano24 vom 12.10.2018

Ville de La Chaux-de-Fonds (2018)

[STEP de La Chaux-de-Fonds – Traitement des micropolluants](#)

Dokumentation Vorprojekt, La Chaux-de-Fonds, 33 Seiten

Vol.at (2018)

[RHESI: Koblach wäre erst 2040 dran](#)

Vorarlberg online vom 28.08.2018

Walther, J.-L. (2017)

[Qualité du Doubs Franco-Suisse – Prélèvements par capteurs passifs](#)

ENVIREAU, Courtedoux, 156 Seiten

Zarn, B. (2012)

[Alpenrhein: Quantitative Analyse von Schwall/ Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile
Arbeitspaket 1+ Hydrologie](#)

IRKA, Domat/Ems, 19 Seiten



Eine Studie
im Rahmen des **NCCS** Themenschwerpunktes
Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel
Hydro-CH2018
des National Centre For Climate Services

Klaus Lanz

Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Umwelt **BAFU** Abt. Hydrologie, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Begleitung BAFU Fabia Hüsler, Carlo Scapozza, Petra Schmockler-Fackel

Autor **Klaus Lanz** international water affairs, Evilard

Titelfoto Der Schachen unterhalb Reussegg (AG) 2005

© Kanton Aargau

Fachliche Begleitung **Mattia Brughelli, Andreas Zischg** Universität Bern

Klimaszenarien National Center for Climate Services NCCS

Visuelle Gestaltung und Layout **Susanne Dubs** Designerin FH, Magglingen

Infografik © Susanne Dubs unter Verwendung der angegebenen Quellen

Stand Januar 2021

Hinweis Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt **BAFU** verfasst
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

10 **Hochwasserschutz**

Inhaltsverzeichnis

- 10.1 Das Gefährdungspotenzial durch Wasser in der Schweiz
- 10.2 Die Hochwasserschutzinfrastruktur der Schweiz
- 10.3 Die Zukunft
 - 10.3.1 Auswirkungen des Klimawandels
 - 10.3.2 Sozioökonomische Veränderungen
- 10.4 Zielkonflikte und Synergien
 - 10.4.1 Zielkonflikte und Synergien mit anderen Wassernutzungen
 - 10.4.2 Zielkonflikte und Synergien mit der Gewässerökologie
- 10.5. Potenzielle Lösungsansätze
- 10.6 Wissenslücken/ Forschungsbedarf
- 10.7 Literatur

Im modernen Hochwasserschutz haben Flussaufweitungen und das vorbeugende Freihalten von überschwemmungsgefährdeten Bereichen Priorität vor Dämmen und Schutzbauten

Die Schweiz verfügt über ein modernes Schutzdispositiv gegen Hochwasser, das sich in den vergangenen 30 Jahren von der blossen Gefahrenabwehr zu einem integralen Risikomanagement entwickelt hat. Grosse Hochwasserschäden Ende der 1980er Jahre hatten klar gezeigt, dass viele Siedlungen, Industriezonen und Verkehrswege durch Flussverbauungen nicht mehr zu schützen waren. Die rasante Flächenausdehnung der Gesellschaft – allein zwischen 1985 und 2009 nahm die bebaute Fläche um 23% zu – hatte vielerorts stark überschwemmungsgefährdete Flussgebiete in Anspruch genommen. Beim modernen Hochwasserschutz steht im Vordergrund, den Gewässern wieder mehr Raum und mehr Natürlichkeit zuzugestehen, sie als hydrologisch und ökologisch intakte Lebensräume zu entwickeln. Parallel sorgt die Raumplanung dafür, dass in gefährdeten Bereichen keine neuen Risiken entstehen. Die Anpassung des Hochwasserschutzes an den Klimawandel – mit erhöhter Wahrscheinlichkeit extremer Niederschlagsintensitäten – wird anhand aktualisierter Gefahrenkarten gesteuert. Die zweite Herausforderung von Starkregen ist der sogenannte Oberflächenabfluss, wobei das Regenwasser nicht mehr allein über Bach- und Flussbetten, sondern kurzfristig auf der gesamten Fläche abfließt. Durch Ergänzung der Gefahrenkarten lassen sich die gefährdeten Gebiete identifizieren und Schäden durch entsprechende Objektschutzmassnahmen begrenzen.

Résumé du chapitre 10 Protection contre les inondations

La Suisse dispose d'un système moderne de protection contre les crues qui a évolué au cours des 30 dernières années, passant de la simple prévention des dangers à la gestion intégrale des risques. Les dégâts importants causés par les inondations à la fin des années 1980 ont clairement montré que de nombreuses agglomérations, zones industrielles et voies de communication ne pouvaient plus être protégées par des ouvrages d'art fluviaux. L'expansion rapide de la société – seulement entre 1985 et 2009, les zones bâties ont augmenté de 23% – a, en de nombreux endroits, occupé des bassins fluviaux très vulnérables aux inondations. Dans la protection moderne contre les crues, il s'agit de redonner aux cours d'eau plus de place et d'espace naturel, de les aménager comme des habitats intacts sur le plan hydrologique et écologique. En même temps, l'aménagement du territoire garantit qu'aucun nouveau risque n'apparaît dans les zones menacées. L'adaptation de la protection contre les inondations au changement climatique - avec une probabilité accrue d'intensités de précipi-

tations extrêmes - est contrôlée à l'aide de cartes de risques actualisées. Le deuxième défi posé par les fortes précipitations est ce qu'on appelle le ruissellement de surface, c'est-à-dire que l'eau de pluie ne s'écoule plus seulement par le lit des cours d'eau, mais rapidement sur toute la surface. En complétant les cartes de dangers, les zones menacées peuvent être identifiées et les dommages aux biens peuvent être limités par des mesures de protection appropriées.

Riassunto capitolo 10 protezione contro le inondazioni

La Svizzera dispone di un moderno sistema di protezione contro le piene che negli ultimi 30 anni è evoluto dalla semplice prevenzione dei pericoli alla gestione integrale dei rischi. I gravi danni provocati dalle inondazioni alla fine degli anni, 80 avevano chiaramente dimostrato che molti insediamenti, zone industriali e vie di trasporto non potevano più essere protetti dalle strutture ingegneristiche fluviali. La rapida espansione della società - solo tra il 1985 e il 2009 le aree edificate sono aumentate del 23% - aveva in molti luoghi occupato bacini fluviali altamente vulnerabili alle inondazioni. Nella protezione dalle inondazioni moderna, l'obiettivo è quello di dare ai corpi idrici più spazio e più naturalezza, di svilupparli come habitat intatti a livello idrologico ed ecologico. Allo stesso tempo, la pianificazione del territorio garantisce che non sorgano nuovi rischi nelle aree a rischio. L'adattamento della protezione dalle inondazioni ai cambiamenti climatici - con una maggiore probabilità di intensità delle precipitazioni estreme - è controllato con l'ausilio di mappe dei pericoli aggiornate. La seconda sfida posta dalle forti piogge è il cosiddetto deflusso in superficie, per cui l'acqua piovana non scorre più solo attraverso il torrente e il letto del fiume, ma, a breve termine, su tutta l'area. Integrando le carte dei pericoli è possibile identificare le aree a rischio e limitare i danni con adeguate misure di protezione della proprietà.

10 Hochwasserschutz

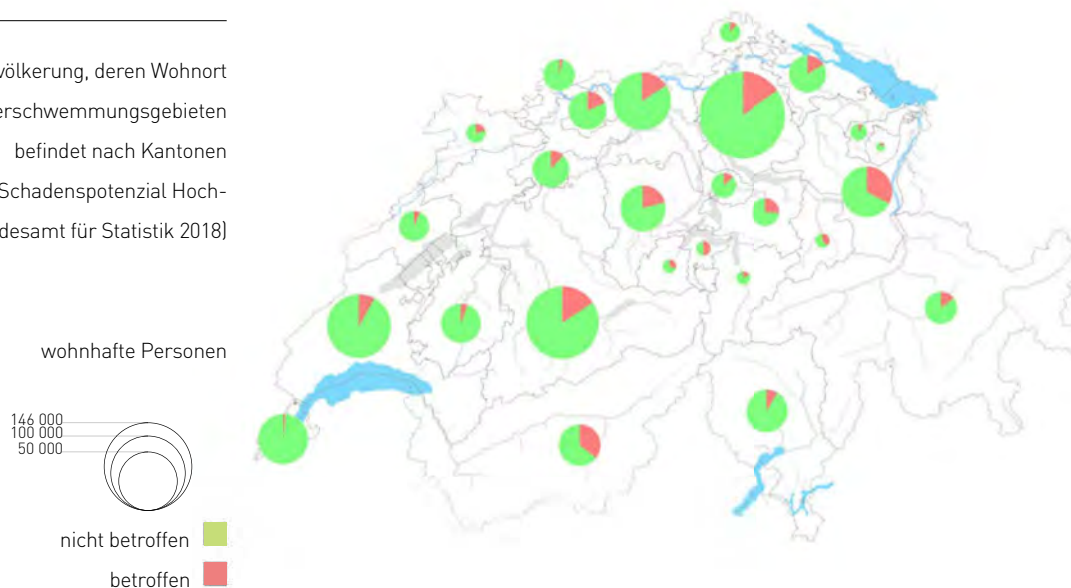
10.1 Das Gefährdungspotenzial durch Wasser in der Schweiz

Wasser ist nicht nur ein Segen für Natur und Menschen, es kann auch grossen Schaden anrichten. Bei anhaltenden Niederschlägen oder starker Schneeschmelze können die Fliessgewässer den zusätzlichen Abfluss nicht mehr aufnehmen und treten über ihre Ufer. Auch Seen können in solchen Situationen überlaufen. Heftige Gewitter verwandeln mitunter selbst kleine Bäche in reissende Flüsse. Entladen sich Gewitterzellen konzentriert über einem kleinen Gebiet, kann der Oberflächenabfluss gar die gesamte Landschaft zum Flussbett machen. Meist kommt das Wasser nicht allein: Geländematerial von grossen Felsbrocken bis zu feinem Schlamm wird durch Wasser verfrachtet und verschlimmert die Schäden.

Betroffen sind Wohngebäude, Industrieanlagen, Strassen und Bahndämme, Kläranlagen, Trinkwasserbrunnen, Infrastrukturen der Strom- und Gasversorgung, aber auch Agrarland, das abgetragen oder mit Material überschüttet wird. Nicht alle Orte sind gleichermassen gefährdet. Je näher an einem Fliessgewässer und je niedriger gelegen, desto eher steht ein Landstück oder ein Gebäude im Hochwasserfall unter Wasser. Die ortsspezifische Gefährdung lässt sich aus Gefahrenkarten ablesen, die von den Kantonen flächendeckend erstellt wurden (ARE/ BWG/ BUWAL 2005). In potenziell von Überschwemmungen betroffenen Gebieten leben derzeit 20% der Schweizer Wohnbevölkerung (Abb. 10-01), zudem befinden sich dort 30% der Arbeitsplätze und rund ein Viertel aller Sachwerte (BAFU 2016).

Abb. 10-01

Anteil der Bevölkerung, deren Wohnort sich in potenziellen Überschwemmungsgebieten befindet nach Kantonen
(Quelle: MobilierLab, Tool Schadenspotenzial Hochwasser, Bundesamt für Statistik 2018)



Seit jeher haben die Menschen versucht, sich vor der Wassergefahr zu schützen. Wo immer möglich baute man Häuser traditionell in höhergelegenen Gelände fern von Bach und Fluss. Struktur und Lage vieler Siedlungen im Hochgebirge sind noch heute von einer respektvollen Distanz zu den Wildbächen geprägt. Zugleich waren die Flüsse aber auch Handelsweg und Energielieferant für Mühlen. Der im 19. Jahrhundert aufkommenden Industrie diente ihr Wasser als Produktionsmittel und Abfallbeseitigungspfad. Mit der Industrie rückten auch Siedlungen und Verkehrswege im Mittelland und den grossen Alpentälern dichter an die Flüsse und besetzten so immer neue überflutungsgefährdete Flächen.

Waren bis zur Industrialisierung nur Wiesland und Auen betroffen, standen nun Maschinenhallen, Strassen, Bahntrassees und Wohnhäuser unter Wasser. Eine Beschränkung auf hochwassersicheres höheres Gelände hätte bedeutet, einen Grossteil der ebenen Flächen des Mittellands von Industrie und Siedlungen freizuhalten – mit entsprechenden wirtschaftlichen Folgen (Zischg et al. 2018, www.risikodynamik.ch). Naheliegender war es, die neu in Anspruch genommenen Flächen zu schützen, indem man den Lauf der Flüsse durch Dämme verengte, kanalisierte und begradigte, um so die Abflusskapazität bei Hochwasser zu erhöhen. Zumindest kleinere und mittlere Hochwasser konnten so abgeführt und von den gesellschaftlichen Sachwerten ferngehalten werden.

Die Verbauung der Flüsse zeitigte erwünschte und unerwünschte Sekundäreffekte. Günstig war, dass sich nun hinter den Dämmen gelegenes Land nutzen liess, das zuvor regelmässig überschwemmt wurde. Nutzniesser waren nicht nur die Städte, die neues Bau- und Industrieland gewannen, sondern auch die Landwirtschaft, die ehemalige Auen und Flussmäander als ebenes, fruchtbares Ackerland unter den Pflug nehmen konnte.

Nur teilweise erwünscht war die hydraulische Reaktion der Flüsse auf ihren modifizierten Lauf. Die Einengung mit Dämmen und das grössere Gefälle durch das Abschneiden von Flussschlingen beschleunigten den Abfluss. Das schneller und energiereicher strömende Wasser begann die Flusssohle zu erodieren, manche Flussabschnitte tieften sich in wenigen Jahren um mehrere Meter ein. Dies war zunächst willkommen, erhöhte sich doch so die Abflusskapazität und damit die Hochwassersicherheit. Da das Wasser sich aber immer weiter in die Tiefe vorarbeitete, auch an den Ufern nagte und Brückenlager und Dämme unterspülte, kam man nicht um umfangreiche Nachbesserungen herum. Uferlinien und Dämme wur-

den mit harten Materialien befestigt und armiert, die Flusssohlen mit Schwellen verbaut, um die Schleppkraft des Wassers und die Erosion zu vermindern.

Ein zweiter unerwünschter Effekt einer zunehmenden Längsverbauung von Flüssen ist, dass durch den beschleunigten Abtransport die Wasserstände flussabwärts erhöht werden. Je mehr ebene Flächen, auf denen sich das Wasser verlaufen konnte, durch Dämme vom Fluss abgetrennt wurden, desto schneller wurde das Wasser zu Tal befördert. So machten Hochwasserdämme am Oberlauf letztlich eine Erhöhung der Dämme am Unterlauf nötig. Der Hochwasserschutz hat somit eine lange Geschichte der fortlaufenden Korrektur von Korrekturen.

Das Resultat von 200 Jahren Hochwasserschutz in der Schweiz ist ein umfassendes Bauwerk, das praktisch jeden Flusskilometer des schweizerischen Gewässernetzes beeinflusst (siehe 10.3). Dies ist nicht so sehr das Ergebnis wasserbaulichen Übereifers, sondern letztlich der immer intensiveren Inanspruchnahme der Schweizer Landschaft durch die Menschen auf Kosten der einstigen Flussgebiete. Nicht der Wasserbau steht in Konflikt mit intakten Gewässern, sondern die Flächen- und Sicherheitsansprüche der Gesellschaft.

Hochwasserschutz der Zukunft

Die in Siedlungen, Industrie und Infrastrukturen gebundenen Sachwerte haben in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen, die bebaute Fläche vergrösserte sich allein zwischen 1985 und 2009 um 23.4% (BAFU 2016). Ein grosser Teil davon befindet sich in Bereichen, die einst Flussgebiete waren. Mit Dämmen und Wehren lässt sich der gewünschte Schutz nicht mehr überall gewährleisten, dazu ist die Flächennutzung zu intensiv geworden. Zugleich hat der technische Wasserbau zu einer ökologischen Verarmung der Fliessgewässer beigetragen, die mit der heutigen Vorstellung naturnaher Gewässer nicht zu vereinbaren ist (siehe 10.4.2). Diese Erkenntnisse und katastrophale Hochwasser im Sommer 1987 lösten einen Paradigmenwechsel im Hochwasserschutz der Schweiz aus.

In die Gesetzgebung wurde das neue Denken mit der Überarbeitung von Wasserbaugesetz (WBG, 1991) und Gewässerschutzgesetz (GSchG, 1991) eingeführt. Laut WBG soll der Hochwasserschutz so weiterentwickelt werden, dass der natürliche Verlauf der Gewässer «möglichst beibehalten oder wiederhergestellt» wird. Weiter heisst es im WBG: «Gewässer und Ge-

wässerraum müssen so gestaltet werden, dass sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können; die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischen Gewässern weitgehend erhalten bleiben; eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann» (Art. 4 Abs. 2 WBG). Ausserdem erhält die Raumplanung eine prioritäre Rolle, erst wenn diese nicht zum Ziel führt, kommen bauliche Massnahmen zum Zug (Art. 3 WBG). Zugleich sollen Hochwasserschutzmassnahmen mit anderen Bereichen «gesamthaft und in ihrem Zusammenwirken» geplant und beurteilt werden (Art. 3, Abs. 3 WBG).

Auf der strategischen Ebene wurde 1997 mit der Nationalen Plattform Naturgefahren (PLANAT) eine Institution geschaffen, die den Paradigmenwechsel von der blossen Gefahrenabwehr hin zum integralen Risikomanagement sektorübergreifend begleitet und koordiniert. Als ausserparlamentarische Kommission des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) legt sie Grundsätze und Leitgedanken für das Risikomanagement fest (PLANAT 2004) und aktualisiert diese bei grösseren Anpassungen in anderen Politikbereichen (PLANAT 2018).

Wer bezahlt?

Anders als etwa in Österreich, wo der Hochwasserschutz Bundesaufgabe ist und von einer zentralen Bundesbehörde ausgeführt wird, liegt die Wasserbaupflicht in der Schweiz bei den Kantonen (Art. 2 WBG), die wiederum die Zuständigkeit an Gemeinden oder gemeindeübergreifende Korporationen übertragen können. Die jeweiligen Wasserbaupflichtigen initiieren Hochwasserprojekte, beauftragen Planungsbüros und tragen einen Teil der Finanzierung. Die Kantone haben Anspruch auf Subventionen des Bundes, wenn die Projekte auf einer zweckmässigen Planung beruhen, die gesetzlichen Anforderungen erfüllen und ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen (Art. 9 WBG). In der Regel liegt die Beteiligung des Bundes bei 35% der Kosten, bei besonders wirksamen Einzelprojekten kann dieser Anteil auf 45% erhöht werden (BAFU 2015). Der Rest verteilt sich auf Kantone (15 – 35%) und Gemeinden bzw. Korporationen (35 – 55%). Schafft das Projekt über das notwendige Minimum hinaus ökologischen Mehrwert, ist ein Bundesanteil von bis zu 80% möglich (BAFU 2015).

Bei Grossprojekten von internationaler Bedeutung (derzeit nur das Projekt Rhesi am Alpenrhein) übernimmt der Bund die Wasserbaupflicht. Diese wird in einem Staatvertrag zwischen der Schweiz und Österreich geregelt (siehe Kapitel 9).

Gefährdung und Sicherheit

Keine Aussagen macht das Wasserbaugesetz über das anzustrebende Schutzniveau, diese Entscheidung obliegt den Kantonen (Art. 21 Wasserbauverordnung WBV). Die BWG-Wegleitung «Hochwasserschutz an Fließgewässern» (BWG 2001) hielt erstmals fest, dass das Schutzniveau letztlich von der Nutzung abhängt. Siedlungs- und Industrieflächen müssen z.B. besser vor Hochwasser geschützt sein als landwirtschaftliche Flächen oder Wald (PLANAT 2013). Wie dies konkret interpretiert werden kann, zeigt z.B. die Schutzzielmatrix des Kantons Aargau (Abb. 10-02). Absoluten Schutz kann es indessen für kein Objekt geben. Von einem Extremhochwasser können weiterhin grosse Teile der Landschaft erfasst werden. Doch die von solchen «Überlastfällen» potenziell betroffenen Flächen lassen sich vorhersehen und unbeherrschbare Katastrophensituationen durch entsprechende Massnahmen verhindern.

Abb. 10-02

Schutzzielmatrix des Kantons Aargau, die anzeigt, welcher Schutz für welche Objekte anzustreben ist
 (Quelle: Kanton Aargau o. J.)

Zulässige Intensität	Objektkategorien	Schutzziele		
		(Wiederkehrperiode)		
Überflutungssicher bis HQ300	Naturlandschaften und Wald	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	Landwirtschaftliche Extensivflächen	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
Maximal schwache Intensität h kleiner 0.5 m, v x h kleiner 0.5 m ³ /s	Einzelgebäude unbewohnt	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	Landwirtschaftliche Intensivflächen Lokale Infrastrukturanlagen	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
Maximal mittlere Intensität h kleiner 2.0 m, v x h kleiner 2.0 m ³ /s	Einzelgebäude bewohnt	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	Kantonale und regionale Infrastrukturanlagen (Kantonsstrassen)	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
Starke Intensität zulässig h grösser 2.0 m, v x h grösser 2.0 m ³ /s	Infrastrukturanlagen von grosser Bedeutung (Z.B. Nationalstrassen)	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	Geschlossene Siedlungen Industrieanlagen Freizeit- und Sportanlagen (Bauzonen, Weilerzonen)	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
h Überschwemmungshöhe v Fließgeschwindigkeit	Sonderobjekte, Sonderrisiken	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	• Schiessanlagen, Kugelfänge, Campingplätze	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	• Abwasserreinigungsanlagen	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	• Pumpwerke, Regenbecken, Spezialbauwerke	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
	• Grundwasserschutzzone S2	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
vollständiger Schutz	• Trinkwasserfassungen (Grundwasserschutzzone S1)	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
begrenzter Schutz	• Risikokataster (Stationäre Risiken)	kein Schutz	kein Schutz	kein Schutz
stark begrenzter Schutz				
kein Schutz				

Letztlich muss für jedes einzelne Hochwasserschutzprojekt individuell entschieden werden, welches Schutzniveau möglich und welches Massnahmenbündel angemessen ist. Als Massstab gilt ein Sicherheitsniveau, «das ökologisch vertretbar, ökonomisch verhältnismässig und sozial verträglich ist» (Bundesrat 2016). Die Massnahmen sollen finanziell tragbar sein, die verbleibenden Risiken akzeptierbar.

Neben dem baulichen Hochwasserschutz tritt immer mehr die Raumplanung in den Vordergrund. Denn wie viel Sachschaden ein Hochwasser verursacht, hängt vor allem von den Nutzungen im überfluteten Bereich ab. In der Regel formuliert man bei der Planung von Hochwasserschutzprojekten heute risikobasierte Projektziele. Diese beinhalten nicht nur eine Herabsetzung der Überschwemmungswahrscheinlichkeit durch bauliche Massnahmen, sondern auch eine Siedlungsplanung, die das Schadenspotenzial möglichst nicht weiter erhöht. Die derzeitige bauliche Entwicklung bringt allerdings mit sich, dass vielerorts das Risiko für Personen- und Sachschäden weiter ansteigt – auch ohne dass die Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen zunimmt.

Eine zentrale Rolle hat die Raumplanung auch, wenn Flüssen mehr Raum gegeben oder Retentionsflächen ausgeschieden werden sollen. Meist sind es landwirtschaftlich genutzte Flächen, die für Revitalisierungen herangezogen oder im Hochwasserfall temporär als Retentionsflächen benötigt werden, und kein Landwirt stellt sein Land freiwillig zur Verfügung. Oft lassen sich aber in einem grösseren Perimeter Ersatzflächen bereitstellen und die Zielkonflikte auf diese Weise beheben (siehe 10.4.1).

Extremereignisse und Systemversagen

Erfolgreiche Hochwasserschutzprojekte erhöhen das subjektive Sicherheitsgefühl der Bevölkerung, auch wenn sie keine absolute Sicherheit gegen (seltene) Extremereignisse oder Systemversagen (Dammbrüche) bieten. Übersteigt der Abfluss die vom Projekt gewählte Bemessungsgrenze (Überlastfall), kann es weiterhin zu Überschwemmungen und Sachschäden kommen. Für diese Gefahren gibt es nur wenig Bewusstsein. Dies zeigt sich etwa dort, wo kürzlich Hochwasserprojekte verwirklicht und die Gefahrenkarten angepasst wurden (z.B. mittlere Gefährdung → geringe Gefährdung). Auf den im Zonenplan nicht mehr roten und blauen, sondern gelben Flächen können nun neue Gebäude, Anlagen und Infrastrukturen erstellt werden. Auch werden in den zurückgestuften Bereichen Bauvorschriften gelockert oder aufgehoben (Thomi et al. 2015). Da dort im Überlastfall weiter-

hin Überflutungsgefahr besteht, nimmt das Schadensrisiko zu. Bei extremen Hochwassern (EHQ) können auch die gelb-weiss schraffierten Flächen der Gefahrenkarten betroffen sein.

Sicherung von Hochwasserkorridoren

Auch bei Hochwasserereignissen, die die Bemessungsgrenze der Schutzmassnahmen übersteigen, darf es nicht zu unkontrollierten, katastrophenhaften Situationen kommen. Um diese zu vermeiden, sollten wo immer möglich Überflutungsräume oder Flutkorridore bestimmt werden, auf denen sich das überschüssige Wasser ausbreiten und abfliessen kann. Meist handelt es sich bei diesen Flächen um Landwirtschaftsland, dessen Nutzung als Rückhalteraum und Abflussweg das Wasser von Siedlungen und Industriearalen fernhält. Hochwasserkorridore können im Rahmen von Gesamtmeliorationen raumplanerisch ausgeschieden werden, wobei allfällige Nutzungseinschränkungen (z.B. Verbot von landwirtschaftlichen Bauten, Verbot bestimmter abflusshemmender Kulturen wie Mais) den Landwirten entschädigt werden (Zischg et al. 2011).

Gefährdung durch Oberflächenabfluss

Übersehen wird oft auch, dass Wasserschäden nicht nur von überbordenden Fließgewässern, sondern bei Starkregen auch durch Oberflächenabfluss verursacht werden können (Abb. 10-03). Zwischen 1999 und 2013 gingen in der Schweiz 45% der Wasserschadensmeldungen und 23% der Schadenssumme auf die Rechnung von Oberflächenabfluss (Bernet et al. 2017). Diese Schäden könnten mit einfachen und preisgünstigen Objektschutzmassnahmen deutlich vermindert werden. Nachdem einige Kantone gute Erfahrungen mit der Kartierung von Gefahren durch Oberflächenabfluss gemacht haben, hat der Bund 2018 eine landesweite Gefährdungskarte erstellt und öffentlich zugänglich gemacht (BAFU 2018).

Abb. 10-03

Oberflächenabfluss Littauerberg,
Kanton Luzern, Mai 2018
(Quelle: 20 Minuten/ Leser-Reporter)



Die Höhe von Oberflächenabflüssen übersteigt selten 20 cm, so dass schon kleine Sperren und niedrige Barrieren das Eintreten von Wasser in Keller oder Tiefgaragen verhindern können. Allerdings ist die Bereitschaft zu solchen Massnahmen seitens der Eigentümer gering, da die Schäden derzeit vollständig von der Gebäudeversicherung gedeckt sind. Ein höherer Selbstbehalt könnte dazu beitragen, die Eigenverantwortung zu stärken und Schäden zu minimieren. Für die Optimierung vorbeugender Massnahmen gegen Oberflächenabfluss liegt seit kurzem eine umfassende Entscheidungshilfe vor (Bernet et al. 2018).

10.2 Die Hochwasserschutzinfrastruktur der Schweiz

Aus dem heutigen Zustand der Fliessgewässer lässt sich nicht mehr eindeutig ablesen, mit welcher Absicht die baulichen Eingriffe einst vorgenommen wurden. Das Bild der Flüsse spiegelt ein Zusammenspiel von Hochwasserschutz, Wasserkraft und Landgewinnung (für Siedlungsbau, Industrie und Verkehrswege).

Korrektion von Fliessgewässern

Auf vielen Abschnitten sind die Fliessgewässer so stark eingeeengt, dass sie bei Hochwasser nicht einmal mehr die nötige Kapazität für Wasser und Geschiebe aufweisen (Regimebreite). Der laterale Raumbedarf eines Flusses ist allerdings wesentlich grösser als die Regimebreite. Einerseits benötigen auch die Schutzdämme Raum, andererseits können sich nur in einem breiteren Gewässer Habitate entwickeln, welche das Gedeihen einer standorttypischen Flora und Fauna fördern.

Dämme

Die genaue Länge der zum Schutz vor Hochwasser errichteten Dämme ist nicht dokumentiert. Besonders eindrückliche Bauwerke sind die Schutzdämme entlang der grösseren Mittelland- und Alpenflüsse, in denen der Pegel bei Hochwasser mehrere Meter über dem umliegenden Gelände liegen kann (Rhone, Alpenrhein, Reuss, Linth, Limmat, Aare, Thur, Inn). Oftmals erfordern solche Dammbauten Binnenkanäle, die das bei hohem Wasserstand landseitig aufsteigende Grundwasser abführen (und das Wasser der Seitenflüsse aufnehmen).

Querbauwerke

101 000 künstliche Abstürze und Querbauwerke gibt es an Schweizer Flüssen, die meisten davon in Höhen oberhalb 600 m.ü.M. (Zeh Weissmann et al. 2009). Aber auch im Mittelland (unterhalb 600 m.ü.M.) versperren Tausende von mehr als 50 cm hohen, künstlichen Strukturen in den Gewässern die

Wanderwege der Flusslebewesen (Abb. 10-04). Viele davon sind eine unmittelbare Folge des Hochwasserschutzes, dienen sie doch der Kontrolle einer durch Eindämmung und Begradigung verstärkten Erosion.

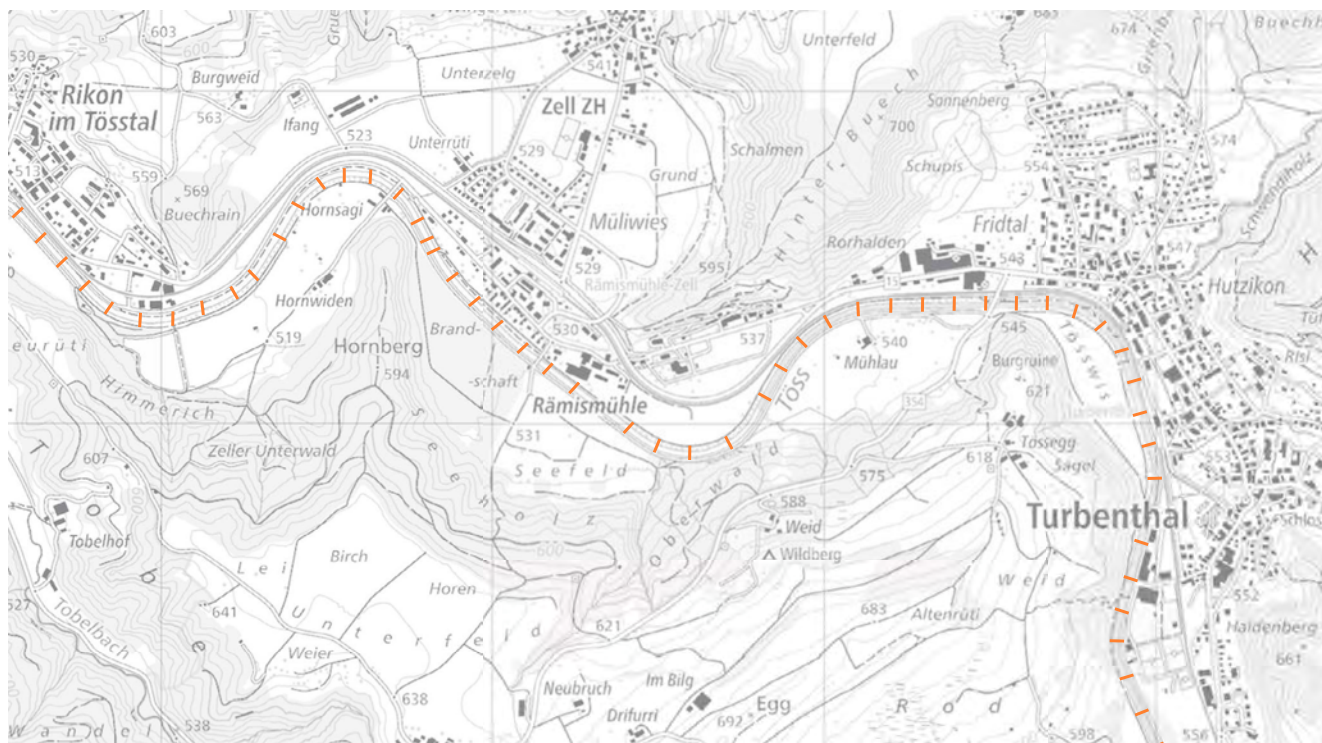


Abb. 10-04

Stollen und Flussumleitungen

Verbauung der Töss im Abschnitt Turbenthal: Einige Flüsse wurden künstlich in Seen umgeleitet, um Extremabflüsse zu puffern. Die bekanntesten Beispiele sind Bielersee (Aare, 1878), Thunersee (Kander, 1714) und Walensee (Linth, 1811). Weniger bekannt sind Hochwasserstollen, die bei hohem Abfluss das Wasser um ein gefährdetes Gebiet herumleiten, z.B. an Lyssbach (Lyss, 2.6 km), Sarner Aa (Sarnen, 6.5 km), Aare (Thun, 1.1 km) und Langete (Langenthal, 7.5 km).

An der 59.6 km langen Töss gibt es mehr als 500 Querhindernisse – etwa eines alle 100 Meter Flusslauf

Eindolungen

Schliesslich ist ein nicht unerheblicher Teil der kleinen Fliessgewässer in unterirdische Rohrsysteme verlegt worden (Eindolung). Im Siedlungsgebiet verschwanden mehr als 1 100 km (29%) der Fliessgewässer, im Landwirtschaftsgebiet rund 2 200 km (14%) (Zeh Weissmann et al. 2009). Diese Eingriffe sind aber nur in untergeordneter Weise durch den Hochwasserschutz bedingt, hauptsächlich dienen sie dazu, durchgehend nutzbare Flächen zu gewinnen.

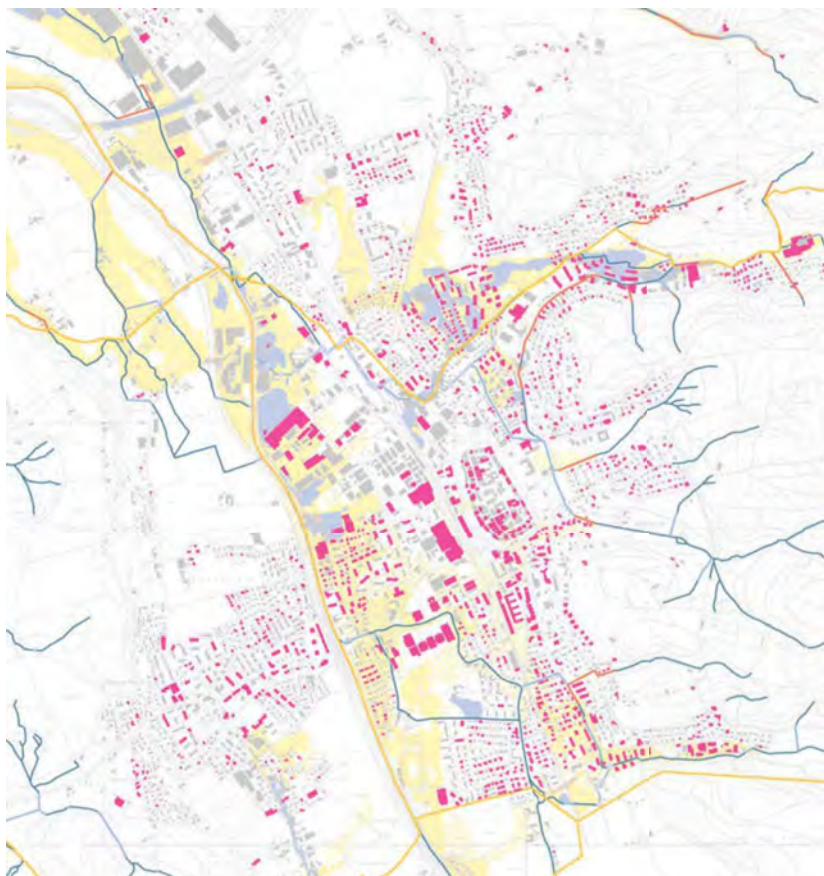
10.3 Die Zukunft

10.3.1 Auswirkungen des Klimawandels Änderungen im Abfluss

Mit dem Klimawandel werden sich Menge und Saisonalität der Niederschläge verändern. Im Abfluss wird sich dies im langjährigen Mittel mit einer leichten Verschiebung vom Sommer in den Winter bemerkbar machen (NCCS 2018). Entscheidend für den Hochwasserschutz sind extreme Abflussspitzen, wie sie bei bestimmten Wetterlagen möglich sind: Starkniederschläge von hoher Intensität, Regen-auf-Schnee-Ereignisse, langanhaltende ortsfeste Gewitter. Solche Situationen könnten klimabedingt künftig häufiger auftreten (Köllner et al. 2017). Da sich dadurch auch die Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen erhöht, wird dies bei der Aktualisierung der Gefahrenkarten entsprechend berücksichtigt (ARE/BWG/BUWAL 2005).

Mit häufigerem Starkregen nimmt auch die Wahrscheinlichkeit von Oberflächenabflüssen zu. Bei solchen Ereignissen erfolgt der Abfluss nicht mehr allein über Bach- und Flussbetten, sondern kurzfristig auf der gesamten Fläche. Die Wasserhöhen sind meist gering, betroffen sind aber nicht nur Gebäude in ausgewiesenen Gefahrenzonen, sondern an praktisch jedem Ort, so dass hohe Schäden auftreten.

Abb. 10-05

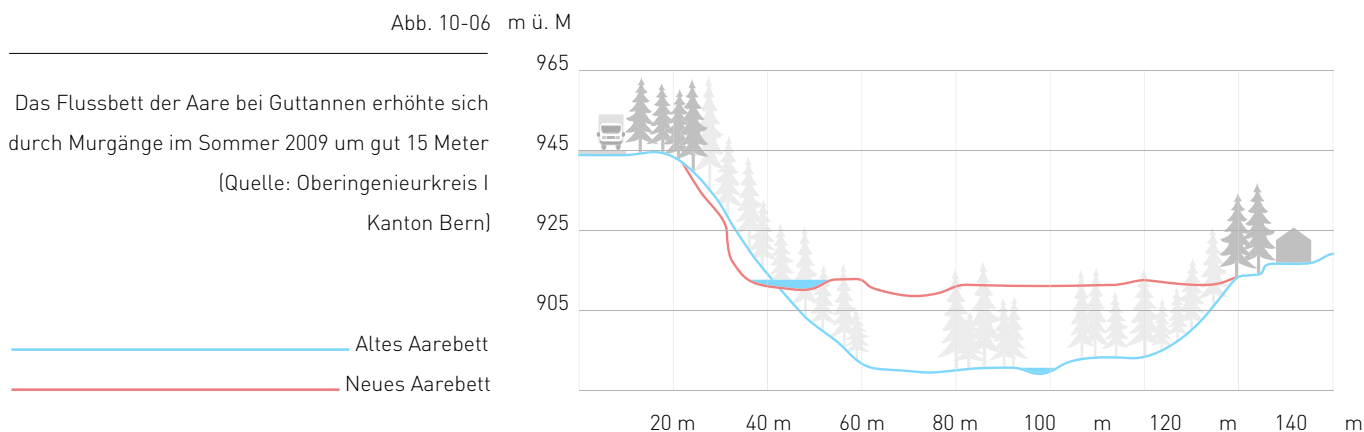


Viele Gebäude im aargauischen Zofingen, die bei einem anhaltenden Gewitter im Juli 2017 Wasserschäden erlitten, liegen ausserhalb bisher bekannter Gefahrenzonen. Sie wurden teils durch Oberflächenabflüsse, teils durch Rückstau der überlasteten Kanalisation in Mitleidenschaft gezogen.

(Quelle: ALG 2017)

Mobilisierung zusätzlichen Geschiebes

Weiter kann sich der Klimawandel zumindest lokal auf die Morphologie der Fließgewässer auswirken. Mit dem Rückzug des Permafrosts in grössere Höhen ist vermehrt mit Hangrutschungen und Murgängen zu rechnen. Je höher und in je steilerem Gelände sich ein Fließgewässer befindet, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass es mit Gestein und Geröll verschüttet wird. In extremen Fällen kann sich die Flusssohle in kürzester Zeit um mehrere Meter erhöhen, die Abflusskapazität dezimieren und so zu bisher nie gesehenen Gefährdungen führen.



Durch die vermehrte Mobilisierung von Gesteinsmaterial und Sediment im Permafrostgebiet kann sich lokal der Geschiebetransport in den Fließgewässern erhöhen. Bei hohem Abfluss wird das zusätzliche Material von alpinen und voralpinen Bächen mittransportiert und kann im Unterlauf und in den Talböden Ablagerungen verursachen, für die es keine historische Erfahrung gibt. Dies erfordert Anpassungen im Geschiebemanagement und im Hochwasserschutz (Scheuner 2015).

Neue Gefahren

Wo sich Gletscher zurückziehen, werden in den nächsten Jahrzehnten Hunderte von neuen Seen entstehen (Haeberli et al. 2013). Dadurch könnte in Kombination mit tauendem Permafrost eine bisher wenig relevante Gefährdung hinzukommen: Flutwellen infolge von Bergstürzen in Gletscherseen. Durch Hangrutschungen und Bergstürze können sehr grosse Wassermengen in kürzester Zeit in Bewegung gesetzt werden, schon ein Zehntel des Seevolumens an Geröll kann einen See vollständig entleeren (Carey et al. 2012). Das Schadenspotenzial ist erheblich, die Reaktionszeit in unterhalb gelegenen Siedlungen gering (Nussbaumer et al. 2014). Flutwellen bringen überdies enorme Geschiebeverlagerungen mit sich.

Infolge des Gletscherrückgangs ist es auch in den vergangenen Jahren bereits zu Flutwellen gekommen, etwa durch plötzliche Ausbrüche von hinter Eisbarrieren aufgestautem Gletscherwasser. Ein typisches Beispiel sind die Flutwellen vom August 2011 aus dem Gebiet des Oberen Grindelwaldgletschers, die neben grossen Wasser- auch rekordverdächtige Schuttmengen (mehr als 100 000 m³) mit der Schwarzen Lutschine in den Talboden von Grindelwald beförderten. Die Geschiebemenge entsprach etwa dem Dreifachen, was bei einem 300-jährlichen Hochwasser erwartet würde (Scheuner 2015).

10.3.2 Sozioökonomische Veränderungen

Das Schadensrisiko ist definiert als Produkt aus Überflutungswahrscheinlichkeit und dem Schadenspotenzial bei den betroffenen Gebäuden und Infrastrukturen. Letzteres hat infolge der immer intensiveren Nutzung der Flussebenen in Mittelland und Alpentälern in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen (BAFU 2016, Röthlisberger et al. 2017). Diese Entwicklung hält weiterhin an, immer neue Bereiche der Flussebenen werden für Wohngebäude, Industrieanlagen und Verkehrsinfrastrukturen beansprucht. Für Hochwasserschutz dieser zusätzlichen Sachwerte ist gesorgt, denn wasserbauliche Massnahmen verhindern Überflutungen in der Regel bis zu einem 100-jährlichen Hochwasser, d.h. Ereignisse kleiner als HQ100 verursachen idealerweise praktisch keine Schäden.

Wie stark das Schadensrisiko bei Ereignissen oberhalb HQ100 zunimmt, konnte exemplarisch für die Flussebene der Emme zwischen Burgdorf und Gerlafingen gezeigt werden (www.risikodynamik.ch). Von 1960 bis 2015 verdoppelte sich sowohl die Gesamtzahl der Gebäude als auch deren Wert. Bis zu einem 30-jährlichen Hochwasser hat dies nur wenig Einfluss auf die potenziellen Schäden. Bei einem 100-jährlichen Hochwasser aber sind heute mehr als doppelt so viele Gebäude betroffen wie 1960 (486 statt 214). Bei einem 300-jährlichen Ereignis würden gegenüber 485 Gebäuden im Jahr 1960 heute 1104 Gebäude Schaden nehmen (Zischg et al. 2018). Diese Entwicklung der Flussebenen könnte sich auch in Zukunft fortsetzen: Bei der Planung der 3. Rhonekorrektur gehen die Kantone Wallis und Waadt davon aus, dass sich bei Überbauung aller gegenwärtigen Bauzonen die Sachwerte in der Ebene verdoppeln würden (Kanton Wallis 2015).

Ein wichtiger Treiber für das Schadensrisiko ist die Ansiedlung von Industrie (Abb. 10-07). So gelten an der Rhone derzeit 12 400 Hektaren der Talbene als überflutungsgefährdet, bei grossen Hochwassern wären Schäden von bis zu CHF 10 Mrd. zu befürchten. 60% davon entfallen auf grosse

Industriekomplexe in den Überschwemmungszonen, 36% auf sonstige Bebauung und 4% auf landwirtschaftliche Flächen. Mit der derzeit laufenden 3. Rhonekorrektur sollen Siedlungen und Agrarland mindestens gegen ein 100-jährliches Hochwasser (HQ100) gesichert werden. Kontrollierte Überflutungsflächen und Notabflusskorridore sollen dafür sorgen, dass Siedlungszentren, wichtige Industrien und Sonderrisiken sogar bei einem Extremhochwasser (Überlastfall, d.h. grösser HQ1000) noch geschützt sind und mindestens eine Verkehrsachse nutzbar bleibt (Kanton Wallis 2015).

Abb. 10-07

Industrieansiedlungen in Flussnähe wie hier in Visp erhöhen das Schadenspotenzial deutlich
(Quelle: Klaus Lanz)



Der Ausbau von Schutzbauten kann indirekt dazu führen, dass im potenziellen Überflutungsgebiet neue Gebäude erstellt werden und sich die gefährdeten Sachwerte erhöhen. Für viele Gemeinden sind zusätzlich mögliche Flächennutzungen gar ein Hauptanreiz, in Hochwasserschutzprojekte zu investieren. Es ist eine wichtige Aufgabe der Kantone, diesem missverstandenen Hochwasserschutzdenken raumplanerisch entgegen zu treten. Ziel muss es dabei sein, mit einer der Naturgefahr angepassten Nutzung neue inakzeptable Risiken zu vermeiden. Ein Beispiel dafür ist die Stadt Lyss. Nach dem Bau eines Hochwasserstollens sind die einst stark gefährdeten roten und blauen Zonen heute gegen ein 100-jährliches Hochwasser gesichert (gelbe und gelb-weiße Zone, Abb. 10-08). Allerdings bleiben diese Zonen bei sehr grossen Hochwasserereignissen weiterhin überflutungsgefährdet. Daher verpflichtet der Kanton die Eigentümer der dortigen Gebäude zu Objektschutzmassnahmen, im Fall von Neubauten zwingend, bei bestehenden Bauten, solange keine unverhältnismässigen Kosten entstehen (Loat 2016).

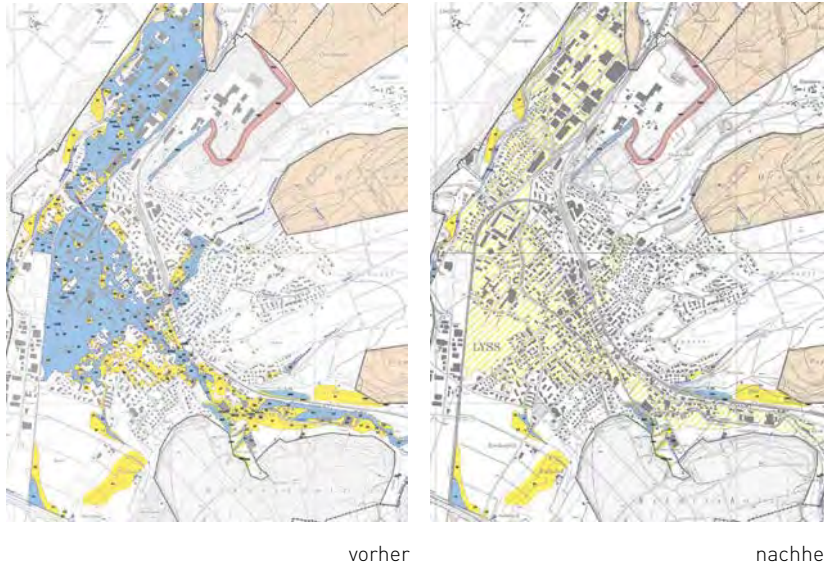


Abb. 10-08

Gefahrenkarte der Stadt Lyss vor und nach dem Bau des Hochwasserstollens (Kanton Bern 2012).

Da in gelben und gelb-weissen Zonen im Überlastfall weiterhin Überflutungen auftreten können, verlangt der Kanton von den Eigentümern in diesen Bereichen Objektschutzmassnahmen (Loat 2016)

Im grössten Teil der Schweiz wird die Zunahme der Flächennutzungsintensität infolge Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums vermutlich bedeutender für das künftige Schadensrisiko sein als der Klimawandel. Grössere Schäden treten dabei erst bei Überschreitung der Bemessungsgrenze des Hochwasserschutzes auf, meist also oberhalb HQ100. Auch wenn solche Ereignisse selten sind, müssen sie im Rahmen von Notfallplanungen für den Überlastfall berücksichtigt werden. Zudem ist es Aufgabe der Kantone, in der Bevölkerung ein Bewusstsein für die Risiken zu schaffen, die trotz Hochwasserschutz stets bestehen bleiben.

Einfluss der Flächennutzung auf Hochwasserprozesse

Hochwasser laufen umso höher auf, je schneller der auf die Fläche niederliegende Niederschlag abfliessen kann. Damit kommt der Flächenbewirtschaftung eine wichtige Rolle im Hochwasserschutz zu. In Siedlungsgebieten ist der Anteil versiegelter Flächen entscheidend dafür, wie schnell der Regen in die Gewässer abgeführt wird. Massnahmen zum Wasserrückhalt – etwa Gründächer oder lokale Rückhaltebecken – dämpfen Hochwasserspitzen und sind auch aus Sicht der Siedlungsentwässerung wünschenswert, da sie einer Überlastung der Kanalisationen bei Starkregen vorbeugen (siehe Kapitel 8).

Die weitaus grössere Fläche liegt aber ausserhalb von Städten. Bei Wald, Wiesen und Weiden lässt sich das Rückhaltevermögen für Niederschläge nur wenig beeinflussen, ausser es bestehen Drainagen, die rückgebaut werden können. Anders bei Ackerflächen: humusreiche, lockere Böden können mehr Wasser aufnehmen als verdichtete, humusarme Böden.

Zwar sind Topografie und Bodentyp die dominierenden Faktoren, in ackerbaulich geprägten Flussebenen kann aber die Bodenbewirtschaftung erheblichen Einfluss auf das Abflussgeschehen haben. Mit einer bodenschonenden und konservierenden Bodenbearbeitung und insbesondere dem Vermeiden von Bodenverdichtungen lässt sich das Volumen des Hochwasserabflusses um 10 – 15% vermindern (Zischg 2011).

10.4 Zielkonflikte und Synergien

10.4.1 Zielkonflikte und Synergien mit anderen Wassernutzungen

Andere Wassernutzungen sind durch den Hochwasserschutz meist nur indirekt betroffen. So müssen Wasserentnahmen aus den Flüssen – etwa für die Kühlung oder Bewässerung – hochwassersicher konzipiert werden (z.B. AWEL 2017). Zielkonflikte treten vor allem bei Grundwasserfassungen auf, die einst nach der Begradigung und Verbauung eines Flusses hinter Flussdämmen etabliert wurden. Solche flussnahen Grundwasserfassungen sind oft sehr ergiebig und von hoher Bedeutung für die Trinkwasserversorgung. Sie können in ihrem Bestand gefährdet sein, wenn die gesetzlich vorgeschriebenen Schutzzonen durch Hochwasserschutzprojekte tangiert werden. An durch den Wasserbau historisch stark eingeeengten Gewässern wie Alpenrhein, Rhone oder Aare ziehen Hochwasserschutzprojekte daher schwerwiegende Zielkonflikte mit der Wasserversorgung nach sich (Denzler 2016, Kanton Wallis 2015, Ammon 2017).

Letztlich handelt es sich bei dem Zielkonflikt zwischen Grundwasserschutzzonen und dem für Hochwasserschutz nötigen Gewässerraum um eine Flächenkonkurrenz. Sie geht auf die übermässige Einengung des Gewässerraums in früheren Zeiten zurück und lässt sich ohne Nutzungsanpassungen kaum bewältigen. Soll der für den Hochwasserschutz gesetzlich vorgesehene Gewässerraum hergestellt werden, ist dies nur zu Lasten anderer Landnutzungen möglich, meist der Landwirtschaft. In den Talebenen der grossen Alpenflüsse (Rhone, Alpenrhein, Aare, Reuss, etc.) ist es eine enorme raumplanerische Herausforderung, auf beschränktem Raum Hochwasserkorridore, Siedlungs- und Industriegebiete, Trinkwasserschutzzonen, Verkehrswege und eine produktive Landwirtschaft in Einklang zu bringen. So geht mit der laufenden 3. Rhonekorrektur nichts weniger als eine umfassende Neuplanung der gesamten Talebene einher (Kanton Wallis 2015).

Weitgehend ausgenommen vom Flächenanspruch des Hochwasserschutzes sind die Siedlungen: sie sind das eigentliche Schutzgut, ihr Bestand soll nicht eingeschränkt werden. In Siedlungsgebieten gestatten

GSchG und WBG daher, den für den Hochwasserschutz eigentlich nötigen Raum zu überbauen. Anspruch auf absoluten Schutz gibt es aber auch für Gebäude nicht. Wo die Hochwassersicherheit von Einzelgebäuden nicht mehr mit verhältnismässigen Mitteln hergestellt werden kann, müssen die Eigentümer selber Schutzmassnahmen an den Gebäuden vornehmen (Objektschutz).

Besteht Gefahr für Leib und Leben, können die Behörden bei übermässiger Überflutungsgefährdung sogar den Abbruch von Gebäuden verfügen (Beispiel Spreitgraben) (Denzler 2017a). In Österreich und Deutschland wurden bereits ganze Ortschaften rückgebaut, weil sie nicht mehr mit verhältnismässigen Mitteln vor Hochwasser geschützt werden konnten (BMLFUW 2015). In der Schweiz (Preonzo, Tessin) kam es wegen anderer Naturgefahren (Felssturz) zur Verlegung einer Industriezone (Denzler 2017b). Gegen Hochwasser lassen sich derzeit noch alle Siedlungs- und Industriezonen bis zu einem 100-jährlichen Ereignis schützen, wenn auch teils mit erheblichem technischem und finanziellem Aufwand. Ob dies angesichts steigender Risiken durch Klimawandel und intensivierte Nutzung des Territoriums auch zukünftig überall der Fall sein wird, ist offen.

Ein Zielkonflikt kann auch zwischen einem verbesserten Hochwasserschutz und der Wasserkraft bestehen. Wenn Stauseen abgesenkt werden, um als Rückhaltespeicher für Starkniederschläge und damit zur Absenkung von Hochwasserspitzen zu dienen, sind Flexibilität und Ausbeute der Stromgewinnung beeinträchtigt. Schon heute werden die Stauseen im Hochgebirge auch zugunsten des Hochwasserschutzes bewirtschaftet (García Hernández et al. 2014). Zu entscheiden ist, in welchem Mass Stauseen in Zukunft vermehrt diese Aufgabe übernehmen können und wie die Stromerzeuger dafür zu entschädigen sind (BAFU 2016).

10.4.2 Zielkonflikte und Synergien mit der Gewässerökologie

Gemäss Art. 4 WBG muss bei Eingriffen in ein Gewässer dessen natürlicher Verlauf möglichst beibehalten oder wiederhergestellt werden. Gewässer und Gewässerraum müssen so gestaltet werden, dass sie einer vielfältigen Tier- und Pflanzenwelt als Lebensraum dienen können, die Wechselwirkungen zwischen ober- und unterirdischen Gewässern weitgehend erhalten bleiben und eine standortgerechte Ufervegetation gedeihen kann. Daher ist es naheliegend, wie von GSchG und WBG vorgesehen, Hochwasserschutz und Revitalisierung gemeinsam anzugehen – jeder Eingriff in ein Gewässer ist eine Chance zur ökologischen Verbesserung. Vor allem im Mittelland und in den grossen Alpentälern aber

haben sich die gesellschaftlichen Aktivitäten so weit in die ehemaligen Flussgebiete vorgeschoben, dass ihr Schutz manchmal nur noch mit wenig naturverträglichen Massnahmen sichergestellt werden kann. Dabei entstehen schwer lösbare Zielkonflikte zwischen Gewässerschutz und Hochwasserschutz, die im Grunde eine Folge der unbedachten Inanspruchnahme von Flussebenen durch die Gesellschaft sind.

Wie in Kapitel 10.1 beschrieben, beschleunigen Begradigung und Einengung ein Fließgewässer und erhöhen dessen erosiven Angriff auf Ufer und Flusssohle. Es sind besonders die stabilisierenden Gegenmassnahmen, die heute eine Belastung für die Gewässerökologie darstellen: verbaute Uferlinien, eingeschränkte Vielfalt bei der Strömungsgeschwindigkeit, fehlende Unterstände und Rückzugsräume, Sohlschwellen und andere Querverbauungen als Aufstiegshindernisse, ein gestörter Geschiebehaushalt, mangelnder Verbund mit Nebengewässern und Auen. Wie meist bei Flächenkonflikten sind Lösungen am ehesten in einem grösseren Perimeter möglich, etwa indem man flussaufwärts von bedrohten Siedlungs- oder Industriearealen Flussaufweitungen und Rückhaltungsmöglichkeiten schafft. Deren Flächenbedarf wiederum geht auf Kosten der dortigen Landnutzung, meist der Landwirtschaft.

10.5 **Potenzielle Lösungsansätze**

Durch den Klimawandel werden sich wichtige hydrologische Kennziffern verändern, so dass der Hochwasserschutz an die neuen Gegebenheiten angepasst werden muss (Bundesrat 2014). Dabei steht nicht die Optimierung der Fließgewässer, sondern die übergreifende Abstimmung aller Aktivitäten und Ansprüche in der gesamten von einem Fluss beeinflussten Landschaft im Fokus (BAFU 2016). Hochwassergefahren, bestehende und zukünftige Nutzungen sowie Gewässerschutzziele müssen integral betrachtet und in Einklang gebracht werden (integrale Planung, siehe Abb. 10-09). Die Vielfalt der betroffenen Nutzungen bringt mit sich, dass zahlreiche Stakeholder betroffen und verschiedenste kantonale und kommunale Behörden zuständig sind. Eine frühzeitige Information und Abstimmung aller Beteiligten ist Voraussetzung für eine effiziente Entscheidungsfindung und angepasste Lösungen.

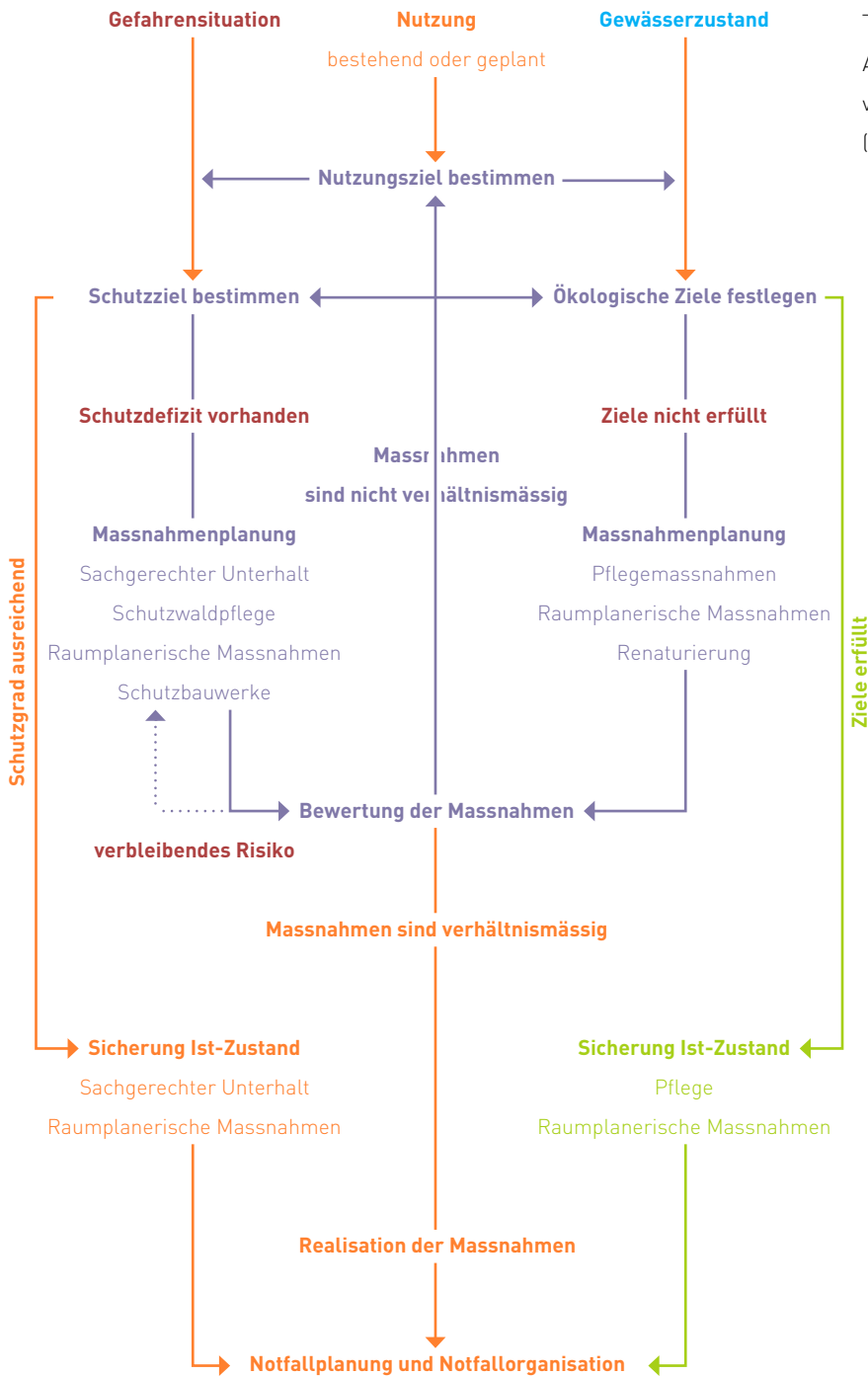


Abb. 10-09

Ablaufschema für eine integrale Planung von Schutzmassnahmen (Quelle: BAFU 2016)

Anzustreben ist stets eine grossräumige Planung, möglichst ganzer Flussgebiete. Denn Hochwasserschutzmassnahmen wirken sich über weite Flussstrecken aus: werden neue Rückhalteflächen geschaffen, sinkt der Hochwasserabfluss im weiteren Verlauf, erhöht man die Abflusskapazität (Stollen, Verengung, Vertiefung), nehmen die Hochwasserspitzen flussabwärts zu. Zumindest sollte die Planung des Hochwasserschutzes über mehrere Gemeinden hinweg erfolgen.

Risikobasierte Raumplanung

Es ist selbstverständlich, neue Nutzungen (Gebäude und Infrastrukturen) nur dort zu verwirklichen, wo langfristig Sicherheit vor Hochwasserschäden besteht. In gefährdeten Gebieten dürfen keine neuen inakzeptablen Risiken geschaffen werden. Zu vermeiden ist insbesondere der Bau kritischer Infrastrukturen wie z.B. Rechenzentren oder Cloud Computing Einheiten, da bei deren Überflutung neben Sachschäden zum Beispiel auch Datenverluste und daraus folgendes Systemversagen drohen (Renn 2017). In diesem Sinne sollten auch Bereiche überprüft werden, wo zwar eine geringe Gefährdung besteht (gelbe Bereiche der Gefahrenkarten), aber hohe Sachwerte konzentriert sind (z.B. Stadtzentrum Zürich).

Sind in gefährdeten Bereichen Neubauten bzw. eine Intensivierung der Raumnutzung geplant, ist eine risikobasierte Raumplanung zwingend nötig. Wie diese konkret ablaufen kann, wurde an mehreren Planungsbeispielen eingehend untersucht. Dabei zeigen sich verschiedene Handlungsoptionen. Mitunter reichen Objektschutzmassnahmen zur Sicherung aus, in anderen Fällen müssen weitergehende Schutzmassnahmen ergriffen werden. Es kann sich aber auch erweisen, dass bestimmte Bauten oder Nutzungsintensivierungen am gewünschten Ort ein nicht akzeptables Risiko darstellen und daher nicht zu verantworten sind (Camenzind et al. 2014).

Auch bestehende Nutzungen und Bauten müssen angepasst werden, wenn durch den Klimawandel oder andere Entwicklungen langfristig ein zunehmendes Risiko zu erwarten ist. Im Siedlungsgebiet werden allerdings Anpassungen im Gebäudebestand nur begrenzt möglich sein, so dass hier neben punktuelltem Objektschutz vielfach nur eine weitere Verstärkung von baulichen Areal-Schutzmassnahmen bleibt. Langfristig ist dies aber nur zielführend, wenn auch der Überlastfall mitgeplant wird, d.h. Siedlungen und kritische Infrastrukturen etwa durch Abflusskorridore auch bei extremen Hochwassern vor katastrophalen Schäden geschützt sind.

Fachübergreifende Kooperation

Um ein integrales Risikomanagement erfolgreich umsetzen zu können, ist angesichts der vielen involvierten Interessen und der hohen Flächennutzungsdichte eine enge Zusammenarbeit unterschiedlichster Institutionen und Akteure notwendig: Raumplaner, Naturgefahren- und Gewässerschutzexperten, Versicherungsunternehmen und schliesslich die Eigentümer der zu schützenden Sachwerte, seien es Gebäude oder Landflächen. Die Planung erfordert eine hohe Bereitschaft zu Kommunikation und Kooperation, eine ganz eigene Kultur der Konfliktbereinigung, die sich letztlich aus der Verständigung auf das gemeinsame Ziel eines optimierten Schutzes vor Naturgefahren speist. Dieser umfasst die drei Bereiche Vorbeugung, Bewältigung von Hochwasserereignissen und Regeneration bzw. Wiederaufbau.

Hochwasser-Ereignis



Abb. 10-10

Massnahmen des integralen Risikomanagements
(Quelle: BABS 2012)

Notfalls Rückzug

Schliesslich ist im Umgang mit Naturgefahren auch der Rückzug von besonders exponierten Flächen denkbar, so schmerzhaft ein solcher Schritt für die Eigentümer sein mag. In Artikel 17 der Verordnung des Bundes über den Wald (wv) heisst es, dass die Sicherung von Gefahrengebieten unter anderem auch die Verlegung gefährdeter Bauten und Anlagen an sichere Orte umfasst (Bundesrat 2016/ BAFU 2017). Es ist nicht auszuschliessen, dass der Klimawandel einen solchen Rückzug in Zukunft öfter notwendig machen wird. Dies ist bei Bergstürzen wie 2017 in Bondo im Bergell aufgrund der schieren Macht der Felsmassen inzwischen im öffentlichen Bewusstsein verankert, bei Hochwassergefahren noch kaum.

Von der Abfluss- zur Auswirkungsvorhersage

Mit der Weiterentwicklung der Wettervorhersagemodelle verbessert sich auch die kurzfristige Abflussvorhersage (6-48 Stunden vor einem Hochwasserereignis). Doch ist ein vorhergesagter Abfluss in Kubikmetern pro Sekunde für die Information der Entscheidungsträger vor Ort nicht immer ausreichend. So könnten lokale Einsatzkräfte (z.B. Feuerwehren) von Abschätzungen der potenziell überfluteten Fläche und der Anzahl betroffener Gebäude und Personen profitieren. Dazu ist eine Übersetzung der Abflussvorhersage in eine Prognose von Auswirkungen nötig. Die Kopplung von Wettervorhersagemodellen mit Niederschlags-Abfluss-Modellen und Schadenvorhersagemodellen könnte solche Prognosen in Zukunft verlässlicher machen (Le Bihan et al. 2017).

Rückhalteräume und Abflusskorridore

Rückhalteräume sind ein wichtiges Element des Hochwasserschutzes, beeinträchtigen sie Fliessgewässer und Landschaften doch nur wenig. Im Gegensatz zum klassischen Wasserbau, der zu jeder Zeit seine hydraulischen Wirkungen entfaltet, wirken Rückhalteräume nur im Hochwasserfall. In der restlichen Zeit können sie anderweitig genutzt werden, etwa als Ackerland oder Sportplätze. Rückhalteräume sind daher ein wichtiges Instrument des integralen Risikomanagements. Die Bereitstellung der dafür notwendigen Flächen wirft indessen teils schwierige Fragen auf. So muss entschieden werden, wie mit bestehenden Gebäuden im Rückhalteraum umzugehen ist, wer Objektschutzmassnahmen finanziert, wer allfällige Schäden übernimmt, wie Landwirte für Bewirtschaftungseinschränkungen entschädigt werden und wer für den Schaden aufkommt, wenn Landwirtschaftsland bei Hochwasser mit Geschiebe überschüttet wird. Ähnliche Fragen stellen sich bei der Ausscheidung von Abflusskorridoren, die vorgehalten werden müssen, um bei ausser-

gewöhnlich grossen Hochwasserereignissen übermässige Schäden an Gebäuden und Sachwerten zu vermeiden (Willi et al. 2015).

Bedeutung für die Schaffung von Rückhalteräumen können auch Bahntrassees und Strassenanlagen haben, die auf künstlichen Aufschüttungen erstellt wurden. Solche erhöhten linearen Elemente bilden in Flussebenen hydraulische Hindernisse, die bei Überschwemmungen positive oder negative Auswirkungen haben können (Truehard et al. 2020). Hydraulisch undurchlässige Lärmschutzwände und erhöhte Bahntrassees können ähnlich wie Dämme weite Flächen vor Überflutung schützen. Sie können aber auch zu einem unerwünschten Rückstau und grösseren Fliesstiefen und möglicherweise zu höheren Schäden führen (z.B. talquerende Brückenauffahrten). Bei zukünftigen Planungen könnte vermehrt die Struktur künstlicher linearer Landschaftselemente z.B. als Leitbauwerke für die Begrenzung von Abflusskorridoren oder für die Schaffung von Rückhalteräumen genutzt werden. Oft sind nur relativ geringe bauliche Anpassungen erforderlich, um die bestehende Infrastruktur zu solchen multifunktionalen Räumen umzugestalten.

Stauseen als Rückhaltespeicher

Talsperren sind in der Schweiz vermehrt als Multifunktionsspeicher in der Abklärung (Brunner et al. 2019). Dies schliesst auch den Hochwasserschutz ein. In den Staubecken der grossen Wasserkraftwerke in den Alpen können erhebliche Niederschlagsmengen gespeichert werden, allerdings nur, wenn deren Wasserstand rechtzeitig abgesenkt wurde. Auf diese Weise lassen sich Hochwasserspitzen dämpfen und Schäden im Tal vermeiden. Die Wirksamkeit dieses Wasserrückhalts ist aber auf das Einzugsgebiet des Wasserkraftwerks beschränkt. Auch besteht ein Zielkonflikt mit den Wasserkraftnutzern, die aufgrund der vorsorglichen Absenkung weniger Strom produzieren können (siehe Kapitel 6).

Je grösser die Entfernung, desto weniger wirkt sich der Wasserrückhalt von Hochgebirgsstauseen auf das Hochwassergeschehen aus. Einerseits wird die Wirkung durch die grossen Voralpenseen gedämpft, andererseits speisen sich die Flüsse auch aus Einzugsgebieten ohne Stauhaltung. Wirkungsvoller ist die bereits heute praktizierte Bewirtschaftung der natürlichen Seen. Auch deren vorsorgliche Absenkung ist allerdings wegen ökologischer und wirtschaftlicher Randbedingungen nur in engen Grenzen möglich.

Gefahrenwahrnehmung

Selbst wo die Kantone Karten mit Überflutungshöhen bei Ereignissen grösser als HQ100 bereitstellen, bleibt die öffentliche Wahrnehmung von Hochwassergefahren begrenzt. Für die Information und Sensibilisierung der Bevölkerung stehen zahlreiche Instrumente und mediale Hilfsmittel bereit. Dazu gehören Lesehilfen und Faktenblätter zum Umgang mit Gefahrenkarten, aber auch Vorlagen für Präsentationen und Tipps für die Gestaltung von Informationsmaterialien (PLANAT 2015).

Eine weitere sensibilisierende Massnahme könnte es sein, potenzielle Hochwasserstände im öffentlichen Raum sichtbar zu machen. Dies wäre durch einfache Markierungen etwa an den Pfosten von Verkehrsschildern, an Wanderwegweisern oder Hausfassaden möglich (z.B. HQ300, Überlastfall). Die Markierungen könnten so gestaltet werden, dass ihr Bezug zu Wasser und die potenzielle Gefahr sich ohne weitere Erläuterung erschliessen. Wasserstandsmarken historischer Hochwasser (Abb. 10-11) waren auch in der Vergangenheit wichtige Hilfsmittel, um die Bevölkerung an hochwassersicheres Verhalten zu erinnern (Rohr 2018).

Abb. 10-11

Hochwassermarken dienen seit jeher als Mahnung an die Bevölkerung, hier an der Linth nahe Weesen (Quelle: Klaus Lanz)



Noch weniger gegenwärtig sind der Bevölkerung die Gefahren durch Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen. Wichtig ist eine Sensibilisierung von Hauseigentümern, insbesondere bei Neubauten. Es bietet sich an, schon im Rahmen der Baubewilligung Oberflächenabflüsse zu berücksichtigen und Objektschutzmassnahmen anzusprechen. Im Gespräch ist auch, ob zur Förderung der Eigenvorsorge eine Erhöhung des Selbstbehalts bei Elementarversicherungen sinnvoll wäre.

Integrales Risikomanagement als Bildungsauftrag

Mit der Novellierung von WGB und GSchG und der Verabschiedung verschiedener Strategiepapiere und Wegleitungen des Bundes sind die gesetzlichen und planerischen Voraussetzungen für einen Paradigmenwechsel im Hochwasserschutz geschaffen. Dieser fachlich, praktisch und wissenschaftlich begründete Ansatz findet aber in der Bevölkerung nicht immer den nötigen Widerhall. Vielfach ist das Denken weiterhin von Begriffen wie «Abwehr», «Zähmung des Flusses» und «Korrektion» einer gefährlichen Natur bestimmt. Die Hauptursache von Hochwasserschäden, die übermässige und wenig koordinierte Beanspruchung von flussnahen Flächen durch die Gesellschaft, wird noch kaum erkannt. Da in vielen Kantonen die Gemeinden wasserbaupflichtig sind und demgemäss Gemeindeversammlungen das letzte Wort bei Hochwasserschutzprojekten haben, hat diese Grundhaltung auch Auswirkungen auf deren Gestaltung.

Um das Primat des integralen Risikomanagements gegenüber rein abwehrenden Baumassnahmen zu gewährleisten, ist beim Thema Gefahrenprävention weitere Bildungs- und Aufklärungsarbeit sinnvoll.

10.6 Wissenslücken / Forschungsbedarf

- Verbesserung der Kenntnisse über klimawandelbedingte Änderungen in Gefahrenprozessen, z.B. Geschiebeprozesse bei Auftauen von Permafrost
- Verbesserung der Wissensgrundlage und Berücksichtigung aller schadenrelevanten Wasserprozesse, inkl. Grundwasseraufstoss, Oberflächenabfluss, See-Tsunamis
- Systematische Berücksichtigung des Überlastfalls bei Planung und Bewilligung von Hochwasserschutzprojekten
- Überblickswissen gewinnen, wie sich das Schadensrisiko (CHF/ha) durch die bauliche Entwicklung verändert, um neue inakzeptable Risiken zu erkennen und zu vermeiden
- Verbesserte Kenntnis und Berücksichtigung von Oberflächenabfluss bei der Planung der Siedlungsentwässerung und von Strassenverbindungen
- Ermittlung der Wirksamkeit finanzieller Anreize für Objektschutzmassnahmen
- Verbesserte Berücksichtigung von Naturgefahren bei der Planung von kritischen Infrastrukturen
- Potenzial für Hochwasserrückhalt natürlicher und künstlicher Seen ermitteln und optimal nutzen, auch bei zukünftigen Multifunktionsspeichern
- Entwicklung optimierter öffentlicher Risikokommunikation, Vermittlung von Überflutungsgefahren und richtigem Verhalten bei Hochwasserereignissen.

10.7 **Literatur**

ALG (2017)

[Ereignisbericht Hochwasser 8. Juli 2017](#)

Abteilung für Natur und Gewässer, Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau

Ammon, T. (2017)

[Schutz- und Nutzungskonflikte im Berner Aaretal](#)

Vortrag an WA21-Fachtagung «Zusammenarbeit im Einzugsgebiet», 27. Juni 2017, Fribourg

ARE/ BWG/ BUWAL (2005)

[Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren](#)

Bern, 48 Seiten

AWEL (2017)

Stationäre Wasserentnahme aus der Thur rechts unterhalb der «Altemerbrücke» zu Bewässerungszwecken
Thurunterquerung zwischen Vaterlausen und Engi

Konzession der Baudirektion des Kantons Zürich, Ref.-Nr. AWEL 16-0238

BAFU (2015)

[Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2016–2019](#)

Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller, Bern, 38 Seiten

BAFU (2016)

[Von der Risikoanalyse zur Massnahmenplanung](#)

Arbeitsgrundlage für Hochwasserschutzprojekte, Bundesamt für Umwelt, Bern

Umwelt-Wissen Nr. 1606, 89 Seiten

BAFU (2017)

[Umsiedlung und Rückbau als Option](#)

Bern, 24 Seiten

BAFU (2018)

[Gefährdungskarte Oberflächenabfluss](#)

Bernet, D. et al. (2017)

[Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time](#)

Natural Hazards and Earth System Science No. 17, 1659-1682

Bernet, D. et al. (2018)

[Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe](#)

Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 42, Bern, 96 Seiten

BMLFUW (2015)

[FLOODRISK-E\(valuierung\)](#)

Analyse der Empfehlungen aus FR I und II und deren Umsetzungsfortschritt im Lichte der Umsetzung der Hochwasserrichtlinie

Synthesebericht. Wien, 103 Seiten

Brunner, M. et al. (2019)

[Beitrag von Wasserspeichern zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit?](#)

Wasser Energie Luft No. 3, Seiten 145 – 152

Bundesamt für Statistik (2018)

[Gebäude- und Wohnungsstatistik 2017](#)

Neuchâtel

Bundesrat (2014)

[Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz](#)

Aktionsplan 2014 – 2019

Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. BAFU, Bern, 102 Seiten

Bundesrat (2016)

[Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz](#)

Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012 BAFU, Bern, 118 Seiten

BWG (2001)

[Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung](#)

Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel, 72 Seiten

Camenzind, R. et al. (2014)

[Risikobasierte Raumplanung. Synthesebericht zu zwei Testplanungen](#)

auf Stufe kommunaler Nutzungsplanung. PLANAT, ARE, BAFU (Hrsg.), Bern, 27 Seiten

Carey, M. et al. (2012)

[An Integrated Socio-Environmental Framework for Climate Change Adaptation and Glacier Hazard Management:](#)

Lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru

Climatic Change, No. 112, Seiten 733 – 767

Denzler, L. (2016)

[Zwischen allen Fronten](#)

Tec21 No. 44, Seiten 24 – 30

Denzler, L. (2017a)

[Guttannen und der Spreitgraben](#)

In: Raumnutzung und Naturgefahren Bundesamt für Umwelt, Bern, 24 Seiten

Denzler, L. (2017b)

[Verlegung der Industriezone von Preonzo](#)

In: Raumnutzung und Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Bern, 24 Seiten

García Hernández, J. et al. (2014)

[Integrated flood forecasting and management system in a complex catchment area in the Alps](#)

– Implementation of the MINERVE project in the canton of Valais

In: Schleiss, A.J. et al. (Hrsg. 2014): Swiss Competences in River Engineering and Restoration Seiten 87 – 97

Haerberli, W. et al. (2013)

[NELAK: Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken](#)

Forschungsbericht NFP 61. Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 Seiten

Kanton Aargau (o. J.)

[Schutzzielmatrix des Kantons Aargau](#)

Kanton Bern (2012)

[Hochwasserschutz Lyss – Der Lyssbachstollen 2007 – 2012](#)

Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis III (Hrsg.), Bern

Kanton Wallis (2015)

[Synthesebericht GP-R3](#)

Departement für Verkehr, Bau und Umwelt, Sion, 96 Seiten

Köllner, P. et al. (2017)

[Klimabedingte Risiken und Chancen](#)

Eine schweizweite Analyse. BAFU, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1706, 148 Seiten

Le Bihan, G. et al. (2017)

[The challenge of forecasting impacts of flash floods: test of a simplified hydraulic approach and validation based on insurance claim data](#)

Hydrol. Earth Syst. Sci., No. 21, Seiten 5911 – 5928

Loat, R. (2016)

[Bewusst mit Naturgefahrenrisiken umgehen – in der Schweiz eine Aufgabe der Raumplanung?](#)

Vortrag an der Internationalen Tagung «Anpassung an den Klimawandel in der Praxis: Wo stehen wir heute, was brauchen wir für morgen?», Universität Bern, Juni 2016

NCCS (2018)

[CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland](#)

Technical Report, National Centre for Climate Services, Zürich, 271 Seiten (ISBN: 978-3-9525031-4-0)

Nussbaumer, S. et al. (2014)

[Risk estimation for future glacier lake outburst floods based on local land-use changes](#)

Natural Hazards and Earth System Sciences Online Discussion, No. 14, Seiten 1611 – 1624

PLANAT (2004)

[Sicherheit vor Naturgefahren – Vision und Strategie](#)

Biel, 40 Seiten

PLANAT (2013)

[Sicherheitsniveau für Naturgefahren](#)

Bern, 16 Seiten

PLANAT (2015)

[Praxiskoffer Risikodialog Naturgefahren](#)

Bern, 10 Seiten

PLANAT (2018)

[Umgang mit Risiken aus Naturgefahren – Strategie 2018](#)

Bern, 26 Seiten

Röthlisberger, V. et al. (2016)

[Spatiotemporal aspects of flood exposure in Switzerland](#)

E3S Web Conf., 7, 8008

Rohr, C. (2018)

Avoiding conflicts by revisiting historical experience?

Flood marks and their use for disaster memory past and present Vortrag beim ForumAlpinum am 6. Juni 2018, Breitenwang, Österreich

Scheuner, T. et al. (2015)

[Strategien zur Geschiebemanagement im Zusammenhang mit dem Klimawandel](#)

GEOTEST/econcept Bericht Nr. 1411 192.1 im Auftrag des BAFU, 75 Seiten

Thomi, L. et al. (2015)

[Was macht Hochwasserschutzprojekte erfolgreich?](#)

Eine Evaluation der Risikoentwicklung, des Nutzens und der Rolle privater Geldgeber
Geographisches Institut, Bern, 91 Seiten

Trueheart, M.E. et al. (2020)

[Simulating hydraulic interdependence between bridges along a river corridor under transient flood conditions](#)

Science of the Total Environment No. 699, Seiten 134046ff

Willi, C. et al. (2015)

[Lösungsansätze zur Sicherung von Flächen für Hochwasserkorridore](#)

Leitfaden im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Bern, 44 Seiten

[www.risikodynamik.ch Vergleich 1820 \[2015\]](http://www.risikodynamik.ch)

Zeh Weissmann, H. et al. (2009)

[Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz](#)

Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie)
Umwelt-Zustand Nr. 0926, Bundesamt für Umwelt, Bern, 100 Seiten

Zischg, A. P. et al. (2011)

[Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren](#)

Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 154 Seiten

Zischg, A. P. et al. (2018)

[Flood risk \(d\)evolution: Disentangling key drivers of flood risk change with a retro-model experiment](#)

Science of the Total Environment No. 639, Seiten 195 – 207