

Gesamtsynthese des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61

# Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz

NFP 61 weist Wege in die Zukunft

Leitungsgruppe NFP 61 (Hrsg.)



**Nachhaltige Wassernutzung**  
Nationales Forschungsprogramm NFP 61



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG



## Impressum

### Redaktion:

Pierre Walther und Catherine von Graffenried, fast4meter, in Zusammenarbeit mit der Leitungsgruppe NFP 61

**Empfohlene Zitierweise:** Leitungsgruppe NFP 61 (2015): Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP 61 weist Wege in die Zukunft. Gesamtsynthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

**Erarbeitet und publiziert mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung».**



**Nachhaltige Wassernutzung**  
Nationales Forschungsprogramm NFP 61

**Leitungsgruppe:** Prof. em. Christian Leibundgut (Präsident), Universität Freiburg i.Br.; Prof. Günter Blöschl, Technische Universität Wien; Prof. Dietrich Borchardt, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig; Ulrich Bundi (bis 2013), Eawag, Dübendorf; Prof. Bernd Hansjürgens, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig; Prof. Bruno Merz, GeoForschungsZentrum, Potsdam; Prof. i.R. (Universität Wien) Franz Nobilis, Ministerialrat im Lebensministerium (Sektion Wasser, Hydrographisches Zentralbüro), Wien

**Programmbeirat:** Dr. Christoph Böhnert, Dienststelle für Landwirtschaft und Wald, Kanton Luzern; Katharina Dobler (bis 2013), Amt für Gemeinden und Raumordnung, Kanton Bern; Dr. Anton Kilchmann, Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW); Roger Pfammatter, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (SWV); Irène Schmidli (bis 2011), Amt für Wasser und Abfall, Bern; Moritz Steiner, Dienststelle für Energie und Wasserkraft, Kanton Wallis; Adèle Thorens Goumaz, Nationalrätin VD, Grüne; Luca Vetterli, Pro Natura Ticino; Hansjörg Walter, Nationalrat TG, SVP; Martin Würsten, Amt für Umwelt, Kanton Solothurn

**Delegierte der Abteilung IV des Nationalen Forschungsrats:** Prof. Nina Buchmann, ETH Zürich

**Bundesvertreter:** PD Dr. Stephan Müller, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

**Programmkoordinatorin:** Dr. Barbara Flückiger Schwarzenbach, Schweizerischer Nationalfonds SNF, Bern

**Leiterin Wissensaustausch:** Dr. Patricia Fry, Wissensmanagement Umwelt, Zürich

**Sprecher:** Dr. Bruno Schädler, Universität Bern

**Video, Videostills und -zitate:** Patricia Fry, Wissensmanagement Umwelt, Zürich; Renata Grünenfelder, Halbbild Halbtou, Zürich

**Layout und Grafik:** Esther Schreier, electronic publishing, Basel; Guido Köhler, Atelier Guido Köhler & Co., Binningen

**Übersetzung:** Trad8, Delémont

**Fotos Umschlag:** Emmanuel Rey; Sabine Rock; AUE BL; Essence Design; Miredi – Fotolia.com; Reportair.

Hintergrundfotos Beat Ernst, Basel

**Bilder und Zitate:** Wenn nicht anders vermerkt, stammen die verwendeten Bilder und Zitate aus den NFP 61-Videos «Einblick» und «Ausblick», siehe [www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch). Die Zitate widerspiegeln die Meinung der abgebildeten Personen.

Für die erwähnten Forschungsergebnisse sind die jeweiligen Forschungsteams verantwortlich, für die Synthese und die Empfehlungen die Leitungsgruppe, deren Auffassung nicht notwendigerweise mit derjenigen des Schweizerischen Nationalfonds oder des Programmbeirats übereinstimmen muss.

**Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek:** Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-7281-3611-4 (Printausgabe)

Diese Publikation ist auch als E-Book erhältlich (open access):  
ISBN 978-3-7281-3612-1, DOI 10.3218/3612-1

[www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch)

© 2015, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

**This work is licensed under a creative commons license.**



## Inhalt

<b>4</b>	<b>Vorwort</b>
<b>6</b>	<b>NFP 61 in Kürze</b>
<b>8</b>	<b>NFP 61 stellt sich vor</b>
8	Wen beschäftigt das Thema?
11	Auftrag an die Forschenden
13	Wie wurde das NFP 61 umgesetzt?
<b>16</b>	<b>NFP 61 blickt in die Zukunft</b>
16	Fokus des Programms
18	Wo die Gletscher schmelzen
25	Starkniederschläge, Hochwasser und Geschiebe
32	Wasserressourcen der Zukunft
39	Sommertrockenheit und Niedrigwasser
48	Wo die Landwirtschaft mehr Wasser braucht
56	Flurbewässerung und alpine Kulturlandschaft
61	Gebiete unter Siedlungs- und Nutzungsdruck
69	Trinkwasser aus Grundwasser
<b>76</b>	<b>NFP 61 entwickelt Wege zur Nachhaltigkeit</b>
76	Worum geht es?
79	Schweizer Eigenarten
81	Erfahrungen mit IWM in der Schweiz
87	Wassergouvernanz von Bund und Kantonen
90	Eine sanfte Reform für mehr IWM
95	Planung nachhaltiger Wasserinfrastruktur
98	Hydrologische Ökosystemleistungen berechnen
100	Integrierte Bewertung von Fließgewässern
<b>102</b>	<b>NFP 61 zeigt regionales Wassermanagement</b>
102	Systematischer, wissenschaftlicher Ansatz
104	Zielwissen der Akteure
105	Wissenschaft erarbeitet Systemwissen
110	Transformationswissen entscheidet
<b>112</b>	<b>Zum Schluss des NFP 61</b>
112	Für Wasserfachleute
113	Für die Politik
114	Für künftige Forschung
<b>116</b>	<b>Anhang</b>



## Vorwort

Das Nationale Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) wurde 2008 gestartet, um **Grundlagen für eine Zukunftsstrategie zur Sicherung der Ressource Wasser und der Wasserwirtschaft in der Schweiz** zu erarbeiten.

Bereits zu Beginn war erkennbar, dass vom Klimawandel und von gesellschaftlichen Entwicklungen wie der zunehmenden Zersiedelung der Schweiz und den internationalen Marktöffnungen ein massgeblicher Druck auf die Ressource Wasser ausging. Eine angestrebte nachhaltige Nutzung des Wassers wird zudem durch politische und wirtschaftliche Einflussfaktoren erschwert, die oftmals weder vorhersehbar noch in ihren Folgewirkungen abschätzbar sind.

Mit dem breit angelegten Programm wurde das hohe Potenzial der Wasserforschung in der Schweiz zusammengeführt und gefestigt. Vor dem Hintergrund der teilweise unkontrollierbaren Einflussfaktoren sollten die vorhandenen wissenschaftlichen Bausteine über die Forschung weiterentwickelt, strategisch vernetzt und auf ein gemeinsames Ziel hin fokussiert werden, um auch als Grundlage für eine nationale Wasserstrategie zu dienen. Dazu musste jedoch ein **Paradigmenwechsel** vorgenommen werden von der partiellen Betrachtung von Wasserproblemen zur ganzheitlichen Betrachtung der Systeme und Einzugsgebiete. Eine ganzheitliche und integrale Herangehensweise bedeutet, die Wasserressourcen gemeinsam mit den übrigen Ressourcen und gesellschaftlichen Aktionsfeldern zu behandeln. Dazu zählen die Energieproduktion, die land- und forstwirtschaftliche Produktion sowie die gegenseitigen Rückkopplungen, die beispielsweise durch die Wasserkraftnutzung, die Flusskorrekturen und Gewässerrevitalisierungen, die Siedlungsentwicklung und die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe, den Tourismus und den Erholungssektor ausgelöst werden.



Die **Transdisziplinarität** hat in diesem Programm einen hohen Stellenwert. Die Forschung wurde von Beginn an unter Einbezug von Stakeholdern betrieben, und dem Weg der Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis wurde grosses Gewicht beigemessen. Erfahrene Anwendergruppen halfen mit, die Entwicklung von Werkzeugen wie Anleitungen und Modellen praxisnah zu gestalten. Mit dieser konzeptionell im Programm verankerten Arbeitsweise – Vernetzung und Austausch zwischen Forschung und Anwendung – könnte eine Umsetzung in die Praxis mit langfristiger Wirkung erleichtert werden.

Eine nachhaltige Wassernutzung kann nur unter Einbezug weiterer Lebens- und Wirtschaftsbereiche konzeptionell entworfen und realisiert werden. So stand die **ganzheitliche und integrale Vorgehensweise** grundsätzlich im Mittelpunkt der Projektarbeiten des NFP 61; sie bildet eine massgebliche Grundlage für ein erfolgreiches Wassermanagement und die zugehörige Wasserpoltik in der Schweiz (Wassergouvernanz).

Niemand konnte zu Programmbeginn davon ausgehen, dass sich der Parameter «unkontrollierbare Einflussfaktoren» so schnell konkretisieren würde. Die europäische Energiepoltik zum Beispiel schwenkte auf eine beschleunigte Energiewende ein. Dies wird massive Auswirkungen auch auf den Wassersektor in der Schweiz haben. Die angepeilte **Wasserstrategie** wurde vorläufig verschoben, und damit fehlt ein solider Pfeiler, um die Interessenabwägungen mit anderen Politikfeldern wie z.B. der Energiepoltik aus einer integralen Sicht und auf allseitig fundierten Grundlagen zu führen.

Diese Entwicklung zeigt, wie schnell sich Einflussfaktoren und die Interessen treibender Kräfte ändern können, und dass eine frühzeitige Vorsorge umso wichtiger ist.

Das NFP 61 hat sich in **16 Projekten** zentralen Aspekten der schweizerischen Wasserwirtschaft

gewidmet. **Vier Thematische Synthesen** zu wichtigen Schwerpunkten hatten das Ziel, für Fachleute in Bund, Kantonen und der Praxis die **Projektresultate miteinander zu verknüpfen und projektübergreifend Schlussfolgerungen zu ziehen**. Dafür wurden auch externe Forschungsergebnisse eingearbeitet, sodass ein **Gesamtbild der nachhaltigen Wassernutzung in der Schweiz** der Zukunft entstand. Dies ist zusammenfassend in der **Gesamtsynthese** dargestellt.

Die fünf nun vorliegenden Synthesebände dieses Nationalen Forschungsprogrammes sind ein faszinierendes Kompendium zu Nutzung und Umgang mit dem Wasser in der Schweiz. Sie zeigen auf, wie in der Schweiz die Zukunft des Wassersektors gestaltet sein könnte, was auf uns zukommen kann und welche Vorsorgemassnahmen zu empfehlen sind.

Ein grosser Dank gilt allen, die sich über Jahre mit Begeisterung intensiv für das Programm eingesetzt haben: den Forschenden, den Mitgliedern der Leitungsgruppe und des Beirates, der Leiterin Wissensaustausch, der Programmkoordinatorin und den weiteren Mitarbeitenden des SNF, den Beteiligten aus dem BAFU und weiteren Bundesämtern, den Kantonen, Regionen, Gemeinden und Verbänden sowie den Autorinnen und Autoren der Synthesen.

Präsident der Leitungsgruppe des NFP 61

Christian Leibundgut



## NFP 61 in Kürze

**Das Nationale Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» untersuchte Fragen rund um die nachhaltige Nutzung und Sicherung der Wasserressourcen in der Schweiz. Entwicklungen in Wirtschaft und Gesellschaft sowie der von Menschen mitverursachte Klimawandel sind die wichtigsten Treiber. Sie lösen zunehmend komplexe Veränderungen im Wasserhaushalt und in der Nutzung von Wasser und Gewässerökosystemen aus.**

### Ein Buch und eine DVD für Sie

Dieses Buch richtet sich an interessierte Menschen wie Sie. Es fasst die wichtigsten Erkenntnisse des NFP 61 zusammen, insbesondere auch für Akteure aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Non-Profit-Organisationen, denen die Zukunft der Wassernutzung in der Schweiz am Herzen liegt.

Alle 16 Projekte sind auf der DVD, die diesem Buch beiliegt, porträtiert. Die Videos «Einblick» wurden am Anfang, die Videos «Ausblick» am Ende des NFP 61 gedreht.

**Das NFP 61 erlaubt einen Blick in die Zukunft (2100). Dieses Buch stützt sich auf die Ergebnisse der 16 Forschungsprojekte. Diese sind im Anhang dargestellt.**

**Fachleute finden weitere Informationen in den vier Thematischen Synthesen des NFP 61. Diese stellen die Ergebnisse der Projekte in einen Kontext und zeigen Handlungsoptionen auf.**

**Videos zu Projekten und Schlussfolgerungen finden sich auf der DVD am Schluss dieses Buches und auf der Website [www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)**

## Neue Erkenntnisse dank inter- und transdisziplinärer Forschung

16 interdisziplinäre Forschungsteams untersuchten Wasser und Wassernutzungen im Kontext von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt. Die Projektteams arbeiteten transdisziplinär. Betroffene und Beteiligte wurden einbezogen. Gemeinsam wurden Lösungsansätze und Handlungsoptionen entwickelt. ► [ab Seite 14](#)

## Klimawandel wird vor allem im Hochgebirge sichtbar

Der Klimawandel führt zu einem Temperaturanstieg. Die damit verbundene Gletscherschmelze und der Anstieg der Schneefallgrenze werden den Wasser- und Geschiebehalt im Hochgebirge in den nächsten Jahrzehnten erheblich verändern. In den Voralpen, im Mittelland und im Jura sind sozioökonomische Veränderungen – zum Beispiel in Landnutzung und Landwirtschaft – die wichtigsten Treiber. ► [ab Seite 18](#)

## Viele neue Seen im Hochgebirge

Durch den Gletscherschwund entstehen neue Seen. Diese haben Potenzial für Wasserwirtschaft und Tourismus. Sie bergen aber auch Konfliktpotenzial und Risiken, wie zum Beispiel Flutwellen. Dank dem NFP 61 verfügt die Schweiz als erstes Land der Welt über eine kommentierte Wissens- und Planungsbasis für den Umgang mit diesen neuen Gewässern. ► [ab Seite 21](#)

## Neue Erkenntnisse zu Karstwassersystemen

---

Das Forschungsprogramm entwickelte Modelle und Methoden zur Beschreibung der Dynamik von Karstwassersystemen. Bisherige Anwendungen zeigen, dass die Karstwasservorkommen grösser sind als angenommen. Sie erlauben den Kantonen, Karstwasser besser zu bewirtschaften.

► [ab Seite 34](#)

## Sommertrockenheit und Niedrigwasser nehmen zu

---

Mit dem Klimawandel dürften sich in Zukunft trockene Sommer mit weniger Niederschlag häufen. Bodentrockenheit und Niedrigwasser in Flüssen und Grundwasser entwickeln sich über mehrere Wochen und Monate. Der Anteil an Schnee- und Gletscherschmelze im Abfluss wird weiter zurückgehen. Das NFP 61 hat die Prozesse quantifiziert und Methoden zur Vorhersage von Niedrigwassern entwickelt. ► [ab Seite 39](#)

## Rolle der Bodenfeuchte für den Wasserhaushalt

---

Die zentrale Bedeutung von Bodenfeuchte und Verdunstung für den Wasserhaushalt wurde für die Schweiz umfassend dokumentiert. Die Ergebnisse haben Betroffene und Beteiligte überzeugt, dass das Thema wichtig ist und zukünftig genauer erfasst werden muss, zum Beispiel für Frühwarnsysteme. ► [ab Seite 42](#)

## Wasser, ein wichtiges Landschaftselement

---

Die Forschenden zeigen die Bedeutung traditioneller Bewirtschaftsstrukturen am Beispiel der Flurbewässerung in den Alpen (Suonen). Sie weisen Wege zur Modernisierung dieser Systeme.

► [ab Seite 56](#)

## Siedlungs- und Nutzungsdruck ist grössere Herausforderung als Klimawandel

---

In den Voralpen, im Mittelland und im Jura beeinflussen sozioökonomische Entwicklungen den Wasserhaushalt mehr als der Klimawandel. Beispiele sind Siedlungsentwicklung, Preise, Subventionen für landwirtschaftliche Produkte oder Regulierungen zu Wasserentnahme oder Schadstoffeintrag. Das NFP 61 erarbeitete Methoden zur Bewertung dieser Nutzungsdynamik hinsichtlich der Nachhaltigkeit der Wassernutzung.

► [ab Seite 61](#)

## Klimabedingte Erwärmung des Wassers wird zum Problem

---

Der Anstieg der Wassertemperaturen ist ein Stressfaktor für die durch Stoffeinträge bereits stark belasteten Gewässer in Siedlungsgebieten. Höhere Wassertemperaturen beeinträchtigen direkt und indirekt auch das Rohwasser für die Trinkwassergewinnung und beeinflussen die Anlagen der Trinkwasserversorgung. Das NFP 61 dokumentierte die Prozesse und untersuchte mögliche Folgen. ► [ab Seite 67](#)

## Vielfältige Erfahrungen im Wassermanagement

---

Das NFP 61 machte eine umfassende Bestandsaufnahme dieser Erfahrungen auf Ebene Bund, Kantone und Regionen. Sie zeigt die Vielfalt der Zuständigkeiten und Entscheidungsabläufe. Diese ist ein Spiegelbild des föderalistischen Aufbaus des Staatssystems. Die Untersuchung weist auf Erfolgs- und Hinderungsfaktoren für die Stärkung des nachhaltigen Wassermanagements in der Schweiz hin. ► [ab Seite 79](#)

## Vorschlag zur Stärkung der Nachhaltigkeit der Wassernutzung

---

Zusammenarbeit – regional, zwischen Sektoren oder politischen Ebenen – wird in Zukunft wichtiger. Der Bund braucht deshalb eine nationale Wasserstrategie, die Kantone Wassergesetze oder Wasserstrategien. Es macht wenig Sinn, in der Schweiz «integriertes Wassermanagement» (IWM) einheitlich nach Einzugsgebieten und flächendeckend einzuführen. Sinnvoller ist, IWM-Regionen nach Problemstellungen abzugrenzen. ► [ab Seite 90](#)

## Pilotprojekt für integriertes Wassermanagement (IWM)

---

Das NFP 61 zeigt, wie durch die Zusammenarbeit von Forschung und Praxis ein Mehrwert für die Region Crans-Montana-Sierre (VS) entstehen kann. Die Akteure aus der Praxis erarbeiteten Zielwissen, die Forschenden Systemwissen. Wichtig ist nun die Umsetzung der Erkenntnisse in das Wassermanagement (Transformationswissen). ► [ab Seite 102](#)

# NFP 61 stellt sich vor

**Welche Probleme stellen sich in den kommenden Jahrzehnten für die nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz? Steht Wasser auch 2100 noch immer, überall und in bester Qualität zur Verfügung? 16 Projekte forschten mit einem inter- und transdisziplinären Ansatz.**

## Wen beschäftigt das Thema?

### Beschleunigte Veränderung

Die Zunahme des Drucks ist ein schleichender Prozess. In der Schweiz geht seit Jahrzehnten jede Sekunde ein Quadratmeter Landwirtschaftsfläche verloren. Die Agglomerationsräume werden weiter wachsen und sich verdichten. Dies erhöht den Druck auf das Grundwasser, Oberflächengewässer und aquatische Ökosysteme.

Die Folgen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt werden in der Wissenschaft schon seit 25 Jahren diskutiert. In manchen Regionen werden sich Wasserwirtschaft und Gewässerschutz in den nächsten Jahrzehnten auf neue Bedingungen einstellen müssen. Für die Planung von Projekten mit Langzeitwirkung (>20 Jahre) müssen bisherige Modelle auf neue Bedingungen angepasst werden.

Wasser steht zum grossen Teil in der Hoheit der Kantone. Politische und planerische Entscheide, die Wasser betreffen, werden heute noch oft unter der Annahme getroffen, dass in der Schweiz Wasser überall, immer und in bester Qualität zur Verfügung steht. Dies ist bereits heute nicht mehr überall garantiert.

### Hoher Standard verpflichtet

In Siedlungswasserwirtschaft, Gewässer- und Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft spielt die Schweiz sozusagen in der Champions League. Die Investitionen der Öffentlichkeit und der Wasserwirtschaft zur Erreichung dieses Standards waren und sind erheblich. Forschung und der politische Wille, zu handeln und zu investieren, bleiben wichtig, um den hohen Stand zu halten.

Ein Beispiel ist der Gewässerschutz. Die Erfolge sind bemerkenswert. Trotz Industrialisierung, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung und Intensivierung der Landwirtschaft hat sich die Wasserqualität seit 1960 in Seen und Flüssen verbessert. Die Gewässer laden heute wieder zum Baden ein. Dies wurde möglich dank flächen-deckender Abwasserreinigung (1971), Verbot von Phosphat in Textilwaschmitteln (1985) und Umweltschutzaufgaben an die Landwirtschaft (1990).

Die Siedlungswasserwirtschaft ist ein weiteres Beispiel. Rund 2500 öffentliche Wasserversorgungen beliefern die Bevölkerung jederzeit und überall mit Trinkwasser von bester Qualität. Die Abwässer werden hygienisch unbedenklich aus dem Siedlungsraum geleitet und in rund 700 kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) gereinigt. Die dazu notwendige Infrastruktur der Siedlungswasserwirtschaft hat einen Wiederbeschaffungswert von 220 Milliarden Franken.

Der Hochwasserschutz steht dem in nichts nach. Vor 150 Jahren war er noch relativ kleinräumig. Visionäre Kräfte verhalfen der Schweiz 1877 zum ersten Bundesgesetz über die Wasserbaupolizei. Heute gibt es gut unterhaltene, allerdings alternde Infrastrukturen und eine breit abgestützte Politik im Umgang mit Naturgefahren.

### Klimawandel verändert den Wasserhaushalt

Die Schweizer Prognosen zum Klimawandel stützen sich auf die Klimaszenarien, die vom Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich (IAC-ETHZ) sowie von MeteoSchweiz entwickelt wurden, zum Teil im Rahmen europäischer Forschungsprogramme.

Bis ins Jahr 2085 erwarten die Fachleute eine Temperaturzunahme um drei Grad Celsius, mit möglichen Schwankungen von plus/minus einem Grad. Dies hat direkte Folgen auf den Wasserhaushalt, vor allem im Hochgebirge. Bis 2100 werden in der Schweiz nur etwa 20–30% des heutigen Gletschervolumens übrig bleiben,

**Der Wasserhaushalt und die Wasserressourcen der Schweiz sind zunehmend unter Druck. Dieser wird sich in den nächsten Jahrzehnten weiter verstärken. Grund sind wirtschaftliche, technologische und gesellschaftliche Entwicklungen sowie die Folgen des Klimawandels.**

**Folgt man dem Raumkonzept des Bundesrates (2012), werden sich die Agglomerationen weiter verdichten.**

**Die Schweizer Wasserwirtschaft investiert jährlich über 7 Milliarden Franken in den Unterhalt und für den Neubau von Anlagen. Wasserkraft, Siedlungswasserwirtschaft und Hochwasserschutz belegen die Spitzenplätze. Diese Investitionen schaffen einen grossen Gegenwert.**





mehrheitlich im Wallis. Mit jedem Grad Erwärmung steigt die Schneefallgrenze um 150 m. Damit wird weniger Niederschlag als Schnee gespeichert. Das Wasser fliesst direkter ab. Die Veränderungen sind schon heute messbar. 40% des in der Schweiz abfliessenden Wassers stammen noch von schmelzendem Schnee. Mit der Klimaerwärmung wird dieser Anteil auf 25% (2085) sinken.

Bei den Prognosen zur Entwicklung des Niederschlages gibt es grössere Unsicherheiten. Die jährlichen Niederschlagsmengen werden sich mit dem Klimawandel vermutlich nur wenig ändern, die Verteilung der Niederschläge über die Jahreszeiten jedoch erheblich. Eine deutliche Abnahme der Sommerniederschläge (rund 20% bis 2085) und eine Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr scheinen wahrscheinlich.

All dies kann zu jahreszeitlich veränderten Abflussmengen in Flüssen und Bächen führen. Die von Gletschern geprägten Abflussregimes werden fast vollständig verschwinden. Im Winter kann es mehr Hochwasser, im Sommer Trockenheit und Niedrigwasser geben. Auf der anderen Seite fallen die heute noch hohen Abflüsse in den Monaten Mai und Juni, die durch die Schneeschmelze bedingt sind, weg. Dass die Wassertemperaturen in Seen, Flüssen und Bächen ansteigen, ist unbestritten.

### Woran sollen sich Planer und Ingenieure orientieren?

Die Veränderungen, die durch wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen sowie den Klimawandel verursacht werden, müssen in den Methoden, Modellen und Ansätzen für Planungen berücksichtigt werden. Zeitreihen aus der Vergangenheit sind im Kontext dieser Veränderungen zu analysieren. Hochrechnungen in die Zukunft sind mit Unsicherheiten behaftet. Es braucht Modelle, die auf die erwarteten Veränderungen abgestimmt sind. So lässt sich das über Jahrzehnte gewachsene Vertrauen zwischen Politik und Ingenieurwesen erhalten.

Ein Beispiel ist der Hochwasserschutz. Bei der Planung von Anlagen richten sich die Planer oft nach hundertjährigen Ereignissen (HQ 100). Sollten sich diese in Zukunft signifikant häufiger wiederholen, sind die statistischen Werte aus der Vergangenheit und, gegebenenfalls, die Projekte anzupassen. Daneben kommt es im Hochgebirge zu neuen Phänomenen in der Landschaft und im Wasserhaushalt. Beispiele sind neue Seenlandschaften, Bergstürze (Auftauen der Permafrostschichten) und die Veränderung des Abflussregimes in den Gebirgsbächen. Diese sind bei Planungen ebenfalls zu berücksichtigen. Die Politik braucht weiterhin gute Grundlagen und solide Projekte, um Stimmbürgerinnen und Stimmbürger für die Finanzierung der oft teuren Vorhaben zu gewinnen.

**Links:** Die Energiewende erhöht den Druck auf die Wasserressourcen (Staudamm Gries). FUGE

**Mitte:** Die Wasserinfrastruktur ist ein Kapital. Leitungen der öffentlichen Kanalisation haben beispielsweise einen Wiederbeschaffungswert von 66,4 Milliarden Franken.

SWIP

**Rechts:** Schaum auf Fliessgewässern ist heute kein Thema mehr: Die Schweiz hat einen hohen Standard im Gewässerschutz erreicht. Foto Eawag

**Die Schweizerische Hydrologische Kommission ist eine Plattform der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT. Sie hat im Jahr 2013 Informationen zum Wasserhaushalt der Schweiz und zu den Auswirkungen des Klimawandels publiziert.**

**Daten zur Energiewirtschaft stammen aus der Energiestatistik des Bundesamtes für Energie.**

### Weichenstellungen für die Zukunft

In diesem Umfeld, das durch Unsicherheiten geprägt ist, sind Entscheide zu fällen oder Programme umzusetzen, welche die Zukunft und die Nachhaltigkeit der Wassernutzung in der Schweiz für Jahrzehnte prägen werden. Es geht um kostspielige Investitionen in Infrastrukturen mit einer Lebensdauer von 30 bis 100 Jahren oder in Projekte zum Gewässerschutz.

Ein Beispiel sind Projekte, die durch das revidierte Gewässerschutzgesetz (2011) ausgelöst werden. Rund 4000 km der in der Schweiz verbauten 15000 km Fliessgewässer sollen renaturiert werden. Probleme mit dem Geschiebetrieb und der Fischgängigkeit sind zu lösen. Landwirtschaftsflächen im Gewässerraum werden zu ökologischen Ausgleichsflächen. Das Programm wird mehrere Jahrzehnte dauern und mehrere Milliarden Franken kosten. Mit der nächsten Revision des Gewässerschutzgesetzes sollen ab 2015 in der Schweiz zudem die Grundlagen zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen in den 100 wichtigsten ARAs geschaffen werden. Problematische Chemikalien werden so aus dem Wasserkreislauf eliminiert. Solche Entscheide stellen Weichen für die Zukunft. Sie haben einen Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Wassernutzung in der Schweiz. Politik, Wirtschaft und Gesellschaft legen sich auf 25–100 Jahre fest. Es gibt Verbesserungen aber auch Folgekosten oder Altlasten, mit denen künftige Generationen umzugehen haben. Die Fähigkeit zur Anpassung an Veränderungen wird unter Umständen eingeschränkt.

### Wechselwirkungen werden wichtiger

Entscheidungen, die in der Wasserwirtschaft getroffen werden, haben Einfluss auf andere Bereiche von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, und umgekehrt. Beispiele sind Landwirtschaft, Energie, Tourismus oder die Siedlungsentwicklung. Es entstehen gegenläufige Wechselwirkungen – Trade-offs –, die über naturwissenschaftliche oder wasserwirtschaftliche Fragen hinausgehen.

Im Bereich Wasser sind diese in der Schweiz noch wenig untersucht. Bisherige Forschungspro-

gramme beschäftigten sich primär mit Wasserkreislauf und Wasserhaushalt. Die Forschenden stellten kaum einen Bezug zu anderen Politikbereichen wie Tourismus oder Landwirtschaft her. Dabei geht es nicht nur um Vor- und Nachteile für die Wasserwirtschaft. Wasser hat auch einen hohen immateriellen Wert. Wenn das Wasser aus der Landschaft verschwindet, hat das Folgen für Mensch, Natur und Landschaft.

### Ein Beispiel: die Energiewende

Die vom Bundesrat 2012 beschlossene Energiewende ist ein Beispiel für einen Bereich, in dem Trade-offs wichtig sind. Der Entscheid zur Energiewende wurde in einem anderen Politikbereich (Energie) gefällt. Er kann sich direkt und nachhaltig auf andere Wassernutzungen und Politikbereiche auswirken.

Die Rolle der Wasserkraft kann sich mit der Energiewende ändern. Heute trägt sie rund 54% zu der in der Schweiz produzierten Energie bei. Laufkraftwerke sind mit einem Viertel, Speicherkraftwerke mit einem Drittel an der Stromerzeugung beteiligt. Speicherseen könnten in Zukunft vermehrt eine Rolle bei der Speicherung regenerativer Energie übernehmen (kurzfristige Pumpspeicherung). Grosse Projekte werden noch aufgeschoben. Die Bedingungen auf dem europäischen Strommarkt sind zurzeit nicht attraktiv. Die Strombranche wünscht von der Politik klarere Rahmenbedingungen zur Planung der Energiewende, auch hinsichtlich der Möglichkeiten zur Wassernutzung.

Bei der Energiewende geht es nicht nur um Grossprojekte. Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), mit welcher der Bund erneuerbare Energien seit 2008 fördert, hat bei den Kleinwasserkraftwerken einen Boom ausgelöst. Bis Mitte 2013 sind über 1200 Projektanmeldungen eingegangen. Bei einem Grossteil davon handelt es sich um Neubauten an Gewässern.

Aus dieser Entwicklung entstehen Chancen und Risiken für die Nachhaltigkeit der Wassernutzung. Von den bisher erteilten 1488 Konzessionen für Wasserentnahmen dienen 95% der Wasserkraftnutzung. Die meisten wurden vor Inkrafttreten

des Gewässerschutzgesetzes (1992) erteilt, sind aber dennoch der Sanierungspflicht unterstellt. Viele müssen zwischen 2030 und 2050 erneuert werden.

#### **Wasserreichtum verpflichtet**

Europa zählt darauf, dass die Alpenländer sorgfältig mit Wasser umgehen. Was in der Schweiz passiert, kann sich über die Landesgrenzen hinaus auswirken. Falls Wasser in ferner Zukunft knapper wird, könnten Nachbarstaaten ihre Ansprüche an die wasserreichen Alpenländer vermehrt anmelden. Die Schweiz hat sich in internationalen Abkommen zu einem länderübergreifenden Wassermanagement verpflichtet.

### **Auftrag an die Forschenden**

**Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen ist es Ziel des NFP 61, wissenschaftlich fundierte Grundlagen und Methoden für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen in der Schweiz zu erarbeiten.**

#### **Ziel**

Die Auswirkungen von veränderten Klima-, Umwelt- und Gesellschaftsbedingungen sowie die damit verbundenen Risiken und Nutzungskonflikte sollen erforscht werden. Die Schweiz braucht intelligente und zukunftsweisende Strategien für ein integriertes und nachhaltiges Wassermanagement, eingebettet in optimale Strukturen zur Wassergouvernanz (z.B. Regelstrukturen).

#### **Nachhaltigkeit**

Nachhaltigkeit ist dabei ein politischer Auftrag. Die Bundesverfassung (Art. 73) verpflichtet Bund und Kantone zur nachhaltigen Entwicklung. Sie fordert sie dazu auf, «ein auf Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits und ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits» anzustreben. Die Nachhaltigkeitspolitik

orientiert sich insbesondere an folgenden Leitgedanken:

- ▶ Zukunftsverantwortung wahrnehmen (zum Beispiel das Vorsorge-, Verursacher- und Haftungsprinzip).
- ▶ Ausgewogene Berücksichtigung der drei Ziel dimensionen: ökologische Verantwortung, wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und gesellschaftliche Solidarität.
- ▶ Koordination zwischen den Politikbereichen erhöhen und die Kohärenz verbessern.
- ▶ Nachhaltige Entwicklung partnerschaftlich realisieren.

#### **Nachhaltigkeit im Kontext von Wasser**

Erstens geht es um ein Handlungsprinzip, die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser. Ziel ist die Bewahrung der wesentlichen Eigenschaften, der Stabilität und der natürlichen Regenerationsfähigkeit der Systeme. Es braucht einen haushälterischen Umgang mit Wasser. Dazu gibt es griffige Bestimmungen in der Bundesverfassung: «Der Bund sorgt im Rahmen seiner Zuständigkeiten für die haushälterische Nutzung und den Schutz der Wasservorkommen sowie für die Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers» (BV, Art. 76, Abs. 1). Zahlreiche Bundesgesetze stützen sich auf diesen Artikel. Die verschiedenen, gesellschaftlich legitimierten Ansprüche an Wasser und Gewässer sind aufeinander abzustimmen. Die Fähigkeit des hydrologischen Systems, sich in einer gewissen Bandbreite trotz einer Störung in ein neues Gleichgewicht einzupendeln, ist dabei ein wichtiges Element.

Zweitens sind Wassernutzungen und Wasserwirtschaft im Kontext von nachhaltiger Entwicklung zu betrachten. Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft sind bei Entscheiden zur Wassernutzung gleichwertig zu berücksichtigen. Gerechtigkeit zwischen den Generationen und bei der Verteilung der Ressourcen spielt eine Rolle.

#### **Integraler Blick**

Das NFP 61 unterstützt Wissenschaft, Politik und Verwaltung, die vielfältigen Themen und Aufgaben im Zusammenhang mit Wasser und Was-

**«Wenn man über die nächsten Jahrzehnte redet, so denken Politiker und auch das Publikum oft: ‹Das ist noch weit weg!› Dem ist aber nicht so. Es ist die Zukunft unserer Kinder. Wenn man daran denkt, wie viel Zeit die Planung von komplexen Schutzmassnahmen oder Schutzbauten benötigt, dann ist es ein Wettrennen gegen die Zeit.»**

*Wilfried Haeberli, NELAK,*

*Universität Zürich.*

*Mehr dazu siehe DVD.*

Der Bundesrat publizierte den Aktionsplan zur Strategie der Klimaanpassung im April 2014. Das NFP 61 ist ein wertvoller Beitrag zu mehreren Handlungsfeldern.

sernutzungen ganzheitlich zu untersuchen und zu lösen. Wasser ist ein Querschnittsthema. Entscheide in anderen Politikbereichen – insbesondere in der Agrar-, Energie- und Siedlungspolitik – haben einen grossen Einfluss auf das Wasser. Deshalb liegt die Lösung von Problemen in der Wassernutzung oft in anderen Politikbereichen. Umgekehrt haben die Entscheide im Wassersektor auch einen grossen Einfluss auf diese Bereiche.

Andere Forschungsprogramme – NFP 2, NFP 31 oder CCHydro – hatten einen engeren Blick auf den Wasserkreislauf und den Wasserhaushalt. Die vielfältigen Bezüge zu gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen waren dort nicht Gegenstand der Untersuchungen. Das NFP 61 forschte integraler.

Beitrag zur Strategie der Klimaanpassung

Der Bundesrat setzt mit seiner Strategie den Rahmen für das koordinierte Vorgehen der Bundesverwaltung bei der Anpassung an den Klimawandel fest. Im ersten Teil definierte er Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Im zweiten Teil wird mit einem Aktionsplan aufgezeigt, wie der Bund die Ziele erreichen und die Herausforderungen bewältigen will.

Das NFP 61 hilft mit, ein klareres Bild über die Herausforderungen der Zukunft zu zeichnen. Die Forschenden entwickelten Werkzeuge, Methoden und Strategien. Es geht um Tragfähigkeit der natürlichen Systeme, den Umgang mit Risiken und Nutzungskonflikten und um effiziente Managementsysteme zur nachhaltigen Wassernutzung. Die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Naturgefahren wurden dabei schon in einem früheren NFP (31) vertieft behandelt.

Tab. 1: Nationale Forschungsprogramme zum Thema Klima und Wasser.

Name	Titel/Thema	Schlussbericht
NFP 2	<b>Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes</b> Schichtungs- und Strömungsprobleme in Seen; Grundwasserdargebot; Abflüsse an Stellen ohne Direktmessungen; Wärme aus Grundwasser	1989
NFP 31	<b>Klimaänderung und Naturkatastrophen</b>	1998
CCHydro	<b>Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz</b> Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserressourcen und Gewässer	2012
CCWasserkraft	<b>Klimaänderung und Wasserkraftnutzung</b>	2012
ACQWA	<b>Auswirkungen des Klimawandels auf Quantität und Qualität von Wasser</b> EU-Forschungsprogramm, Kanton Wallis	2013



## Wie wurde das NFP 61 umgesetzt?

**Die Forschungsteams arbeiten inter- und transdisziplinär. Probleme der Wassernutzung wurden in ihren Querbezügen zu anderen Politikbereichen – Landwirtschaft, Tourismus, Energie – untersucht. Das Programm investierte in den Wissensaustausch und in die Synthese der Ergebnisse.**

### Wahl der Forschungsprojekte

Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) setzte 2008 für das NFP 61 eine Leitungsgruppe ein. Diese erarbeitete einen Ausführungsplan. Forschende aus der ganzen Schweiz wurden eingeladen, Projekte zu zwei Schwerpunkten einzureichen. Der erste widmete sich den Veränderungen in Wasserhaushalt und -qualität. Welche Prozesse lösen Klimawandel, Landnutzungsänderungen und gesellschaftliche Entwicklungen aus? Mit welchen Extremsituationen ist in Zukunft zu rechnen? Der zweite Schwerpunkt untersuchte sozioökonomische Faktoren sowie Strategien für die nachhaltige Wassernutzung. Alle Nutzungs- und Schutzbereiche wurden untersucht. Die Leitungsgruppe evaluierte die Forschungsgesuche. Sie traf eine Auswahl von 16 Projek-

ten. Diese wurden 2009 dem SNF zur Finanzierung vorgeschlagen. Die Forscherteams sollten grundlegende Themen der Hydrologie und der Wasserwirtschaft untersuchen und, darauf aufbauend, innovative Ansätze zu einem integrierten, adaptiven Wassermanagement entwickeln.

### Systemansatz

Alle Projekte untersuchten den hydrologischen Kreislauf in seinen Abhängigkeiten zu den Teilsystemen Natur, Nutzung und Gesellschaft. Es ging um die Schaffung von Querbezügen zu Fachbereichen ausserhalb der Hydrologie. Dieser Ansatz erwies sich für die Forschenden als innovativ.

Der sozioökonomische Wandel ist ein wichtiger Treiber für Veränderungen in der Wassernutzung. Es geht um Entwicklungen in Wirtschaft, Wertesystemen, Politik und Gesellschaft. Diese wirken sich auf die Nutzung der natürlichen Ressourcen aus. Der zweite Treiber ist der Klimawandel. Der Anstieg der Temperatur und die wahrscheinlichen Veränderungen bei den Niederschlägen wirken sich unmittelbar auf Wasser und Gewässer und deren physikalische Eigenschaften aus. Davon sind auch die aquatischen Ökosysteme sowie die Pflanzen- und Tierwelt betroffen.

**«Der Praxisbezug wurde über Kurse, die wir für Fachleute organisierten, sichergestellt. Diese stärkten den Dialog mit der Praxis.»**

*Sabine Hoffmann, Eawag*

*Autorin Thematische Synthese TS 3*

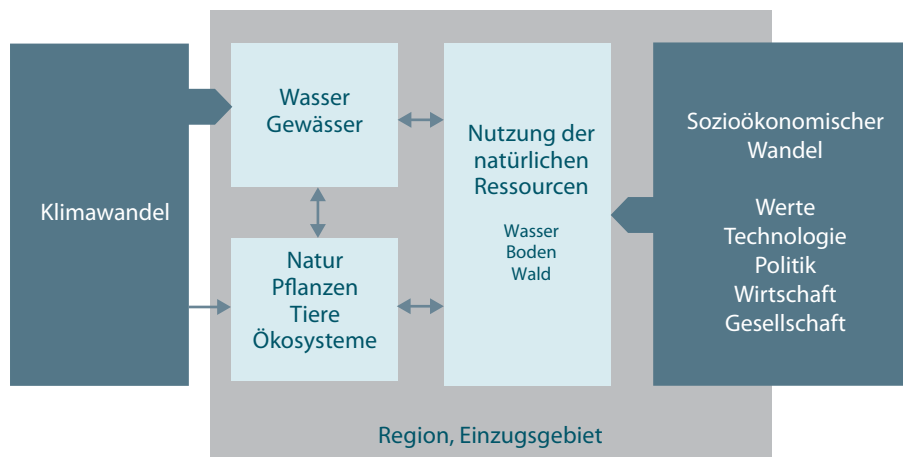


Abb. 1: Wasser, Gewässer und Wassernutzung im Kontext.

«Die Zusammenarbeit über Fachgrenzen hinaus war für uns alle ein grosses Erlebnis – speziell auch für den Forschungsnachwuchs.»

Jürg Fuhrer, AGWAM, Agroscope

«Transdisziplinäre Forschung bedingt einen hohen Koordinationsaufwand.»

Max Maurer, SWIP, Eawag

Inter- und transdisziplinäre Arbeitsweise

Die Projekte sollten gesellschaftlich relevante Probleme mithilfe von Wissenschaft und Praxis erforschen und Lösungen finden. Es mussten Methoden für inter- und transdisziplinäre Forschung entwickelt werden. Dies war für viele Beteiligte und Forschende neu.

Aus der Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen (Interdisziplinarität) entstand eine spezielle Dynamik, sowohl im ganzen Programm als auch in den einzelnen Projekten. Sie förderte unter den Beteiligten das Verständnis für verschiedene Sicht- und Vorgehensweisen.

In den meisten Projekten dienten die Praxiskontakte (Transdisziplinarität) dazu, die Praxisrelevanz der Fragestellungen abzuklären und Feedback einzuholen. Zudem benötigten viele Projekte Daten, die ohne Partner aus Verwaltung, Land- und Wasserwirtschaft nicht zur Verfügung gestanden wären. Die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis war besonders dort fruchtbar, wo gemeinsam an Produkten – Zukunftsvisionen, Entscheidungshilfen, Informationsplattformen – gearbeitet wurde.

Das Forschungsprogramm sollte nicht nur Wissen erarbeiten, sondern auch Handlungen auflösen. Es wurde ein Beirat mit Fachleuten von Bund, Kantonen und Verbänden eingesetzt. Er traf sich halbjährlich. Er hatte eine beratende und unterstützende Funktion. Zur Stärkung des Praxisbezugs setzten auch viele Projekte eine

Begleitgruppe mit Fachleuten aus Verbänden und Verwaltung ein.

Für die Forschenden erwies sich die transdisziplinäre Forschung als anspruchsvoll. Es war nicht immer einfach, eine Ausgewogenheit zwischen den wissenschaftlichen und den praktischen Ansprüchen zu finden. Insbesondere Doktorierende brauchten eine enge Begleitung durch Forschende mit Praxiserfahrung.

Informationstransfer, Wissensaustausch

Tagungen und Workshops stärkten den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis sowie zwischen den Projekten. Neben System- und Zielwissen sollte auch Handlungswissen entstehen.

Zu Beginn der Arbeiten wurden alle Projekte mit einem «Einblick»-Video und Interviews in Fachzeitschriften der Schweizer Wasserwirtschaft vorgestellt. Die Videos vermittelten neben Inhalten und Bildern über den Forschungskontext auch Erfahrungen und Emotionen.

Sie wurden von den Forschenden vielseitig eingesetzt und erreichten ein grosses Publikum. Fachfremde schätzten sie als Türöffner, Fachleute die schnelle Information. Zum Abschluss des Programmes wurden «Ausblick»-Videos produziert. Forschende und Akteure aus der Praxis berichteten über gewonnene Einsichten und stellten die Ergebnisse ihrer Projekte dar. Die Ergebnisse einzelner Projekte wurden auch Kin-

Tab. 2: Thematische Synthesen (TS).

WSL = Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft  
Eawag = Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs  
CHYN = Centre d'hydrogéologie et géothermie  
GIUB = Geographisches Institut der Universität Bern

TS	Titel	Federführung
1	Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen	WSL
2	Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck	Eawag
3	Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz: Herausforderungen und Handlungsoptionen	Eawag, CHYN
4	Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft	GIUB



den und Jugendlichen präsentiert. Dank diesen Arbeiten wurde zum Beispiel breiten Kreisen bewusst, dass schnelle Veränderungen im Hochgebirge unabwendbar sind.

#### Thematische Synthesen für Wasserfachleute

Die Forschungsprojekte konzentrierten sich auf die Schliessung von spezifischen Wissenslücken. Daneben war es wichtig, dieses Wissen in einen Kontext zu stellen. Die Leitungsgruppe gab deshalb frühzeitig (2011) vier Thematische Synthesen (TS) in Auftrag.

Diese richten sich an Fachleute von Bund, Kantonen und privaten Büros. Sie stellen die Ergebnisse der Projekte in einen Kontext und zeigen Handlungsoptionen auf.

#### Begleitforschung

Die starke Ausrichtung auf Inter- und Transdisziplinarität sowie die prominente Rolle der Synthesearbeit legten nahe, zu untersuchen, wie die Projekte und die Thematischen Synthesen mit diesen Herausforderungen umgingen. Dazu gab es zwei Begleitforschungsprojekte:

- ▶ Potenziale und Limitationen transdisziplinärer Wissensproduktion in Forschungsprojekten des NFP 61.
- ▶ Methoden der inter- und transdisziplinären Wissensintegration im NFP 61-Syntheseprozess.

Die 16 Projekte des NFP 61 wurden zu ihrem Vorgehen und ihren Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit Praxispartnern befragt. Dem Nationalfonds ging es um Erkenntnisse, wie die Zusammenarbeit in transdisziplinären Programmen zu gestalten ist. Das zweite Projekt beschäftigte sich mit Fragen wie: Integration für wen und für was? Integration von was? Integration durch wen? Wann geschieht Integration? Es erarbeitete eine Übersicht über die eingesetzten Methoden zur Integration der Ergebnisse. Beispiele sind Hypothesenbildung, Bewertungsverfahren oder Modelle.

**Links:** Die Projekte organisierten Workshops für den Austausch mit Stakeholdern. Foto Sabine Rock

**Mitte:** Forschende erzählen vor laufender Kamera, weshalb ihre Forschung für unsere Gesellschaft wichtig ist. Foto Darja Aepli

**Rechts:** Praxisexperten des Beirats im Austausch mit Leitungsgruppe und Forschenden des Projekts MON-TANAQUA. Foto Patricia Fry

**«Wissen ist immer an Menschen gebunden. Ein solches NFP kann eine ganze Generation von Forschenden prägen.»**

*Martin Würsten, Kanton Solothurn, Programmbeirat*

Für dieses Buch hat die Leitungsgruppe acht Themen ausgewählt, zu denen das Forschungsprogramm Erkenntnisse liefert. Flächendeckende Aussagen für die ganze Schweiz sind nur in Ausnahmefällen möglich. Viele Erkenntnisse sprechen aber Situationen an, die für die Schweiz typisch sind. Sie sind über die Fallstudienregion hinaus anwendbar.

#### Die acht Themen

Wo Gletscher schmelzen

Starkniederschläge, Hochwasser und Geschiebe

Wasserressourcen der Zukunft

Sommertrockenheit und Niedrigwasser

Wo die Landwirtschaft mehr Wasser braucht

Flurbewässerung und alpine Kulturlandschaft

Gebiete unter Siedlungs- und Nutzungsdruck

Trinkwasser aus Grundwasser

## NFP 61 blickt in die Zukunft

Die Forschenden geben Politik, Verwaltung und Wasserwirtschaft ein klareres Bild der Probleme, die sie bezüglich nachhaltiger Wassernutzung in den kommenden Jahrzehnten erwarten. Sie rechnen mit neuen Gewässern, neuen Zusammenhängen und neuen Nutzungen. Die Prognosen stützen sich auf anerkannte Szenarien zum Klima- und zum sozioökonomischen Wandel.

### Fokus des Programms

#### Auswahl der Themen

Es handelt sich um aktuelle Themen, denen jeweils mehrere Projekte des NFP 61 zugeordnet werden können. Die Probleme werden von verschiedenen Seiten her beleuchtet und Lösungen umfassend diskutiert. Die Auswahl deckt nicht alle Themen ab, die heute im Zusammenhang mit nachhaltiger Wassernutzung in der Schweiz diskutiert werden. Die Ansprüche an die Ressource Wasser sind seit der Planung des NFP 61 (2008) bereits gestiegen. Die Energiewende ist ein gutes Beispiel. Sie wurde erst nach der Planung des Programms vom Bundesrat beschlossen (2011).

#### Wie machen Forschende Prognosen?

Die Forschenden entwickeln Modelle und validieren diese an Feldbeobachtungen und Zeitreihen aus der Vergangenheit. Die Modelle sind dann eine solide Grundlage für Prognosen in die Zukunft. Mit welchen Veränderungen ist zu rechnen? Wie wirkt sich das auf die Wassernutzungen und die Wasserwirtschaft aus? Wo gibt es in Zukunft Konfliktpotenzial? Wie lassen sich die Probleme lösen?

Für den Klimawandel stützten sich die Forschenden auf die Klimaszenarien des IAC-ETHZ. Es ist unbestritten, dass es zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperaturen mit entsprechenden Klimafolgen kommt. Wie sich der Klima-

wandel auf den Niederschlag auswirken wird, ist noch weniger klar. Wasserfachleute interessieren vor allem folgende Zeitabschnitte:

- ▶ Wenn die Gletscher in der Schweiz stark am Schmelzen sind (bis 2035).
- ▶ Wenn die Gletscher weitgehend geschmolzen sind (ab 2085).

Für Prognosen zur sozioökonomischen Entwicklung hat das NFP 54 «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung» zusammen mit Fachleuten Szenarien für die Entwicklung der bebauten Umwelt in der Schweiz (2005–2030) erarbeitet. Diese sind mit erheblich grösseren Unsicherheiten behaftet als die Szenarien zum Klimawandel.

Einige der Projekte benutzen fortgeschrittene Prognosemethoden wie zum Beispiel Bayessche Modelle. Diese rechnen mit Wahrscheinlichkeiten, dass bestimmte Ereignisse in Zukunft eintreten. Unterschiedliches Wissen – Messdaten aus der Vergangenheit, Expertenwissen – wird in einen methodisch konsistenten Rahmen integriert.

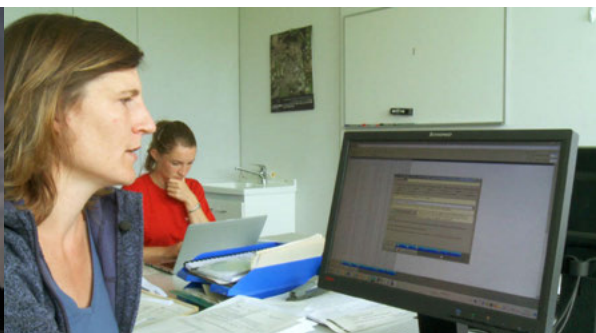
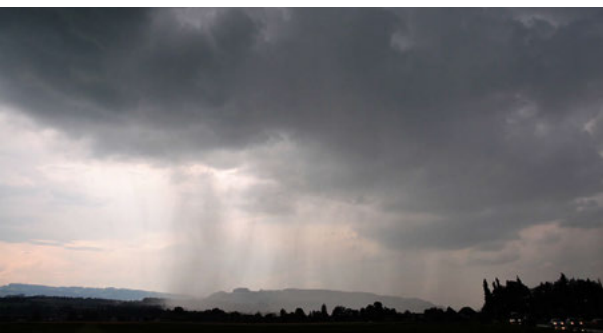
#### Früherkennung von Veränderungen

**Neue Gewässer:** Im Gebirge entstehen neue Seen. Das NFP 61 entwickelt Strategien für eine gerechte und nachhaltige Nutzung dieser neuen Gewässer. Die Debatte muss jetzt beginnen.

**Neue Zusammenhänge:** Das NFP 61 untersucht die Probleme in ihrer ganzen Komplexität. Es zeigt, wie – vor allem im Mittelland – Landnutzung und multiple Stressoren den Wasserhaushalt und die Gewässerökosysteme belasten. Die klimabedingte Erwärmung der Gewässer ist dabei nur einer der Stressoren.

**Neue Nutzungen:** Besonders die Thematische Synthese 2 «Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck» verschafft einen Überblick über neue Entwicklungen bei der Gewässernutzung in der Schweiz. Möglichkeiten zur multifunktionalen Nutzung von Speicherseen werden untersucht.





**Neue Situationen:** Mit dem Klimawandel entstehen neue Situationen. Ein Beispiel sind extreme Trockenperioden im Sommer. Drei der acht Themen beschäftigen sich mit diesen Phänomenen sowie mit den Folgen von Starkniederschlägen auf Hochwasser und Geschiebe.

**Neue Konflikte:** Das Ringen um die Fläche sowie die intensive Nutzung des Grundwassers sind Beispiele.

#### Sind die Erkenntnisse übertragbar?

Die meisten Projekte erforschten als Fallstudien die Zusammenhänge in regionalen Kontexten. Die Methoden und Ansätze sind problemlos auf andere Gebiete übertragbar. Aber es ist manchmal schwierig, Ergebnisse zu übertragen und von solchen Fallstudien auf die Verhältnisse in anderen Gebieten zu schliessen. Bezüglich ihrer Aussagekraft reihen sich die Projekte unterschiedlich ein. Flächendeckende Aussagen über die ganze Schweiz sind nur in Ausnahmefällen möglich. Den Projekten stand eine Forschungsphase von vier Jahren zur Verfügung. Dies ist in der Hydrologie ein relativ kurzer Beobachtungszeitraum, um die Prozesse zu verstehen und Langzeitprognosen mit Daten abzustützen.

**Links:** Mit dem Klimawandel dürften die Niederschläge im Winterhalbjahr zunehmen. Foto Philippe Gyarmati

**Mitte:** Modellrechnungen spielen bei Prognosen eine grosse Rolle. AGWAM

**Rechts:** Das NFP 61 schärft den Blick in die Zukunft.

Foto minikunst

Ebene	NFP 61-Projekte
Schweiz	IWAGO, SWISSKARST
Regionale Studien	AGWAM, MONTANAQUA, DROUGHT-CH, NELAK, FUGE, HYDROSERV, GW-TREND, SWIP
Lokale Studien	IWAQA, RIBACLIM, SACFLOOD, SEDRIVER, WATERCHANNELS, GW-TEMP

**Tab. 3:** Räumliche Aussagekraft der 16 NFP 61-Projekte. Projektkürzel siehe Anhang auf Seite 116.



**Links:** Bis zum Ende dieses Jahrhunderts werden die meisten Gletscher in der Schweiz geschmolzen sein. Hier der schmelzende Griesgletscher (VS). FUGE

**Mitte:** Beim Triftgletscher (BE) hat sich in den letzten 10 Jahren ein neuer See gebildet. NELAK

**Rechts:** Welche Folgen hat der Klimawandel auf Hochwasser und Geschiebe? SEDRIVER

## Wo die Gletscher schmelzen

**Die Folgen des Klimawandels sind im Hochgebirge bereits sicht- und fassbar. Wo die Gletscher schmelzen, entwickelt sich eine neue Landschaft. Es können neue Seen entstehen. Diese bieten Chancen, aber auch Risiken. Schutt und Geröll sowie die erwartete Zunahme von Starkniederschlägen können den Sedimenteintrag in Stauseen erhöhen.**

### Hochgebirge im Fokus

Der Klimawandel trifft die Hochgebirge besonders hart. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden die in den Alpen gespeicherten Schnee- und Eismassen stark vermindert. Die Schneefallgrenze wird ansteigen. Rund 90% des in der Schweiz vorhandenen Eisvolumens dürften wegschmelzen.

Die Durchschnittstemperatur stieg im Alpenraum während des letzten Jahrhunderts doppelt bis dreimal so stark wie im Flachland. Schnee und Eis reflektieren das einfallende Licht. Schmelzen diese, wird das Gebiet vergleichsweise stark aufgeheizt. Die Folgen dieses Wandels wurden bereits in mehreren Forschungsprogrammen untersucht: CCHydro, CCWasserkraft und ACQUA. Studien zum Wasserhaushalt der Schweiz zeigen, wo und wie sich der Rückgang der Gletscher im Schweizer Alpenraum auf Abfluss und Grundwasser im Mittelland auswirken könnte.

Behörden und Energiewirtschaft brauchen möglichst präzise Prognosen. Ein Grossteil der Konzessionen zur Wassernutzung wird bis 2055 erneuert. Zudem brauchen Kraftwerksgesellschaften eine Beratung, mit welchen Veränderungen sie zu rechnen haben, damit sie den Betrieb optimieren können. Dafür braucht es realistische Szenarien der möglichen zukünftigen Entwicklung von Fläche und Volumen der Gletscher. Die Gletscher sind für die Abflussregimes der Bäche im Hochgebirge wichtig. Wo sie abschmelzen, steigen die Sedimentfrachten. Dies kann Anlagen gefährden. Der Rückgang der Gletscher beschäftigt aber nicht nur die Kraftwerke, sondern auch Tourismusfachleute oder die für den Natur- und Landschaftsschutz zuständigen Behörden. Wo neue Seen entstehen, stellen sich rechtliche Fragen rund um Eigentum, Verantwortlichkeit und Schutz.

### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Das Forschungsprogramm brachte grosse Fortschritte im Wissen über regionale und lokale Prozesse und Veränderungen, die infolge dieser Gletscherschmelze in den hochalpinen Gebieten zu erwarten sind. In keiner anderen Gebirgsregion der Welt wurden bisher die zu erwartenden Gletscherveränderungen so detailliert untersucht. Im Projekt FUGE wurden Methoden und Kenntnisse zu den Prozessen rund um die Gletscherschmelze verbessert. Die Auswirkungen auf Abfluss, Stauseen und Kraftwerke wurden unter-

sucht. Im Projekt NELAK wurden der rasante Landschaftswandel im Hochgebirge sowie die neuen Seen, die im Umfeld der schmelzenden Gletscher entstehen, untersucht. Als erstes Land verfügt die Schweiz über eine Planungsgrundlage für den Umgang mit neuen Seen. Chancen und Risiken sind bekannt.

Beide Projekte führten einen intensiven Dialog mit Betroffenen und Beteiligten. Breiten Kreisen wurde bewusst, dass schnelle Veränderungen im Hochgebirge unabwendbar sind. Unter Fachleuten besteht heute ein breiter Konsens, dass der Zeitpunkt 2050 nicht das Ende, sondern eher der Beginn wirklich ernsthafter Probleme im Hochgebirge sein wird. Bis dann werden viele Gletscher geschmolzen sein. Dank dem NFP 61 wurde die Frage «Was ist, wenn?» zur Frage «Was machen wir nun?».

#### Wo und wie ziehen sich Gletscher zurück?

Die Forschenden untersuchten 50 Gletscher detailliert. Diese Stichprobe repräsentiert rund 50% der vergletscherten Fläche sowie 75% des Eisvolumens der Schweiz (2010). Die Ergebnisse erlauben ein realistisches Bild der Entwicklung der Gletscher in den Schweizer Alpen. Die Schweiz verfügt heute über eine einzigartige

Modellierung des Gletscherschwundes. In vielen Regionen gibt es Visualisierungen der zu erwartenden Entwicklung, mit den Zeitschnitten 1900, 2010 und 2100. Wegen des Klimawandels dürften bis 2100 rund 90% des heute vorhandenen Eisvolumens wegschmelzen. Bis zu 20 der untersuchten 50 Gletscher werden verschwinden. Die verbleibenden Eismassen werden sich in Höhenlagen über 3000 m ü.M. befinden.

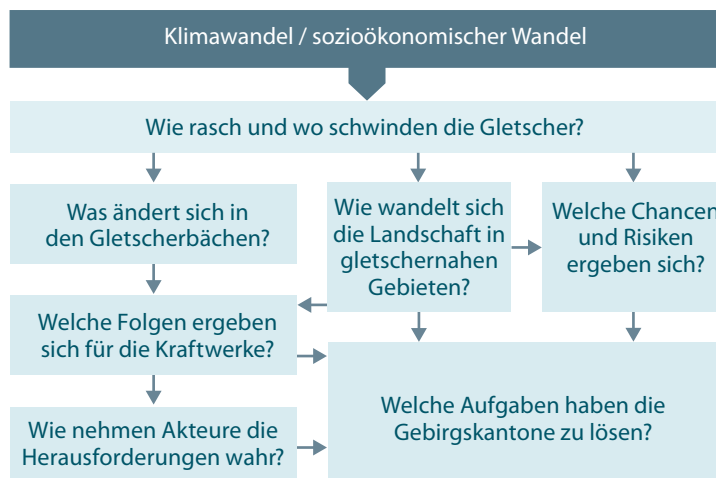
Für exaktere Modellrechnungen braucht es bessere Daten. Leider gibt es im Hochgebirge noch zu wenig Messstellen. Speziell die Berechnung der räumlichen Verteilung der Schneeakkumulation auf Gletschern ist weiterhin mit grossen Unsicherheiten behaftet. Man stützt sich auf Niederschlagsdaten aus benachbarten Klimastationen. Die Wirkung der Schuttbedeckung auf die Gletscherveränderungen kann auch noch zu wenig genau abgeschätzt werden. Es ist im Moment noch eine Unbekannte, wie sich diese Schuttbedeckung ändert und welche Effekte dies auf die Eisschmelze haben wird.

#### Präzise Modelle für Einzugsgebiete

Ingenieure, die Kraftwerke beraten, müssen genaue Vorstellungen zur Topografie des Geländes unter den Gletschern haben. Dazu braucht

**Das Projekt NELAK hat seine Erkenntnisse zu den Chancen und Risiken der neuen Seen in einem Buch zusammengefasst.**

**Benutzerfreundliche Modelle erlauben die Berechnung von zukünftigen Gletscherständen als Funktion des Klimas.**



**Abb. 2:** Wo die Gletscher schmelzen – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.



**Abb. 3:** Wie wird sich der Rhonegletscher zurückziehen? Resultate des Projekts FUGE zeigen es bildlich.

es aufwendige geophysikalische Messungen zur Eisdicke. Die Ergebnisse müssen mit Modellrechnungen zum Gletscherfließen kombiniert werden.

Im Projekt FUGE wurden Lösungen für diese Probleme gefunden. Bestehende Modelle wurden weiterentwickelt und erstmals miteinander gekoppelt. Die neuen Modelle berücksichtigen die Fliess- und Gleitbewegungen der Gletscher. Die Eisdicke wurde mittels Radardaten aus Helikoptern geophysikalisch bestimmt. Es wurden verschiedene helikopterbasierte Radarsysteme getestet. Die Forschenden sammelten über eine Flugstrecke von 1000 km Daten zu Schweizer Gletschern.

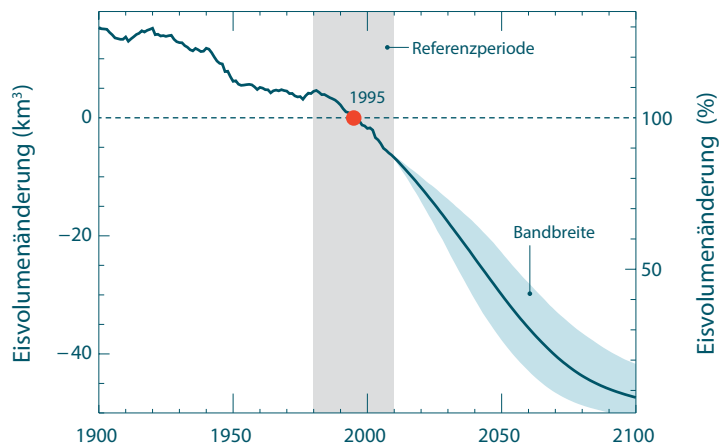
Dank der Kombination der Radardaten mit den Modellen gelang es, das Eisvolumen genauer als bisher zu schätzen. Das Einzugsgebiet der Kraftwerke Mauvoisin (VS) ist ein gutes Beispiel. Es ist relativ stark vergletschert. FUGE zeigte, dass ältere Schätzungen zum Eisvolumen in diesem Gebiet zu hoch ausgefallen sind. Die Abweichungen sind für Ingenieure erheblich. Es braucht Wissen über die Verteilung des Eisvolumens und die Topografie des Gletscherbettes, um die künftige Entwicklung eines Gletschers und die Produktion des Abflusses zuverlässig berechnen zu können.

### Veränderungen in gletschernahen Bächen

Der Abfluss der Gletscherbäche ist stark von der Schnee- und Eisschmelze bestimmt. Man schätzt, dass in solchen Bächen durchschnittlich 20% des Wassers vom Regen und je 40% aus Schnee und Eis stammen. Der Gletscherschwund und das Steigen der Schneegrenze wirken sich direkt auf den Abfluss aus. Die Jahresabflüsse werden in den nächsten Jahrzehnten in diesen Bächen wegen der Gletscherschmelze zunehmen. Nach dem Abschmelzen des Eises (zwischen 2030 und 2050) gehen sie aber zurück. Gegen Ende dieses Jahrhunderts werden die Abflüsse in vielen Alpentälern kaum noch von den Gletschern beeinflusst.

Auch die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse verändert sich. Die höchsten mittleren monatlichen Abflüsse liegen heute im Hochsommer. Mit dem Klimawandel dürften sich die Sommerabflüsse abschwächen und 1–2 Monate früher im Jahr auftreten. Mit dem Gletscherschwund wird auch Lockermaterial freigesetzt. Der Transport von Sedimenten in den Bächen wird erhöht. Diese Sedimentfracht wird in den Stauseen und anderen Seen abgelagert. Sie beschleunigt die Verlandung.

**Abb. 4:** Entwicklung des Eisvolumens der 50 untersuchten Gletscher, relativ zur Referenzperiode der Klimaentwicklung 1980–2009. FUGE







### Landschaftswandel in gletschernahen Gebieten

Wegen des Gletscherschwundes sind die Hochgebirgslandschaften einem rasanten Wandel unterworfen. Es entstehen Landschaften mit Schutt, Fels und Seen und spärlicher Vegetation. Der Wasserhaushalt wird fundamental verändert. Das Projekt NELAK schaffte ein Bild der möglichen Veränderungen.

In den Schweizer Alpen werden sich mehrere Hundert neue Seen bilden. Viele dieser Seen sind klein und kurzlebig. An anderen Stellen entstehen Seenlandschaften, die für touristische Nutzungen oder die Energiewirtschaft interessant sind. Grössere Seen dürften vor allem an flacheren Partien von Talgletschern wie Aletsch, Corbassière, Gornier oder Otemma (alle VS) entstehen.

Diese Seen werden für kommende Generationen die Landschaften des Hochgebirges wesentlich prägen. Ihre Volumen könnten durch Stauhaltungen vergrössert werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit wird das Aletschgebiet (VS) langfristig der wichtigste «Hotspot» für solche Seen im Alpenraum. Hier dürften nach 2050 wohl die grössten neuen Seen des Alpenraums liegen.

### Achtung: Naturgefahren!

Viele dieser Seen kommen am Fuss grosser und steiler Bergflanken zu liegen. Die Stabilität dieser Hänge nimmt wegen des wegfallenden Eisdrucks und der auftauenden Permafrostschichten ab. Die Wahrscheinlichkeit, dass es zu grossen Bergstürzen in hochalpine Seen mit anschlies-

senden Flutwellen bis in Tallagen kommt, mag heute noch klein sein. Sie nimmt aber mit weiterem Gletscherrückgang und jedem neuen See zu. NELAK konnte die Prozessketten, wie sich neue Seen auf die Naturgefahren auswirken, an mehreren Beispielen aufzeigen.

Der Untere Grindelwaldgletscher (BE) ist ein gut untersuchtes Beispiel. Im Zungenbereich hat sich ein neuer See gebildet. Das Auftauen der Permafrostschichten destabilisiert die Lockermassen und Hänge. Die Gefahr von Bergstürzen wird grösser, auch weil der physische Druck der Eismassen wegfällt. Ein Bergsturz in diesen See hätte verhängnisvolle Folgen. Die Behörden haben bereits Massnahmen getroffen, um einen Seeausbruch in Richtung Grindelwald zu verhindern. Die Kosten dieser Massnahmen waren weit geringer als die geschätzten Schäden und Folgewirkungen eines Seeausbruchs. Folgewirkungen sind beispielsweise Betriebsausfälle oder Imageverluste.

Rutschungen in solche Seen können zu weitreichenden Flutwellen führen. Infrastrukturen im Tal sind gefährdet. Hier braucht es Frühwarnsysteme. NELAK hat hier die Augen geöffnet. Zu glauben, dass noch viel Zeit zur Verfügung steht, ist eine Illusion.

Die Arbeit an raumplanerischen, organisatorischen und baulichen Massnahmen zum Schutz von Menschen, Siedlungen und Infrastrukturen braucht Zeit. Sie ist jetzt an die Hand zu nehmen. Oberstes Ziel ist die Risikoreduktion.

**Links:** Messung der Eisdicke. Foto Andreas Bauder

**Mitte:** Die Laguna 513 am Nevado Hualcan, Peru: Gletscherabbrüche lösen Flutwellen aus, die zahlreiche Menschenleben gefährden. Foto Wilfried Haeberli

**Rechts:** Die Unsicherheiten im politischen und wirtschaftlichen Umfeld sind für die Kraftwerksbetreiber das grössere Problem als der Klimawandel. Foto Lisa Rigendinger

**Die Abteilung für Naturgefahren des Kantons Bern verfolgt das Projekt NELAK mit grossem Interesse. Sie will die «neuen» Naturgefahren systematisch erfassen und analysieren.**

**«Die Bevölkerung muss sich bewusst sein, dass eine rasante Landschaftsdynamik eingesetzt hat und die Zukunft ganz anders aussehen wird als die Gegenwart.»**

*Wilfried Haeberli, Universität Zürich.  
Mehr dazu siehe DVD.*

### Neue Seen sind für Nutzungen attraktiv

Die Nutzung und der Schutz dieser neu entstehenden Landschaften und insbesondere der Seen können aufgrund der im NFP 61 geschaffenen Wissensbasis diskutiert und geplant werden. Die neuen Seen kompensieren teilweise den Attraktivitätsverlust der Landschaft, der durch den Gletscherschwund entsteht. Sie könnten bei heisser und trockener werdenden Sommern ohne Gletscher sogar für die Wasserversorgung eine Rolle spielen. Das Aussetzen von Fischen ist denkbar. Die neuen Seenlandschaften können an manchen Orten das touristische Angebot bereichern.

Die Seen sind auch für die Stromproduktion mittels Wasserkraft interessant. Die Berechnungen von NELAK zeigen, dass bei Rückstau der wichtigsten neuen Seen ein zusätzliches Speichervolumen bis etwa 50% der heute bestehenden Reservoirs möglich wird. Zum Rückstau braucht es – je nach Situation – Befestigungen oder Tal-sperren.

### Eigentum und Verantwortlichkeiten

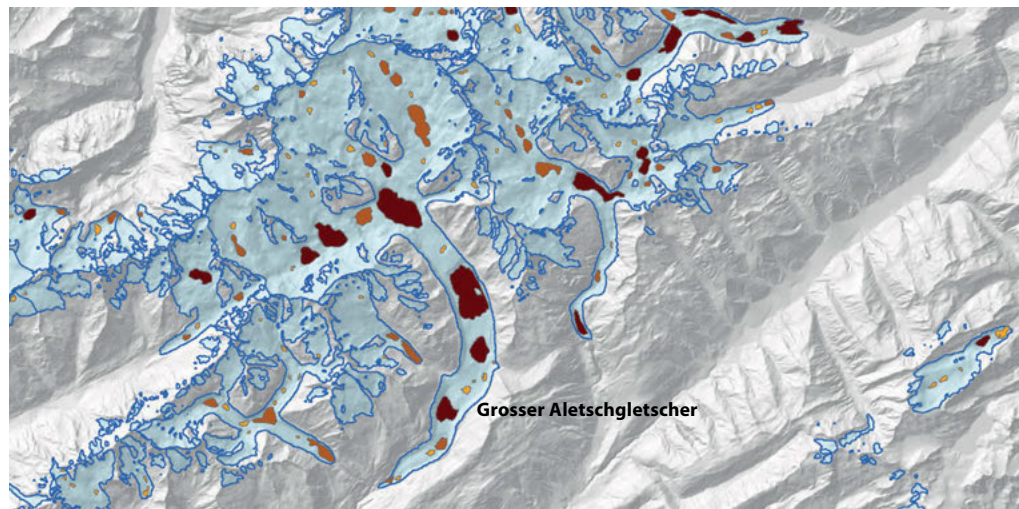
Im Zusammenhang mit den neuen Seen stellen sich rechtliche Fragen zu Nutzung und Schutz. Diese wurden im Projekt NELAK mit einem

Rechtsgutachten untersucht. Es geht nicht nur um Hoheit und Eigentum an Gletscherseen, sondern auch um Verantwortlichkeit im Umgang mit Naturgefahren sowie um Haftung in Schadenfällen.

Gletscherseen sind dabei sachenrechtlich gleich zu behandeln wie Fels- und Gletschergebiete. Sie gehören als «kulturunfähiges Land» zu den öffentlichen Sachen im Gemeingebrauch. Sie stehen allen zur persönlichen, nicht kommerziellen Nutzung offen. Sie sind unter der Hoheit oder im Eigentum der Kantone. Letztere können dieses Recht an die Gemeinden delegieren. In der Regel handelt es sich um öffentliche Gewässer. Privateigentum an diesen Seen ist nur möglich, wenn es in Gerichtsverfahren mit – meist historischen – Urkunden nachgewiesen wird. Dies war möglich beim Rhone- (VS) und beim Unteraargletscher (BE).

Bei Fragen zur Verantwortlichkeit ist zu unterscheiden zwischen der Zuständigkeit für das Ergreifen von Schutzmassnahmen und den haftungs- und strafrechtlichen Folgen, falls Versäumnisse zu Unfällen und Schäden führen. Für die Schutzmassnahmen sind Gemeinden und Kantone oder die Werkeigentümer verantwortlich. Die Kantone nutzen die Instrumente des

**Abb. 5:** Wo im Aletschgebiet neue Seen entstehen könnten. NELAK



integralen Risikomanagements. Raumplanerische Massnahmen wie Nutzungsbeschränkungen haben erste Priorität. Schutzbauten wie Abflusstollen, Verbauungen oder Dämme können unterstützen.

Für die Wasserkraftnutzung solcher Gewässer können die Kantone für die Dauer von maximal 80 Jahren Wasserrechtskonzessionen erteilen. In einigen Kantonen haben die Gemeinden die Wasserhoheit. Im Hochwasserschutz sind neben Sicherheitsaspekten auch immer die finanzielle und personelle Zumutbarkeit sowie die Umweltverträglichkeit von Schutzmassnahmen zu beachten. Bei akuten Bedrohungen sind Sicherheitskonzepte, Warnung, Alarmierung und eventuell Evakuierung erforderlich.

#### Neue Aufgaben für Natur- und Landschaftsschutz

Die schmelzenden Gletscher sowie die neuen Seen befinden sich oft in geschützten Gebieten wie zum Beispiel Auenlandschaften, Landschaften von nationaler Bedeutung oder UNESCO-Weltnaturerbe. Dies schränkt neue Wasserkraft- und Tourismusprojekte erheblich ein. Wo die Gletscher schwinden, sind damit die Schutzauflagen zu präzisieren: Wo gehen Gefahrenprävention, wo Schutz und wo wirtschaftliche Interessen vor? Sind die Schutzperimeter in Gletschervorfeldern dem Gletscherrückgang anzupassen? Diese neuen Aufgaben fordern die Behörden von Bund und Kantonen.

#### Folgen für Kraftwerke und Speicherseen

Im Rahmen der Projekte FUGE und NELAK wurden Strategien für ein optimales, auf die Zukunft gerichtetes Management von Wasserkraftanlagen unter Berücksichtigung der erwarteten klimabedingten Veränderungen erarbeitet. Bei zahlreichen Kraftwerksanlagen wird der jährliche Wasserzufluss in die Stauseen infolge des Gletscherrückganges vorderhand (bis 2050) zunehmen. Die Kraftwerke profitieren dabei vom Wasserzuschuss aus dem Reserveabbau der Gletscher. Ob sich deswegen Investitionen für die Stromproduktion lohnen, ist von der Rentabilität der Kraftwerke abhängig.

Der Geschiebeeintrag in die Speicherseen kann Probleme verursachen. Mit Sperrstellen und Auffangbecken an geeigneten Stellen können diese abgeschwächt werden. Wasserspülungen, die Ablagerungen aus Speicheranlagen abführen, werden häufiger nötig. Bei kleinen Speicherseen reicht ein Auspumpen. Beide Massnahmen führen zu Ausfällen bei der Energieproduktion.

In den nächsten Jahrzehnten müssen sich viele Kraftwerke darauf konzentrieren, allfällige Produktions- und Einkommensverluste mit einem guten Reservoirmanagement aufzufangen. Leider sind die Speicherseeevolumen aber nicht optimal für die mit dem Klimawandel erwarteten Wasserspitzen dimensioniert. Was in der weiteren Zukunft (ab 2050) passiert, bereitet mehr Kopfzerbrechen. Zahlreiche Konzessionen sind in den nächsten Jahrzehnten zu erneuern. Vielen Kraftwerken fällt es schwer, eine Langzeitstrategie zu entwickeln. Die Zukunft für die Wasserkraft ist unsicher, auch bezüglich der Marktbedingungen, der Preise und der energiepolitischen Entwicklung. Es braucht detaillierte Studien am Einzelfall. Allgemein gefasste Strategien können zu Fehlentscheiden führen.

FUGE untersuchte Visionen für 2100 am Beispiel der Kraftwerke Mauvoisin (VS). Das Einzugsgebiet ist stark vergletschert. Folgende Einbussen sind bei diesem Beispiel nach dem Schmelzen der Gletscher wahrscheinlich: Abfluss (–18%), Produktion (–16%) und Einkommen (–13%). Letztere beziehen sich auf Preis- und Marktbedingungen 2014. Die Verluste können mit betriebswirtschaftlichen Massnahmen teilweise wettgemacht werden. Für die Betreiber dieser Kraftwerke war es überraschend, dass die Verluste, die aus dem Abflussrückgang entstehen, kleiner sind als erwartet. Die Unsicherheiten im politischen und wirtschaftlichen Umfeld sind für die Kraftwerksbetreiber das weit grössere Problem als der Klimawandel.

#### Aufgaben für die Gebirgskantone

Bund, Kantone und Gemeinden müssen dafür sorgen, dass für die Wasserkraftnutzung klare Rahmenbedingungen bestehen und Konflikte,

**«Viele Kraftwerke haben noch keinen Plan, wie sie mit den Veränderungen umgehen wollen. Unser Projekt konnte den Zuständigen Denkanstösse vermitteln.»**

*Martin Funk, FUGE, ETH Zürich.*

*Mehr dazu siehe DVD.*

**«Mit den Karten von NELAK können wir die heiklen Gebiete identifizieren und in Zukunft ein Auge darauf haben.»**

*Nils Hählen, Leiter Abteilung Naturgefahren, Kanton Bern.  
Mehr dazu siehe DVD.*

die aus dem Schmelzen der Gletscher entstehen, gelöst werden. Alle Nutzungs- und Schutzinteressen müssen abgewogen werden. Weiter ist es nicht ratsam, die neuen Seen sich selber zu überlassen. Es braucht eine Zusammenarbeit von Gewässer- und Landschaftsschutz, Hochwasserschutz, Wasserkraft und Wasserversorgung. Der Umgang mit den Chancen und Risiken dieser Seen stellt eine absehbare und ernst zu nehmende Herausforderung dar. Es braucht:

- ▶ Bessere Grundlagen für die Modellierung der neuen gletscherfreien Hochgebirgslandschaften.
- ▶ Monitoring der Veränderungen und eine laufende Beurteilung des Gefahrenpotenzials, auch von weitreichenden Flutwellen.
- ▶ Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials der neuen Seen, insbesondere auch hinsichtlich Pumpspeicherbetrieb, Sedimentrückhalt und touristischer Nutzung.
- ▶ Berücksichtigung der neuen Entwicklungen in Politik und Recht sowie Erkenntnisse in Planungen, Vergabe von Konzessionen und anderen Instrumenten.

Die Kantone können dabei auf Partner zählen. Vereine und Verbände, die sich für den Alpenschutz engagieren, setzen sich mit dem rasanten Landschaftswandel im Hochgebirge mehr und mehr auseinander. Ein Beispiel ist der Schweizer Alpen-Club SAC. Der Landschaftswandel betrifft seine zentralen Aufgaben, die Förderung des Alpinismus und den Schutz der Gebirgswelt.

#### **Hochgebirge weltweit**

Die Ergebnisse von NELAK stossen in anderen Gebirgsregionen der Welt auf grosses Interesse. Wegen des Klimawandels werden Gipfelregionen vielerorts zu Problemgebieten. Im Himalaya oder in den Anden sind die Risiken, die aus den neuen Seen entstehen, erheblich grösser als in der Schweiz. In Ländern wie Peru sind grössere Ereignisse mit Gletscherabbrüchen von mehreren Millionen Kubikmeter möglich. Wo diese auf Seen treffen, können sie Flutwellen auslösen, die zahlreiche Menschenleben gefährden. Ein Bei-

spiel ist der Nevado Hualcan (Peru). Hier löste im April 2010 eine Fels- und Eislawine eine 25 m hohe Schwallwelle aus. Diese verursachte Schäden im ganzen Tal.

#### **Was bleibt offen?**

Die Forschung zu den Folgen der Gletscherschmelze steht erst am Anfang. Es ist erheblich mehr nötig, um die Prozessketten in der neu entstehenden Landschaft zu verstehen. Die Datengrundlage für Modellsimulationen ist – insbesondere im Hochgebirge – noch dünn. Fallspezifische Studien unter Einbezug aller Betroffenen und Beteiligten sind wichtig.

#### **Empfehlungen**

Bund und Kantone müssen die neuen Phänomene in ihre Planungen einbeziehen und generell eine aktivere Rolle in der Koordination übernehmen.

Es darf nicht zugewartet werden. Die Phänomene dürften sich zwar erst im Zeitraum nach 2050 dramatisieren. Die Planung und Umsetzung von Massnahmen benötigt aber in der Regel viel Zeit.

Es braucht im Hochgebirge gute Messnetze für meteorologische und hydrologische Daten.





## Starkniederschläge, Hochwasser und Geschiebe

**Der Klimawandel führt möglicherweise zu markant mehr Starkniederschlägen. Ob sie Hochwasser verursachen, hängt auch von der Speicherkapazität der Einzugsgebiete ab. Diese ist im Alpenraum noch wenig erforscht. Hochwasser beeinflussen auch den Geschiebehaushalt. Das hat einen Einfluss auf die Lebensbedingungen der Fische. Wo sich die Probleme mit Hochwasser verschärfen, wird die Zusammenarbeit zwischen Ober- und Unterliegern wichtiger.**

### Fokus auf Bergkantone

Das 19. Jahrhundert erlebte eine markante Hochwasserperiode. Nach einer Zeit relativer Ruhe wurde in den letzten Jahrzehnten wiederum eine Häufung der Hochwasser beobachtet. Betroffen sind vor allem die Bergkantone. Drei Viertel der Fliessgewässer der Schweiz liegen im Alpenraum.

Mit dem Klimawandel werden sich möglicherweise Anzahl, Stärke und zeitliche Verteilung von Niederschlagsereignissen verändern. Mit grosser Wahrscheinlichkeit gibt es in Zukunft mehr Starkniederschläge, insbesondere in den Südalpen. Ob und wann diese Hochwasser verursachen, ist noch wenig erforscht. Es gibt wenig Wissen zum Verhalten alpiner Einzugsgebiete, insbesondere von mittlerer Grösse (50–500 km<sup>2</sup>).

Der Klimawandel kann auch den Geschiebehaushalt beeinflussen. Einige Gebirgsflüsse transportieren mehr Kies und Sand, wenn mit dem Schmelzen von Gletschern und dem Auftauen des Permafrostes im Oberlauf Lockermaterial freigelegt wird. Quantifizierungen sind noch schwierig, insbesondere in steilen und natürlichen Gerinnen. Veränderungen des Geschiebehaushaltes können die Stabilität von Uferverbauungen und die Lebensbedingungen der Fische beeinflussen.

Die Schweiz plant grosse Investitionen zur Renaturierung von Flussstrecken und zur Erhöhung der Fischgängigkeit in Gewässern. Planer und Ingenieure brauchen eine Vorstellung, wie sich die Situation in den kommenden Jahrzehnten entwickeln könnte. Sollten sich die Probleme mit Hochwassern in Zukunft verstärken, stellt sich Politik und Verwaltung auch die Frage, ob mit Landnutzungsänderungen im Oberlauf die Hochwassergefahr in Ballungsräumen (Unterlauf) reduziert werden kann.

### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Das Projekt SACFLOOD verbessert das Wissen über Abflussverhalten, Rückhaltekapazität und Hochwasserentstehung alpiner Einzugsgebiete. Das Schächental (UR) stand im Zentrum der Forschung, da der Abfluss trotz Steilheit träge auf Regenfälle reagiert. Das komplexe Zusammenspiel von Speicher und Abflussmechanismen wurde aufgeschlüsselt.

**Links:** Schächental (UR). Rückhaltekapazität und Abflussverhalten in alpinen Einzugsgebieten sind dank dem NFP 61 besser bekannt. SACFLOOD

**Mitte:** Mit Beregnungsversuchen wurde bestimmt, wie viel Wasser im Untergrund versickert. SACFLOOD

**Rechts:** Mehr und häufigere Hochwasser im Winter wirken sich auf den Geschiebehaushalt der Flüsse aus. Die Praxis hat dank dem NFP 61 ein neues Berechnungsmodell. SEDRIVER



**«Im Entlebuch regnet es viel und heftig. Es interessiert uns, ob es möglich ist, durch eine geeignete Landnutzung im Oberlauf zusammen mit den Betroffenen Hochwasserspitzen zu brechen.»**

*Christoph Böhnert, Kanton Luzern, Programmbeirat*

Das Projekt SEDRIVER untersuchte den Geschiebehaushalt und die möglichen Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Bachforelle. Es gab detaillierte Untersuchungen in der Weissen Lütchine (BE), Necker (SG), Vorderrhein (GR) und Furkareuss (UR). Es erarbeitete ein Modell, das zur Prognose des Geschiebetransportes in steilen Einzugsgebieten in der Schweiz zu einem Standard werden kann. Die Nachfrage aus der Praxis nach diesem Modell ist bereits vorhanden.

Wie können Leistungen, die Gemeinden im Oberlauf für Gemeinden am Unterlauf erbringen, gemessen und entschädigt werden? Das Projekt HYDROSERV untersuchte dies im Einzugsgebiet der Kleinen Emme (Entlebuch, LU). Es erarbeitete Grundlagen zur Berechnung von «Hydrologischen Ökosystemleistungen» – englisch: «hydrological ecosystem services» (HESS).

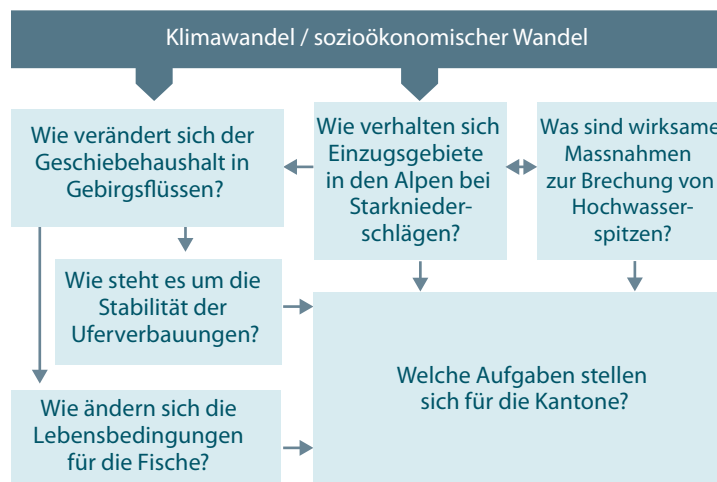
Der Einfluss des Klimawandels auf die Naturgefahren wurde im NFP 61 nur am Rande behandelt. Ein früheres Forschungsprogramm – NFP 31 «Klimaänderungen und Naturkatastrophen» – hat hier bereits Ergebnisse geliefert.

### Speicherverhalten alpiner Einzugsgebiete

Ob es nach Starkniederschlägen zu Hochwasser kommt, hängt wesentlich von der Speicherkapazität des Untergrundes ab. Ist der Untergrund wenig durchlässig, führen kurze, gewitterartige Regen zu Hochwasser. Gibt es hingegen viele tiefgründige Böden, Felssturzmaterial oder Moränen, wird das Geschehen eher von den langandauernden, ergiebigen Regen bestimmt. Mit Beregnungsversuchen an ausgewählten Hängen im Schächental (UR) konnte SACFLOOD bestimmen, wo die Schwellenwerte, bei denen kein Wasser mehr versickert, für einzelne Untergrundstypen liegen. Es zeigte sich, dass die Speicherkapazität des Bodens grösser als erwartet ist und das meiste Wasser im Untergrund versickert. Die Speicherkapazität des Untergrundes verzögert die Abflussspitzen, sogar an Steilhängen. In Abhängigkeit von der Charakteristik einer Landschaft können auch rasch reagierende Quellen zu einem Hochwasser beitragen.

Die Prozesse erwiesen sich als komplexer als erwartet. Es gibt Flächen, die unmittelbar beim Niederschlagsereignis mit Abfluss reagieren. Andere reagieren erst mit einer grossen Verzögerung, Stunden später. Die ungesättigte Bodenzone spielt eine grosse Rolle in der Anfangsphase

**Abb. 6:** Starkniederschläge, Hochwasser und Geschiebe – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.



der Niederschlagsereignisse. Die Speicher- und Leitfähigkeit von Boden und Untergrund ist eine Schlüsselgrösse. Die Neigung hat weniger Einfluss. Die Landnutzung ist nur in flachen Gebieten relevant.

#### Endlich bessere Modelle!

Die durch SACFLOOD weiterentwickelten Methoden und Modelle sind für viele alpine Einzugsgebiete gültig. Hochwasserprognosen können so an Genauigkeit gewinnen. Damit kann man sich besser auf Starkniederschlagsereignisse, die mit dem Klimawandel vermutlich zunehmen werden, vorbereiten. Die Karten zeigen die Wasserrückhaltekapazität der Hänge. Die räumliche Verteilung der Flächen bestimmt das Risiko, dass unerwartet grosse Hochwasser auftreten.

Die Ergebnisse aus dem Schächental (UR; 109 km<sup>2</sup>) wurden mit Messungen aus dem Hinterrheintal (GR; 54 km<sup>2</sup>) verglichen. Das Hinterrheintal (GR) hat mehrheitlich flachgründige Böden auf Fels (rot markiert). Deshalb reagiert der Fluss Hinterrhein (GR) rasch auf Niederschlag. Der Schächen (UR) reagiert dagegen vorerst gedämpft. Bei ergiebigen Niederschlägen schwillt der Wasserstand aber plötzlich stark an.

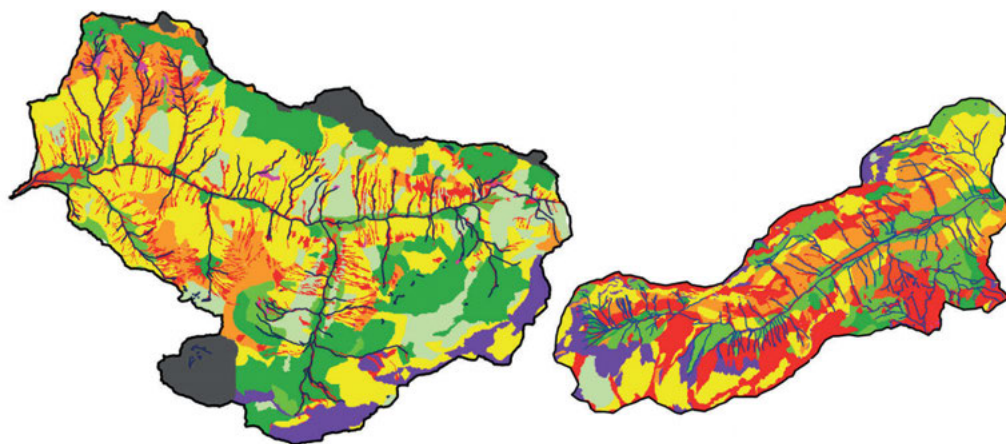
#### Hochwasser- und Geschiebetransport

Die Geschiebeführung in Schweizer Fließgewässern wird vielerorts durch Anlagen wie Kraftwerke, Kiesentnahmen und Gewässerverbauungen beeinträchtigt. Durch das revidierte Gewässerschutzgesetz (Art. 43a) werden die Inhaber solcher Anlagen verpflichtet, den Geschiebehaushalt zu sanieren. Dazu braucht es fundierte Abschätzungen zur Entwicklung des Geschiebe- und Sedimenttransportes.

Mit dem Klimawandel dürften sich das zeitliche Auftreten und die Intensität von Hochwassern ändern. Bei grösseren Hochwassern wird mehr Kies und Sand von den Seitenbächen in die Gebirgsflüsse verfrachtet. Dank SEDRIVER sind heute auch in steileren Gerinnen von Gebirgsflüssen Abschätzungen möglich. Diese Gerinne haben eine teilweise sehr grobe Gerinnesohle. Zudem wird von den Seitenbächen viel Sediment eingetragen. Die Forschenden befassten sich mit diesen speziellen Bedingungen. Das Modell (SedFlow) berechnet den Transport des Geschiebes entlang der Gerinne. Auflandungen und Erosionen können vorhergesagt werden.

Das Modell wurde im Rahmen des NFP 61 an verschiedenen Gerinnen aus dem Schweizer Alpenraum geprüft und angepasst. Dazu dien-

**Das Projekt SEDRIVER stellt der Praxis ein computergestütztes Modell (SedFlow) zur Verfügung. Dank der hohen Rechengeschwindigkeit ist es geeignet für umfassende Berechnungen zum Geschiebehaushalt.**



**Abb. 7:** Schächental (links) und Hinterrhein (rechts) reagieren auf Starkniederschläge ganz unterschiedlich. Violette und rote Hänge tragen besonders viel zur Hochwasserbildung bei. SACFLOOD



**Links:** Bachforellen graben ihre Eier nur 4–10 cm tief ein. Veränderungen im Geschiebehaushalt stören empfindlich. Foto Armin Peter

**Mitte:** Naturnahe Gewässerstrecken werden in Zukunft für die Fische wichtiger. SEDRIVER

**Rechts:** Speicherseen tragen schon heute viel zum Hochwasserrückhalt bei. Foto Florian Widmer

ten Messdaten über vergangene Hochwasserereignisse, ergänzt durch Feldbeobachtungen zum Geschiebetransport. SedFlow kann – nach vergleichbarer Anpassung – auch in anderen Gebirgsflüssen angewendet werden. Für den Zeitraum 2021–2050 werden in den im Projekt SEDRIVER untersuchten Gebieten nur geringe Änderungen gegenüber heute erwartet. In ferner Zukunft (2071–2100) kann sich aber in steileren Abschnitten der untersuchten Gebirgsflüsse die maximale Erosionstiefe während der Laichzeit der Fische im Winter ändern.

#### Ist die Stabilität von Uferverbauungen gefährdet?

Der Einfluss dieser klimabedingten Änderungen des Geschiebetransportes auf die Stabilität von Hochwasserschutzbauten wurde ebenfalls untersucht. Es ging um die Abschätzung der Risiken. Uferschutzbauten, wie zum Beispiel Blockwürfe, können bei starker Erosion der Gerinnesohlen versagen.

Die verschiedenen Typen von Uferverbauungen – Schüttsteindeckwerke, Blockwürfe – haben dabei unterschiedliche Versagenswahrscheinlichkeiten. Es braucht Untersuchungen am konkreten Fall. Bei Blockwürfen geht es um direkte Blockrutschung, Auskolkung und Überströmen in geraden und gekrümmten Gerinnen. Zur Beurteilung der Stabilität müssen die Blockgrösse, die Querschnittsform, die Fliessbedingungen und der Geschiebetransport berücksichtigt werden. Simulationen mit SedFlow geben darüber Aus-

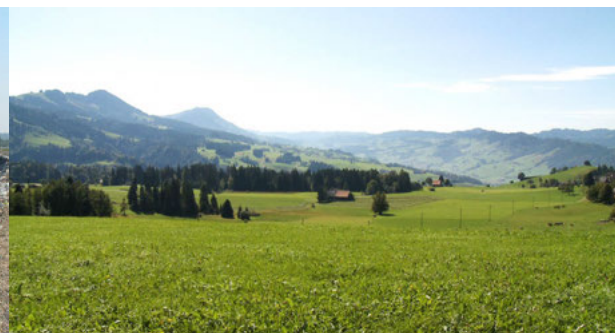
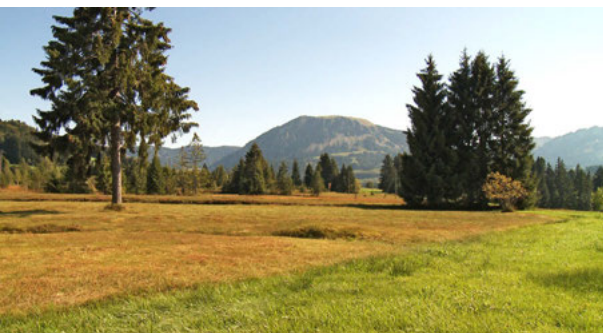
kunft, wie sich die Sohlenlage mit der Zeit verändern kann. So kann man Auswirkungen der Klimaänderung bezüglich Hochwasser und Geschiebetransport auf die Uferstabilität von Blockwürfen untersuchen.

#### Lebensraum der Fische

Bachforellen laichen von Oktober bis Januar. Die erwartete Zunahme der Abflüsse im Winter führt zu grösseren Erosionstiefen in den Flussbetten. Dies gefährdet die Eier und damit den Nachwuchs dieser Fische. Zur Abschätzung des Risikos braucht es Kenntnisse über die Vergrabungstiefe der Eier und über das Verhalten der laichenden Fische (Start und Ende der Laichperioden).

SEDRIVER wandte sich dieser Frage zu. Es wurden mehrere Flüsse in der ganzen Schweiz untersucht. Insgesamt wurden 384 Laichgruben von Bachforellen dokumentiert. Die Ergebnisse überraschten die Forschenden: Die Bachforellen vergraben ihre Eier weniger tief, als aufgrund von Studien in anderen Ländern zu erwarten war. Die gemessene mittlere Eingrabungstiefe der Eier betrug lediglich 3,8 cm. Die Eier der Bachforelle sind damit wesentlich höheren Gefahren ausgesetzt, als bisher angenommen wurde.

Die Bachforelle braucht naturnahe Flüsse mit einer ausreichenden Breite und reduziertem Gefälle. Angesichts der erwarteten klimabedingten Veränderungen wird es in Zukunft wichtiger, die stark verbauten Strecken zu renaturie-



ren und neue Verbauungen zu verhindern. Diese Erkenntnisse müssen im Management der Fließgewässer noch stärker berücksichtigt werden.

#### Ein Beispiel: Bachforellen in der Kleinen Emme (LU)

Der 58 km lange Nebenfluss der Reuss durchfließt das Entlebuch (LU). Er kann nach lang anhaltenden, ausgiebigen Niederschlägen zu gefährlichem Hochwasser anschwellen. Mit steigenden Abflüssen im Winter wird eine Erhöhung des Geschiebetransportes und der Erosionstiefen an der Flusssohle erwartet. Für die Zukunftsperiode 2021–2050 geht es um wenige Zentimeter. Ab 2050 verstärkt sich die Entwicklung, und ab 2070 sind die prognostizierten Veränderungen grösser als der Unsicherheitsbereich der Klimamodelle.

Es ist schwer zu beurteilen, inwieweit die prognostizierten Änderungen für die Fische bereits kritisch sind. Eine Gefährdung für die natürliche Reproduktion der Bachforelle scheint aber möglich. Die Forschenden erkennen auch positive Entwicklungen der erwarteten Veränderungen, insbesondere für die Jungfische. Ab 2070 könnten deutlich geringere Sommerabflüsse auftreten. Es entstehen so Flachwasserhabitate. Das erhöht die Vielfalt an Lebensräumen für junge Fische. Dieses Ergebnis ist aber zu relativieren. Es ist zum Beispiel zu wenig bekannt, wie sich der erwartete Anstieg der Luft- und Wassertemperaturen auf Fische auswirken wird.

#### Hochwasserrückhalt von Speicherseen

Falls sich Starkniederschläge und Hochwasser in Zukunft häufen, wird es wichtig, alle Möglichkeiten zum Wasserrückhalt und zur Regulierung der Abflüsse auszuschöpfen. Ein Beispiel sind die Speicherseen. Diese tragen schon heute viel zum Hochwasserrückhalt bei. Es gibt aber noch mehr Potenzial. Eingriffe in bestehende Nutzungsrechte (Konzessionen) müssen entschädigt werden. Bei der Neuverhandlung von Konzessionen können die Bedürfnisse einbezogen werden.

Auch die neuen Seen, die in Folge des Gletscherrückganges entstehen, können hier unter Umständen eine Rolle spielen. Einige dieser Seen lassen sich technisch mit wenigen Massnahmen stauen. Andere brauchen grössere Bauten. Bewilligungsverfahren für solche Anlagen können langwierig und komplex sein, insbesondere wo Schutzinteressen betroffen sein werden.

#### Massnahmen an Mittel- und Unterlauf

Projekte zur Ausweitung und Renaturierung von Flussläufen sowie die Seen- und Flussregulierung tragen zur Eindämmung der Hochwassergefahr bei. Ausser dem Bodensee (CH, D) und dem Walensee (SG) sind in der Schweiz alle Seen reguliert. Ökologische Kriterien – Fischerei, Uferschutz – spielen bei der Regulierung eine wichtige Rolle.

Im Rahmen von Renaturierungen werden wassernahe Landwirtschaftsgebiete häufiger überschwemmt. Sie werden zu ökologischen

**Links:** Der Vorschlag, Multifunktionalität der Landschaft in Problemregionen über Anreizsysteme zu stärken, ist noch neu. HYDROSERV

**Mitte:** Kann die Gefahr von Hochwasser am Unterlauf der Flüsse durch gezielte Veränderungen der Landnutzung am Oberlauf beeinflusst werden? HYDROSERV

**Rechts:** Entlebuch (LU). Die Landnutzung hat hier einen kleineren Einfluss auf die Hydrologie als erwartet.

HYDROSERV



**Der Kanton Luzern schätzt die Schäden des Hochwassers 2005 auf 345 Millionen Franken.**

Ausgleichsflächen. Der Bund rechnet mit 2000 Hektaren, die der Landwirtschaft zugunsten des Gewässerraumes verloren gehen. Weitere 20 000 Hektaren sollen nach revidiertem Gewässerschutzgesetz extensiviert werden.

Dieser Flächenverlust schmerzt die Landwirtschaft. Er muss aber relativiert werden. Zwischen 1941 und 1944 wurden rund 58 248 Hektaren melioriert und entwässert. Zwischen 1983 und 2006 wurden zudem gemäss Arealstatistik 58 422 Hektaren Agrarland überbaut. Dies entspricht rund 28-mal der Fläche, welche die Landwirtschaft von 2010 bis 2090 für die Revitalisierung der Gewässer verlieren könnte, ohne Extensivierungen nach revidiertem Gewässerschutzgesetz.

#### **Berechnung von hydrologischen Ökosystemleistungen**

Kann man mit gezielten Veränderungen der Landnutzung am Oberlauf von Flüssen die Gefahr von Hochwassern am Unterlauf der Flüsse dämmen? Ist die Bevölkerung bereit, Massnahmen wie Aufforstungen finanziell zu unterstützen, wenn die Landeigentümer und Bewirtschafter entsprechend entschädigt werden?

Das Projekt HYDROSERV untersuchte diese Fragen im Einzugsgebiet der Kleinen Emme (LU). Im Jahre 2005 hatten grosse Unwetter enorme Schäden im Unterlauf angerichtet. Es interessierte, ob und wie mit einem gezielten Landnutzungsmanagement Hochwasser gedämpft beziehungsweise Risiken gemindert werden können. Die Forschenden verknüpften Landnutzungs- und hydrologische Modelle mit Ergebnissen einer Befragung zur Zahlungsbereitschaft für Landnutzungsveränderungen. Die Bevölkerung nahm in dieser Befragung Stellung zu Zukunftsszenarien. Sie zeigte für folgende Massnahmen Zahlungsbereitschaft:

- Zunahme der Waldfläche um 20%: Dies löst die grösste Zahlungsbereitschaft aus, ist aber im heutigen Politikumfeld nur schwer umsetzbar. 20% Waldzunahme im Oberlauf reduzieren zudem die Abflussspitzen in der Kleinen Emme (LU) kaum.

- Kontrolle des Siedlungswachstums, um die Gefährdungen durch Hochwasser zu reduzieren oder nicht weiter zu erhöhen.
- Mehr Raum schaffen für die Kleine Emme (LU), um Hochwasserspitzen aufzufangen.

HYDROSERV kam zum Schluss, dass tiefer greifende Landnutzungsänderungen in der Bevölkerung im Moment wenig Zustimmung finden. Zudem ist die Wirkung solcher Landnutzungsänderungen auf die Entstehung von Hochwasser in einem Gebiet wie dem Entlebuch (LU) klein.

Damit die Multifunktionalität der Landschaft gestärkt wird, braucht es mehr Zusammenarbeit zwischen Politikbereichen – Raumplanung, Wald, Landwirtschaft und Hochwasserschutz. Ob die Entwicklung über Anreizzahlungen gesteuert werden kann, ist fraglich. Die persönliche Einstellung und die naturräumlichen Gegebenheiten haben ebenfalls einen Einfluss auf Nutzungsentscheide.

#### **Aufgaben für die Kantone**

Die Probleme mit Starkniederschlägen, Hochwasser und Geschiebetransport dürften sich in den kommenden Jahrzehnten verschärfen. Fundierte Grundlagen sind wichtig. Das NFP 61 stellt hier Methoden und Modelle zur Verfügung. Diese können für Risikoabschätzungen und die Frühwarnung eingesetzt werden.

Die Prognosen zur Hochwasserentstehung in alpinen Einzugsgebieten sind heute wesentlich besser als vor 5 Jahren. In Zukunft werden die Speicherseen im Hochgebirge vermehrt Hochwasserspitzen auffangen müssen. Das Gefährdungspotenzial muss primär mit raumplanerischen Mitteln (Nutzungsbeschränkungen) reduziert werden.





### Was bleibt offen?

Zur Verbesserung der Gefahrenbeurteilung braucht es mehr Messungen und Beobachtungen zum Geschiebetransport in natürlichen Gerinnen, vor allem in Gebirgsflüssen. Der Sedimenteintrag aus steilen Seitenbächen in die Hauptgerinne ist weiterhin schwierig abzuschätzen.

Der Einfluss des klimabedingten Temperaturanstiegs auf die Lebensbedingungen und Nahrungsketten der Fische ist noch wenig bekannt. Es braucht ein besseres Verständnis der Veränderungen der Feinsedimente.

Vorschläge, die Multifunktionalität der Landschaft in Problemregionen über Anreizsysteme zu stärken, sind noch neu. Es braucht noch Grundlagenforschung, weitere Pilotprojekte und einen Dialog mit der Praxis.

### Empfehlungen

Untergrundspeicher können zuerst träge, bei sehr ergiebigen Niederschlägen dann aber bedeutende Hochwasserabflüsse erzeugen. Kantone und Forschende sollten die Bedeutung dieses Mechanismus für die Verbesserung der Hochwasserprognosen prüfen.

Es braucht weitere wissenschaftliche Untersuchungen und Studien zu den klimabedingten Veränderungen – Geschiebetransport, Wassertemperatur – und deren Auswirkungen auf die Fische und den Hochwasserschutz.

**Links:** Im Labor werden Untersuchungen zum Geschiebetransport durchgeführt. SEDRIVER

**Mitte:** Die Probleme mit Starkniederschlägen, Hochwasser und Geschiebetransport dürften sich in den kommenden Jahren verschärfen. Foto Felix Naef

**Rechts:** Aufgrund von Messungen werden Geschiebekarten erstellt. SEDRIVER

## Wasserressourcen der Zukunft

**Die Schweiz hat auch in Zukunft genügend Wasser. Zeitlich und regional kann es aber zu Engpässen kommen. Die im NFP 61 entwickelten Methoden erlauben den Kantonen, ihre Kenntnisse zu den Grundwassersystemen im Karst zu verbessern. Diese Schätze liegen vielerorts noch im Dunkeln.**

### Wasserbilanz interessiert

Als Wasserressource wird das Wasser bezeichnet, das in einem bestimmten Raum über eine gewisse Zeit natürlich zur Verfügung steht. Die Schweiz befindet sich hier in einer privilegierten Situation. Neben gleichmässigen Niederschlägen profitiert das Land heute von riesigen Wasserspeichern wie Gletschern, Seen und Grundwasser. Mit durchschnittlich 1460 mm fällt in den Alpen rund doppelt so viel Jahresniederschlag wie im übrigen Europa. An der privilegierten Situation unseres Landes wird sich auch mit dem Klimawandel und dem Schmelzen der Gletscher nicht viel ändern. Das Wasser ist aber regional und zeitlich ungleich verteilt. In einzelnen Regionen kann es durchaus zu Wasserknappheit kommen. Und falls das Wasser in umliegenden Ländern und Regionen knapp wird, könnte dies

den Druck auf die Wasserressourcen der Schweiz erhöhen. In der Lombardei (I), aber auch entlang des Rheins (D, NL, F) und der Rhone (F) gibt es industrialisierte Ballungsräume. Wasser kann zum Gegenstand der Diplomatie werden.

Folgende Fragen interessieren: Wie viel Wasser steht der Schweiz zur Verfügung? Wie viel Wasser nutzt die Schweiz selber? Genügen die Wasserreserven auch in Zukunft? Gibt es verborgene Wasserschätze, die noch nicht vermessen sind? Was brauchen die umliegenden Länder?

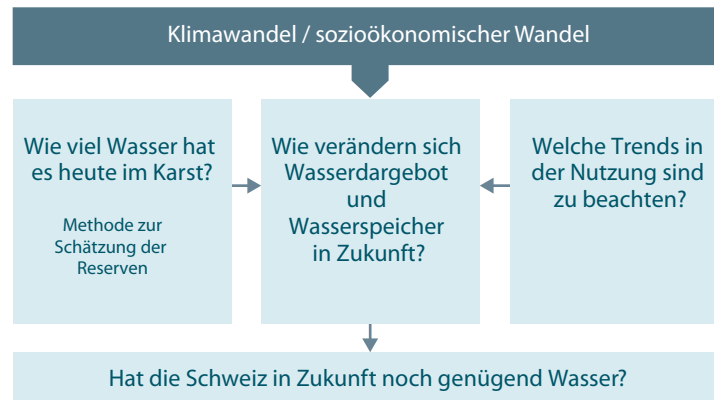
### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

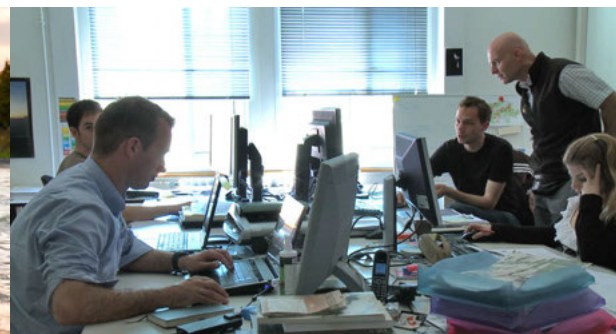
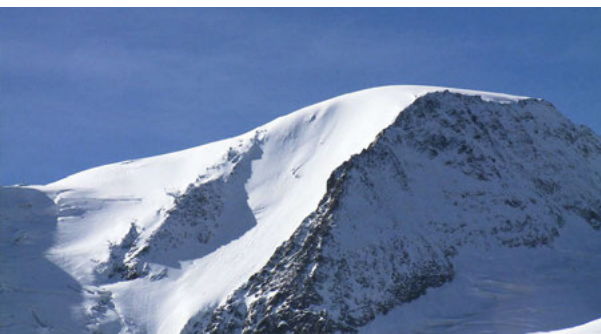
Zur Wasserbilanz der Schweiz gibt es bereits präzise Zahlen. Die Ergebnisse des NFP 61 erlauben, dieses Bild zu vervollständigen. Zudem gibt es dank diesem Programm grosse methodische Fortschritte, vor allem bei der Vermessung des Grundwassers in Karstgebieten. Dank dem Projekt SWISSKARST verfügt die Schweiz heute über ein genaueres Bild der Karstwassersysteme. Die Wasservorräte sind beachtlich. 20% der Fläche der Schweiz liegen im Karst.

Das Projekt GW-TREND hat die Kenntnisse über die mit dem Klimawandel zu erwartenden Veränderungen beim Grundwasser entscheidend verbessert. Es war aber nicht Ziel des NFP 61, eine nationale Bilanz zu erstellen. Zudem befas-

**In der Schweiz stehen heute jeder Person jährlich mehr als 5100 m<sup>3</sup> Wasser zur Verfügung. Dies entspricht 52 vollen Bädewannen pro Tag. Davon wird nur ein kleiner Teil genutzt.**

**Abb. 8:** Wasserressourcen der Zukunft – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.





sen sich zwei der vier Thematischen Synthesen (TS) des NFP 61 mit den Wasserressourcen der Schweiz. Sie geben einen Überblick über Wasserdargebot und -nutzung (TS 1) sowie über die Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck (TS 2). Sie bauen auf den Ergebnissen der Projekte auf, enthalten aber auch Resultate von Befragungen unter den für Wasser zuständigen Fachstellen.

#### Wo ist Wasser gespeichert?

Wasser fällt als Niederschlag. Es wird in Form von Gletschern, Schnee, Oberflächen-, Boden- oder Grundwasser und künstlichen oder natürlichen Seen gespeichert. Die in der Schweiz gespeicherten 363 km<sup>3</sup> Wasser entsprechen der Niederschlagsmenge, die in sechs Jahren fällt. Rund 11% dieses Wassers werden jährlich erneuert. Das Grundwasser muss man differenziert betrachten. Von den total 150 km<sup>3</sup> sind nur etwa 10% nachhaltig nutzbar. Es handelt sich zum Beispiel um Quellen oder Grundwasserleiter entlang der Flüsse. Von diesen nutzbaren Reserven werden 36% genutzt. In den Flüssen fliessen pro Jahr 53 km<sup>3</sup> Wasser ab.

#### Gibt es in Zukunft genug Wasser?

Betrachtet man die Schweiz als Ganzes, ist die Versorgung mit Wasser garantiert. Dies schliesst allerdings nicht aus, dass es in einzelnen Regionen saisonal zu Wasserknappheit kommen kann respektive bereits kommt.

Bis 2100 werden in der Schweiz nur etwa 20–30% des heutigen Gletschervolumens übrig bleiben, mehrheitlich im Wallis. Die Schneefallgrenze steigt ebenfalls. Der Anteil des in Schnee und Eis gespeicherten Wassers, ein wichtiger Speicher, reduziert sich damit stark. In der Jahreswasserbilanz ändert sich zwar wenig. Das Wasser steht in einem anderen Aggregatzustand – flüssig statt gefroren – zur Verfügung. Es wird aber weniger lang gespeichert und fliesst nach dem Niederschlag rascher ab.

Der Klimawandel ändert möglicherweise auch das Niederschlagsregime. Im Sommer werden weniger, im Winter mehr Niederschläge erwartet. Das wird sich wahrscheinlich auf die saisonale Wasserbilanz auswirken. Es kann in einzelnen Regionen zu Sommertrockenheit und Niedrigwasser in Flüssen und Bächen führen. Veränderungen sind in Flüssen, die einen grösseren Anteil an Wasser aus Gletscher- und/oder Schneeschmelze führen, tendenziell grösser als in Gewässern im Mittelland.

Grundwasser wird durch Niederschlag und durch das in den Untergrund sickende Flusswasser gebildet. Zudem sichert es während Trockenperioden den Flüssen einen Mindestabfluss. Modellrechnungen zeigen, dass sich in ferner Zukunft die Grundwasserabflüsse leicht verringern könnten. Das ändert aber nichts an der Tatsache, dass die Schweiz – im internationalen Vergleich – auch weiterhin über viel Grundwasser verfügen wird.

**Links:** Schnee und Gletscher speichern in Zukunft weniger Wasser. Die Durchschnittstemperaturen steigen, die Schneegrenze steigt ebenfalls. NELAK

**Mitte:** Die Schweiz bleibt auch in Zukunft – im europäischen Vergleich – ein wasserreiches Land.

Foto Andreas Zimmermann

**Rechts:** Das Projekt SWISSKARST liefert neue Methoden zur Beschreibung der Karstwassersysteme. Es unterstützt zahlreiche Projekte in der Schweiz und im Ausland.

SWISSKARST

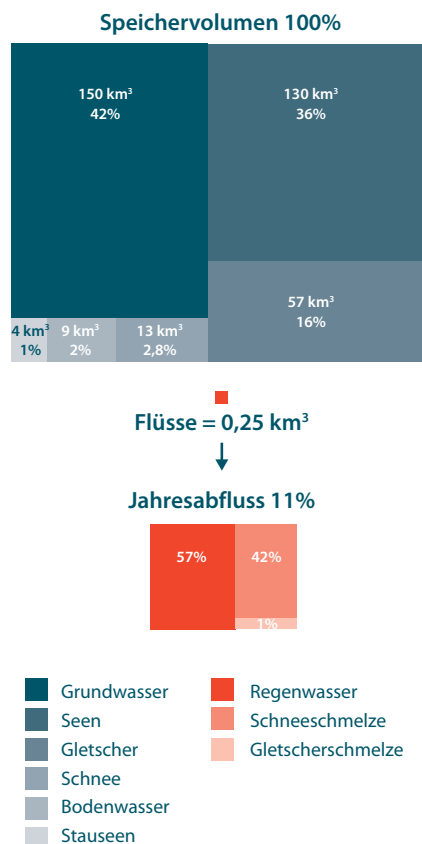
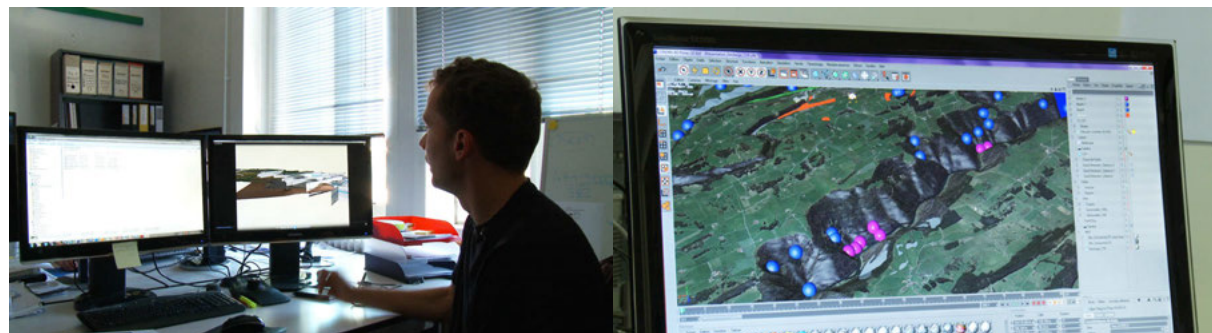
**«Die Bundesbehörden trugen bisher den speziellen Verhältnissen im Karst zu wenig Rechnung. Unser Projekt konnte sie überzeugen, dass die Karten zum Gewässernetz revidiert werden müssen.»**

*Pierre-Yves Jeannin, SWISSKARST.*

*Mehr dazu siehe DVD.*

**Mitte:** SWISSKARST erarbeitete Methoden, die erlauben, Zusammenhänge in Karstwassersystemen besser zu verstehen. SWISSKARST

**Rechts:** Dank KARSYS verfügen heute verschiedene Regionen über neue und gute Grundlagen. SWISSKARST



**Abb. 9:** Wasserspeicher in der Schweiz in km³.  
Thematische Synthese TS 1

### Karstwasser – eine wichtige Grösse

Ein Aspekt dieser Grundwasserreserven ist das Karstwasser. Rund 20% der Fläche der Schweiz liegt im Karst. Bis heute wurden etwa 200 bedeutende Karstquellen dokumentiert. Karstwasser entspricht rund 50% des Grundwassers der Schweiz. Bisher wurde ihm in Wasserbilanzen und regionalen Studien wenig Beachtung geschenkt. Das Potenzial dieser Wasserreserven für die Wasserversorgung – aber auch der Beitrag zur Hochwasserbildung – wurden kaum berücksichtigt. Dank SWISSKARST wurden diese Wissenslücken geschlossen. Die hydrologischen Karten wurden überarbeitet. Dies verbessert die hydrologischen Modelle, vor allem bei der Abgrenzung der Einzugsgebiete sowie bei der Berechnung von regionalen Wasserbilanzen.

Dank dieser Forschung wuchs die Überzeugung, dass Karstwasser besser zu bewirtschaften ist. Es kann auch für die Wasserwirtschaft wichtig werden. Die Qualität ist für viele Wasserbedürfnisse ausreichend und – wenn richtig gefasst – sogar für Trinkwasser geeignet. Es handelt sich oft um ergiebige Wasserreserven, die eher selten trocken fallen. Bei entsprechendem Bedarf können grössere Karstquellen auch für die Wasserkraft genutzt werden. Das Potenzial wurde im Kanton Waadt untersucht und auf 40 GWh/Jahr geschätzt. Es ist im Vergleich zu Flusskraftwerken – zum Beispiel an der Aare zwischen Biel und Aarau: 200 GWh/Jahr – bescheiden und nur von lokaler Bedeutung.

### Vermessung dieses Vorrates

Dank SWISSKARST gibt es jetzt einen systematischen Ansatz, mit dem Wasserreserven im Karst erfasst und dargestellt werden können (KARSYS). Der Ansatz kombiniert geologische und hydrologische Modelle. Zuerst wird eine geologische 3-D-Darstellung der Grundwasserleiter erstellt. Die Lage der Grundwasserspeicher, die Richtung des unterirdischen Abflusses oder die Gebiete, aus denen das Grundwasser stammt, werden abgebildet. Damit lässt sich die hydrogeologische Funktionsweise erklären. Mit diesem Wissen können die Karstwasserreserven geschätzt werden.

Die Nachfrage nach diesem Wissen ist gross, vor allem aus Ländern mit grossen Karstgebieten – zum Beispiel Frankreich, Irland, Slowenien oder Spanien. Bereits haben mehrere Kantone – ein Drittel der Fläche der Schweiz – ihre Karstwasserreserven mit KARSYS dokumentiert. Die grossen Gebirgskantone Graubünden oder Wallis ziehen nach. Bis 2018 soll die ganze Schweiz kartiert sein. Dank dieser Erhebungen ist es möglich, Massnahmen zum Schutz dieser Wasserreserven zu treffen und das Potenzial zur Nutzung respektive die Risiken richtig einzuschätzen. Es gibt schon Anwendungen: Wasserversorgungen (BE, VS), Hochwasserrisiko (JU), Wasserkraftnutzung (VD), Geothermie und Abfalldeponien (FR, GR, NE und SG).

Mit SWISSKARST wurde ein erster, wichtiger Schritt gemacht. Zur Entwicklung eines benut-





zerfreundlichen Softwarepaketes zur Anwendung von KARSYS, das selbstständig und auch im Ausland bedient werden kann, braucht es Investitionen und einen Businessansatz. Die Forschenden spielen den Ball der Wirtschaft zu.

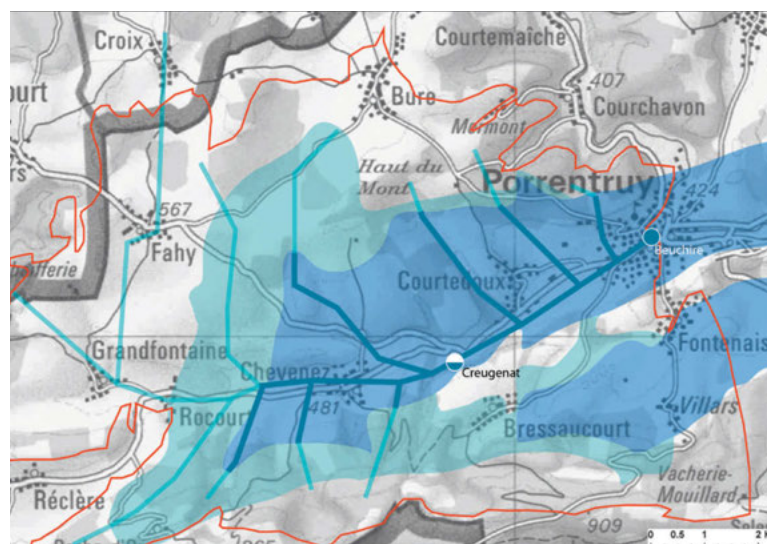
#### Ein Beispiel: plötzliche Hochwasser bei Pruntrut (JU)

Wasser aus Karstsystemen kann unerwartet zu Hochwasser und grossflächigen Überflutungen führen. Diese Zusammenhänge wurden im

Rahmen des NFP 61 an Beispielen aus der Ajoie untersucht. Die Karstquelle in der Stadtmitte von Pruntrut hat eine normale Ergiebigkeit von 800 Litern pro Sekunde. Bei Hochwasser steigt der Ausfluss aber plötzlich auf 3000 Liter pro Sekunde an. Noch unberechenbarer sind die höher gelegenen Quellen. Sie führen nur temporär Wasser, gehören aber zum gleichen Karstwassersystem. Bei Hochwasser tritt aus diesen Quellen unvermittelt mehr Wasser aus. Bei extremen Niederschlägen kommt es zu grossflächigen Überflu-

**Links und Mitte:** 1910 wurde die Stadt Pruntrut überflutet. Grund waren extreme Abflussspitzen im Karstwasser. Foto Archives de la Bourgeoisie de Porrentruy

**Rechts:** Karstwasserquellen können überraschend reagieren. SWISSKARST



**Abb. 10:** Wahrscheinlichkeit bei Bohrungen im Karstsystem der Beucherie-Quelle in der Region um Pruntrut (JU) auf Grundwasser zu stossen. Beispiel eines Standardproduktes aus KARSYS. SWISSKARST

- Permanente Quelle
- Periodische Quelle
- Einzugsgebiet
- Ungefähre Lage der Abflusswege in ungesättigter Zone
- Ungefähre Lage der Abflusswege in gesättigter Zone
- Gesättigte Zone: hohe Wahrscheinlichkeit
- Absenkungszone: geringe Wahrscheinlichkeit
- Ungesättigte Zone: minimale Wahrscheinlichkeit



**KARSYS liefert Antworten auf Fragen der Praxis: Wo befindet sich das Grundwasser im Karstgebiet? Wo kommt das Wasser in einer Karstquelle her? Wie fliesst das Wasser durch den Untergrund? Gibt es ein Potenzial für Wasserversorgung oder Stromproduktion?**

**Interesse an noch mehr Zahlen? Sie finden diese in den Thematischen Synthesen 1 und 2 des NFP 61, mit den Quellenangaben.**

tungen in den tiefer liegenden Gebieten. Diese Ereignisse nehmen mit dem Klimawandel zu. SWISSKARST erarbeitete die Grundlagen und Methoden, um die Zusammenhänge in diesem grossräumigen Karstwassersystem besser zu verstehen. Die gefährdeten Gebiete wurden kartiert. Dank KARSYS verfügt die Region Ajoie heute über gute Grundlagen für den Hochwasserschutz.

### Klimawandel und Karstwasser

Neben der Hochwasserproblematik hat SWISSKARST mögliche Effekte des Klimawandels auf die Verfügbarkeit von Karstwasser untersucht. Die regionalen und hydrometeorologischen Bedingungen spielen eine grosse Rolle, welche Effekte auftreten. Die grössten Veränderungen sind in Karstwassersystemen zu erwarten, die ausschliesslich von Niederschlag gespeist werden und wo es zudem keine Gletscher oder wenig Schnee gibt. Solche Verhältnisse sind typisch für die tieferen Lagen des Juras.

Je nach Situation sind Karstquellen die letzten, die bei Trockenheit versiegen. Sie können damit in einzelnen Regionen in Trockenperioden, die mit dem Klimawandel vermehrt zu erwarten sind, bei der Versorgung mit Wasser eine Rolle spielen. Bessere Kenntnisse zu den Karstwassersystemen helfen, dieses Potenzial einzuschätzen.

### Schutz und Nutzung dieser Wasserreserven

Ergebnisse aus den bisherigen Untersuchungen mit KARSYS legen nahe, dass die Behörden vielerorts die Grundwasser-Schutzzonen revidieren müssen. Es zeigt sich auch, dass Karstwassersysteme komplex und oft grossräumig sind. Vor- und Nachteile von Massnahmen müssen deshalb auf regionaler Ebene analysiert werden. KARSYS-Modelle helfen, solche vorzuschlagen und das Verständnis zwischen den Beteiligten für Lösungen zu verbessern.

Die Nutzung des Karstwassers braucht Spezialwissen. Es ist zum Beispiel schwierig, für die Grundwasserpumpen einen geeigneten Punkt im Labyrinth des Karstwassersystems zu finden. Dazu ist die Wasserqualität nicht immer gewähr-

leistet, weil sich Schadstoffeinträge rasch durch die verzweigten Karstleiter verbreiten. Hier leistet KARSYS gute Dienste. Massnahmen zum Schutz sowie Nutzungseingriffe müssen sich vermehrt an den physischen Grundlagen – den Karstwassersystemen – orientieren.

### Wie nutzt die Schweiz ihre Wasservorräte?

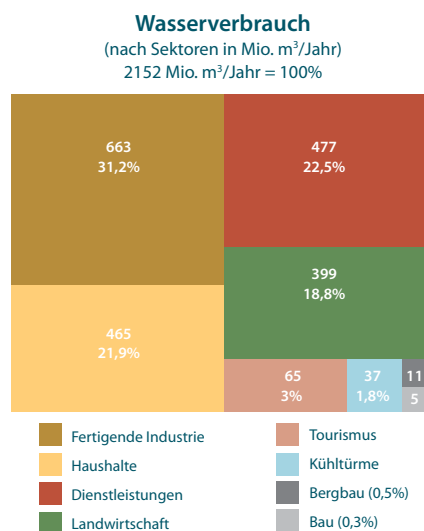
In den Thematischen Synthesen 1 und 2 wurden Zahlen zu den verfügbaren und nutzbaren Wasserreserven mit Daten zur Nutzung von Wasser verglichen. Dies erlaubt eine erste nationale Bilanz und zeigt die Relevanz der einzelnen Nutzergruppen. Die Schweizerische Hydrologische Kommission (CHy) hat 2013 ebenfalls eine solche Bilanz erstellt.

Insgesamt werden heute etwa 2 220 000 m<sup>3</sup> genutzt. Dies entspricht etwa 3,7% des Niederschlags, respektive rund 5,4% des erneuerbaren Wassers. Hier ist das Wasser, das für die Pflanzen- und Tierwelt, die Sicherung der aquatischen Ökosysteme oder für die Energieproduktion gebraucht wird, nicht eingeschlossen. 72% dieses Wassers sind nur Durchfluss, zum Beispiel zur Energiegewinnung oder zur Kühlung. Dieses Wasser steht nach der Nutzung meist wieder zur Verfügung.

Die Landwirtschaft benötigt viel Wasser. Dabei stellt heute in der Schweiz nicht die Bewässerung, sondern die frei fliessenden privaten Lauf- und Weidbrunnen den grössten landwirtschaftlichen Wasserverbrauch dar. So fliessen jährlich mehr als 200 Millionen Kubikmeter frisches Quellwasser mehrheitlich ungenutzt ab. Auch in der Schweiz könnten sich aber mit den erwarteten längeren Perioden von Sommertrockenheit (Klimawandel) die Verhältnisse rasch ändern. Der Ausbau der Bewässerung könnte rasch zum Thema werden.

### Nutzungsdruck durch Wasserentnahmen

Die zeitliche Verteilung der Nachfrage ist ebenso wichtig wie die Entnahmemenge. Wasser sparende Technologien haben weiterhin ein grosses Potenzial. Trotz steigenden Bevölkerungszahlen hat sich zum Beispiel in den letzten Jahrzehnten der Wasserverbrauch in Haushalten verringert.



**Abb. 11:** Wasserverbrauch 2013 in der Schweiz, in Millionen Kubikmetern Wasser. Thematische Synthese TS 1



Dies kann mit der Verbreitung Wasser sparender Haushaltgeräte erklärt werden. Auch in der Industrie spielen Wasser sparende Technologien mehr und mehr eine Rolle.

Grundwasser ist weiterhin eine grosse Reserve. Von den verfügbaren Grundwasserreserven sind 12% erneuerbar und nur 2,4% nachhaltig nutzbar. Der Rest kann wirtschaftlich nicht erschlossen werden. Heute werden etwa 0,9% des Grundwassers genutzt. Der Druck wird sich in Zukunft erhöhen.

### Druck durch Landnutzungsänderungen

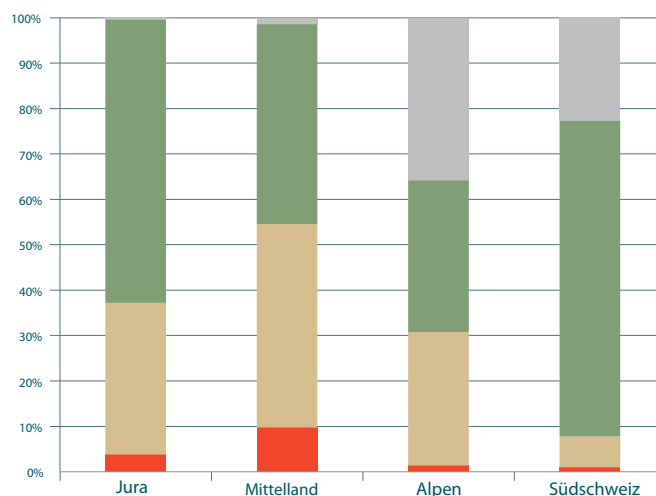
Der Druck auf Wasser und Gewässer äussert sich nicht nur über die Entnahme von Wasser. Es geht auch um Stoff- und Wärmeeinträge in Gewässer, die physische Beeinträchtigung von aquatischen Lebensräumen oder um neue Beanspruchungen von Flächen durch Änderungen in der Landnutzung.

Das NFP 61 wandte sich diesen Problemen zu. Verschiedene Projekte untersuchten den Einfluss von Landnutzungsänderungen auf den Was-

**Links:** Karstquelle im Hintergrund. Je nach Situation versiegen solche Quellen bei Trockenheit zuletzt. SWISSKARST

**Mitte:** Der Nutzungsdruck auf Grundwasserleiter steigt. Der Handlungsspielraum der Wasserversorgung wird eingeschränkt. SWIP

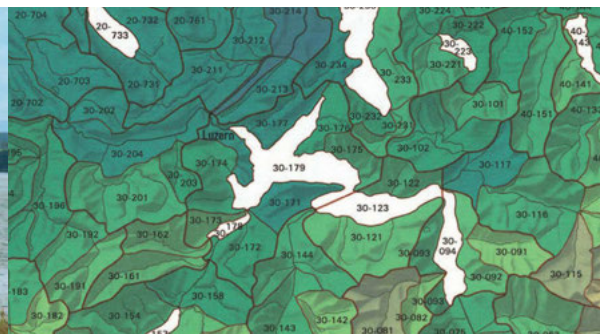
**Rechts:** Der grösste Wasserverbrauch in der Landwirtschaft stammt heute noch aus Hof- und Weidbrunnen. Das wird sich in Zukunft ändern. SWIP



**Abb. 12:** Landnutzung (2011) auf Grundwasserleitern.

Thematische Synthese TS 2

- Unproduktive Flächen
- Bestockte Flächen
- Landwirtschaftsflächen
- Siedlungsflächen



**Links:** Bezogen auf das ganze Land verfügt die Schweiz auch in Zukunft über genügend Wasserressourcen.

IWAQA

**Mitte:** Wo das Wasser knapp wird, muss sich Wassermanagement vermehrt an hydrologischen Einzugsgebieten orientieren. Ausschnitt aus dem hydrologischen Atlas der Schweiz, BAFU

**Rechts:** Die Beteiligung von Akteuren und Betroffenen ist wichtig. Foto Emmanuel Rey

**Standardprodukte von KARSYS sind zum Beispiel hydrogeologische Karten, interaktive 3-D-Modelle oder Literaturlisten.**

**Der Begriff «Wasserschloss Europas» bezog sich ursprünglich auf die Schweizer Alpen. An der Landesausstellung 1939 setzte man den Gotthard ins Zentrum.**

serhaushalt. Wo immer diese Frage untersucht wurde, kamen die Forschenden zum Schluss, dass sich diese Änderungen – zumindest in Mittelland, Jura und Voralpen – stärker auswirken als der Klimawandel. Ein Beispiel ist die zunehmend intensive Nutzung der Flächen auf den ergiebigen Grundwasserleitern. Sie ist für die Nachhaltigkeit der Grundwasserreserven meist das grössere Problem als Wasserentnahmen. Die Talebenen werden zu Industrie- und Gewerbeland. Sie sind auch von der Landwirtschaft begehrt. In den Projekten HYDROSERV und AGWAM wurden Modelle entwickelt und Szenarien bis 2050 durchgerechnet. Es geht nicht nur um die Siedlungsentwicklung. Die Entscheide von Bauern und Grundeigentümern ausserhalb der Bauzone – z.B. Waldbesitzer, Landwirte – haben ebenfalls einen Einfluss auf die Sicherung der Wasserressourcen.

#### Genügen die Wasserreserven auch in Zukunft?

Bezogen auf das ganze Land verfügt die Schweiz auch in Zukunft über genügend Wasserressourcen. Regional und saisonal kann es aber zu Wasserknappheit kommen. Klimabedingte Veränderungen spielen eine Rolle. Viel wichtiger sind aber die sozioökonomischen Rahmenbedingungen sowie die Entwicklung der Landnutzung und Massnahmen bei der Landbewirtschaftung. Raumplanerische und ökonomische Massnahmen zum Schutz der Wasserreserven und zur Minimierung des Wasserverbrauchs werden

wichtiger. Es gibt aber auch technische Massnahmen zur Verringerung des Wasserverbrauchs.

#### Was bleibt offen?

Faktoren und Verschmutzungspfade, welche die Wasserqualität des Karstwassers – Trübung, bakteriologische und chemische Eigenschaften – beeinflussen, müssen noch besser untersucht werden.

Auf nationaler Ebene gibt es Wassersicherheit. Es gibt aber noch wenige Untersuchungen zu Wasserknappheit auf regionaler Ebene.

#### Empfehlungen

Wo das Wasser knapp wird, muss sich Wassermanagement vermehrt an hydrologischen Einzugsgebieten orientieren. Es soll auch die Komponenten des Grundwassers integrieren. Für Karstwasser ist das KARSYS-Modell ein guter Ansatz.

Es braucht regionale Studien sowie ein Monitoring zur Früherkennung von Situationen, in denen eine Übernutzung der Wasserreserven droht. Die Beteiligung von Akteuren und Betroffenen ist wichtig. Der internationale Dialog und die Diplomatie über die Wasserreserven der Schweiz bleiben wichtig.

## Sommertrockenheit und Niedrigwasser

**Heisse und trockene Sommer mit wenig Niederschlag könnten in Zukunft häufiger auftreten. Systeme mit grossen Wasserspeichern (Bodenwasser, Grundwasser) reagieren nur langsam und verzögert auf Niederschlagsarmut. Bodentrockenheit und Niedrigwasser entwickeln sich über Wochen und Monate. Dank dem NFP 61 verfügt die Schweiz heute über Instrumente zur Früherkennung von Trockenheit.**

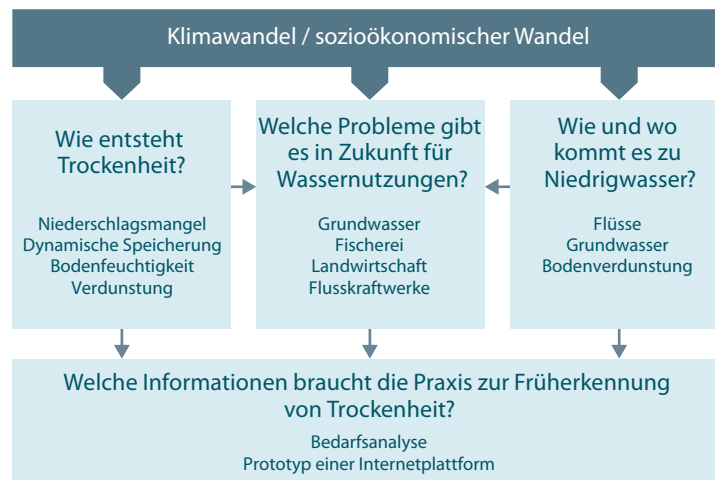
### Worum geht es?

Klimaszenarien zeigen, dass sich Hitzeperioden mit wenig Niederschlag in Zukunft häufen könnten. Die mittleren Niederschlagsmengen dürften im Sommer in allen Teilen der Schweiz abnehmen, besonders in der Süd- und der Nordwestschweiz (30% bis 50%). Das verfügbare Bodenwasser vermindert sich. Niedrigwasser in Flüssen, Bächen und Bewässerungskanälen werden möglicherweise vielerorts häufiger. Trockenheit ist dabei relativ zu sehen. Es hat zu wenig Wasser für definierte Nutzungen oder Ansprüche. Gegenüber Regionen in Südeuropa

ist die Schweiz weiterhin privilegiert. Trotzdem werden trockene Ereignisse häufiger auftreten. Einzelne Gebiete werden periodisch unter Wassermangel leiden. Neben Schifffahrt, Landwirtschaft und Naturschutz sind auch Wasserversorgungen, Kraftwerke oder Gewässerschutz von solchen Veränderungen betroffen. Da Trockenheit die Intensität von Hitzewellen steigern kann, hat sie auch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Die NFP 61-Projekte zu Trockenheit und Niedrigwasser konzentrierten sich bewusst auf Einzugsgebiete in den Voralpen und im Mittelland. Der Einfluss der Gletscherschmelze kann dort ausgeschlossen werden. Grundwasser und Bodenfeuchte sind als Wasserspeicher für den Landschaftswasserhaushalt wichtig. Im Projekt GW-TREND wurden die komplexen Prozesse, die zu Niedrigwasser in Gewässern respektive im Grundwasser führen, in verschiedenen Regionen analysiert. Im Projekt DROUGHT-CH standen generelle Fragen im Vordergrund: Welches sind geeignete Indikatoren für Trockenheit? Welches sind kritische Schwellenwerte? Wie empfindlich reagieren die Einzugsgebiete auf Niederschlags-



**Abb. 13:** Sommertrockenheit und Niedrigwasser – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.

**«Die grosse Breite an Sichtweisen und Bedürfnissen zum Thema Trockenheit hat uns alle überrascht.»**

*Manfred Stähli, WSL, DROUGHT-CH.  
Mehr dazu siehe DVD.*

armut? Wo und wie führt Trockenheit zu Niedrigwasser? Welche Bedürfnisse hat die Wirtschaft an eine Informationsplattform zur Früherkennung von Trockenperioden? Welches ist der ökonomische Nutzen der Frühwarnung? Dank diesem Projekt gibt es heute ein besseres Verständnis sowie eine Bewertung der Risiken der erwarteten Veränderungen. Die Rolle der Verdunstung und der Bodenfeuchtigkeit für den Wasserhaushalt und das Entstehen von Trockenphasen mit Niedrigwasser wurde über grössere Gebiete quantifiziert. Es gibt heute gute Grundlagen für Prognosen.

**Woran orientieren sich Fachstellen?**

Die Fachleute bestimmten Indikatoren, die für sie im Zusammenhang mit Trockenheit für die Praxis relevant sind. DROUGHT-CH führte dazu eine schriftliche Befragung bei kantonalen Fachstellen durch. Die Ansprüche aus der Praxis erwiesen sich als vielfältig: Land- und Forstwirtschaft brauchen Informationen zu Bodenfeuchte und Verdunstung. Die Wassertemperatur ist entscheidend für den Sauerstoffgehalt des Wassers. Sie gibt Aufschluss über Auswirkungen auf die Gewässerfauna, zum Beispiel Fische. Ein weiteres Problem von Trockenheit ist die Waldbrandgefahr. Hier braucht es Informationen zu Wind und Streufeuchte. Zur Einschätzung einer Trockenperiode werden Daten zur aktuellen Situation mit langjährigen Mittelwerten verglichen. Bezüglich räumlicher Auflösung der Daten hat die Praxis verschiedene Ansprüche.

**Fortschritte in der Grundlagenforschung**

DROUGHT-CH verbesserte das Wissen über die Rolle von Anfangsbedingungen für die Vorhersage von Trockenperioden. Es zeigte sich, dass Bodenfeuchte, Verdunstung, Grundwasser oder Schnee Schlüsselfaktoren sind. Sie entscheiden, wie empfindlich Einzugsgebiete auf längere Perioden mit wenig Niederschlag reagieren. Das Projekt zeigt aber auch, dass exakte Vorhersagen weiterhin schwierig bleiben:

- ▶ Die Prozesse in Atmosphäre, Boden, Untergrund und Vegetation stehen in einer komplexen Wechselwirkung.
- ▶ Die Empfindlichkeit eines Gebietes auf Trockenheit hängt von mehreren Faktoren ab: Speichereigenschaft der Böden, Landnutzung und Intensität der Wassernutzung.

Die langen Zeitreihen im Forschungsgebiet Rietholzbach (SG) waren eine grosse Hilfe. Es handelt sich um eines der am besten untersuchten Gebiete Europas. Die Forschung gibt klare Hinweise, dass dort die verstärkte Verdunstung für die Entwicklung der Trockenperiode von 2003 eine Schlüsselgrösse war. Es braucht weitere Grundlagenforschung und bessere Daten auf regionaler Ebene, bevor genauere Prognosen möglich werden, insbesondere wie sich die Bodenfeuchte in niederschlagsarmen Perioden entwickelt.

**Tab. 4:** Wie misst man in der Praxis Trockenheit?  
DROUGHT-CH

Thema	Indikatoren
Boden	Bodenfeuchte, Streufeuchte
Gewässer	Abflussmenge in Flüssen, Grundwasserspiegel, Wasserstand von Gewässern, Wassertemperatur
Klima	Verdunstung, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Niederschlagsmenge, Windgeschwindigkeit
Schnee	Schneehöhe, Schneemenge, Schneewassermenge





### Dynamische Speicherung in Einzugsgebieten

Abflussprognosen für hochalpine Bäche und grosse Einzugsgebiete unterhalb von Seen im Mittelland sind schon ziemlich präzise. Es ist voraussehbar, wie sich Wasserstände in Trockenperioden ändern und wann es zu Niedrigwasser kommt.

Dank DROUGHT-CH gibt es jetzt auch bessere Prognosen für Flüsse, bei denen der Abfluss stark variiert. Die Forschenden testeten dazu verschiedene Modelle zur Prognose von Bodenfeuchte und Abfluss. Untersuchungen mit Isotopen zeigten, dass die Speicherkapazität der Einzugsgebiete stark variiert. Es wurden 24 Gebiete modelliert. Die Forschenden untersuchten mehr als 1200 Proben zu Niederschlag, Abfluss und Grundwasser.

Die Fähigkeit zur dynamischen Speicherung kann entscheiden, ob Einzugsgebiete austrocknen und es zu Niedrigwasser in den Gewässern kommt. Das Bodenwasser ist hier wichtig. Für bessere Abflussprognosen braucht es hochauflösende Niederschlagsdaten. Ausserdem sind regionale Informationen zur Verteilung des Wassers auf verschiedene Speicher wie Schnee oder Boden nötig.

### Ein Beispiel: Pegelstand des Rheins bei Basel

Dieser Pegelstand ist wichtig für die Rheinschifffahrt. Er ist einer der Wasserstände, die sich einfach vorhersagen lassen. In normalen Jahren führt der Rhein bei Basel rund 9% Gletscher-

schmelzwasser. Im Hitzesommer 2003 stieg der Anteil auf 23%. Dieser Anteil ist spürbar tiefer als bei der Rhone, die ein stark vergletschertes Einzugsgebiet hat. Die Modelle berechneten für die Rhone bei Chancy (GE) im Hitzesommer 2003 einen Anteil von 75% Gletscherschmelzwasser im Abfluss.

DROUGHT-CH untersuchte mittels Langzeitprognosen, wie dieser Pegelstand auf klimabedingte Veränderungen reagieren könnte. In den Jahrzehnten, in denen die Gletscher schmelzen, werden die Veränderungen im Rhein bei Basel relativ moderat sein. Die Pegelstände im Winter steigen gegenüber heute leicht an. Im Sommer und Herbst kommt es dagegen rascher zu Niedrigwasser. Aber 2085 wird ein Grossteil der Gletscher geschmolzen sein. Dieses Schmelzwasser wird im Abfluss fehlen. Damit sind in den Sommermonaten deutlich längere Perioden von Niedrigwasser zu erwarten. Im Frühling werden Hochwasser häufiger. Der Abfluss im Winter wird klar erhöht, da weniger Wasser in Form von Eis und Schnee gespeichert wird.

Heute liegen extreme Niedrigwasserwerte im Rhein bei Basel bei 600 m<sup>3</sup> pro Sekunde. 90% liegen oberhalb dieses Extremwertes. In Zukunft werden sie bei 450 m<sup>3</sup> liegen. Die Rheinschifffahrt wird sich anpassen müssen. Im Sommer können die Schiffe weniger, im Winter mehr laden.

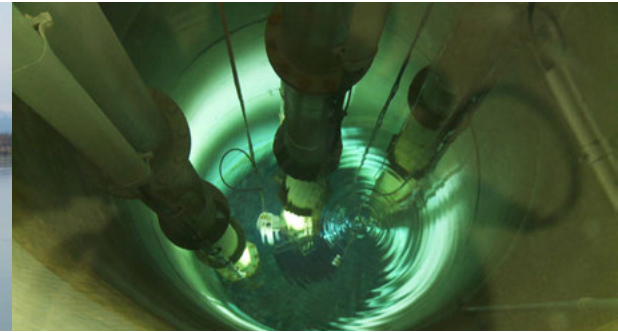
**Links:** Bodenfeuchtigkeit und Verdunstung sind wichtige Grössen der dynamischen Speicherung. Sie werden mit Lysimeter gemessen. Das Einzugsgebiet Rietholzbach (SG) ist eines der am besten untersuchten Regionen Europas. DROUGHT-CH

**Mitte:** Trockenheit betrifft viele Wirtschaftssektoren. An den Workshops tauschten die Akteure ihre Bedürfnisse aus. Foto Sabine Rock

**Rechts:** Ab 2050 kann es im Sommer vermehrt zu tiefen Pegelständen kommen. Die Schwankungen nehmen zu. DROUGHT-CH

**«Das NFP 61 zeigte, dass es in der Schweiz eine grössere Gruppe von Forschenden gibt, die sich mit Fragen rund um Trockenheit beschäftigen.»**

*Sonia Seneviratne, DROUGHT-CH, ETH Zürich*



**Links:** Kleine Emme (LU): Das NFP 61 schärft den Blick dafür, dass Grundwasser und Flüsse Systeme bilden.

GW-TREND

**Mitte:** Im Berner Seeland (BE) wird bei Trockenheit das Grundwasser von der Aare abgetrennt. Das kann Probleme schaffen. GW-TREND

**Rechts:** Ein Pumpversuch zeigte, dass der Grundwasserspiegel mehrere Meter absinken kann, obwohl der Kanal noch viel Wasser enthält. GW-TREND

### Bodentrockenheit und Speisung von Quellen

Quellsysteme werden vor allem durch versickernden Regenniederschlag gespeist. Trocknet der Boden stark aus, kann bei seichten Quellen die Versorgung mit Wasser abgeschnitten werden. Im Herbst dauert es dann länger, bis der Boden angefeuchtet ist und die Speisung der Quellen wieder in Gang kommt. Dies kann dazu beitragen, dass es zu einem Sommerloch bei der Versorgung dieser Quellen mit Wasser kommt.

### Untersuchungen zu Niedrig- und Grundwasser

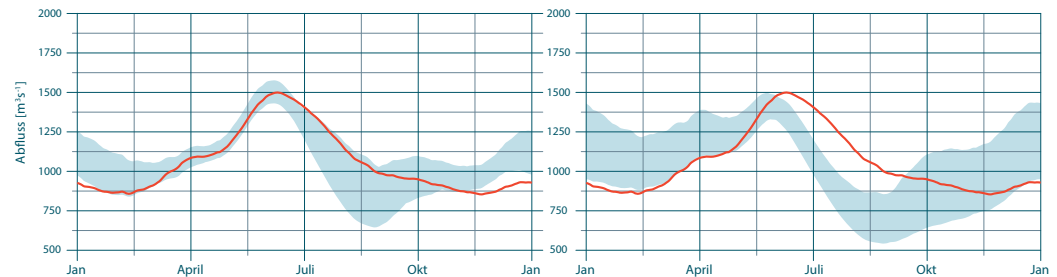
Neben Quellen untersuchte GW-TREND die Effekte von Trockenperioden auf Grundwasserlei-

ter entlang von Flüssen. In vielen Gebieten ist Grundwasser der grösste Wasserspeicher, wichtig für Natur, Trinkwasser oder Bewässerung.

Die Forschenden interessierten vor allem voralpine Grundwasserleiter mit einer hohen Durchlässigkeit und einer starken Neigung der Grundwasserspiegel (hydraulischer Gradient). Sie erwarteten, dass sich solche Grundwasserspeicher in Trockenperioden besonders rasch entleeren. Zum Glück regnete es im Spätherbst 2011 während 6 Wochen nicht. Dies erlaubte den Forschenden, in Gebieten, die gut mit Messgeräten ausgerüstet sind, Modellberechnungen mit Messungen zu vergleichen.

**Abb. 14:** Mittlere Pegelstände des Rheins bei Basel, modelliert für 2035 (links, Gletscher schmelzen) und 2085 (rechts, Gletscher geschmolzen). DROUGHT-CH

Rote Linie = Abfluss heute (2013)  
Blaue Fläche = Streubereich der Klimaszenarien



Einmal mehr zeigte sich, wie wichtig es ist, Oberflächen- und Grundwasser als System zu betrachten. GW-TREND entwickelte dazu eine Typologie und eine neue Generation von Modellen. Diese erlauben, den Zusammenhang zwischen Grundwasser und Oberflächenabfluss während Trockenperioden zu simulieren.

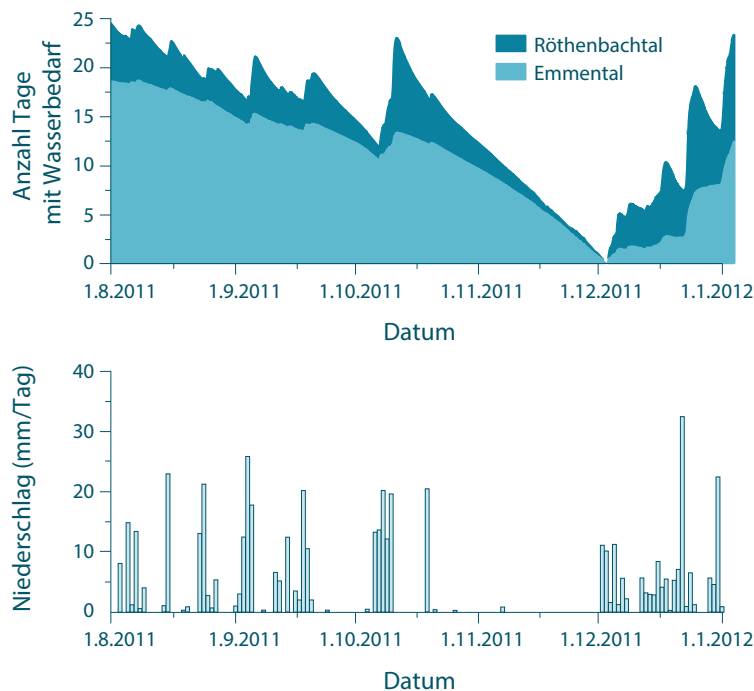
#### Wie entwickeln sich Grundwasserstände in Trockenperioden?

In Einzugsgebieten, in denen die Abflüsse im Fluss und im Grundwasser in einer ähnlichen Grössenordnung liegen, kann der Grundwasserabfluss während Trockenperioden zum dominanten Abfluss werden. Beispiele sind der Oberlauf von Flüssen oder kleine Einzugsgebiete. Trockenheit wird zuerst im Fluss (trockene Abschnitte) und erst später im Grundwasser sichtbar. Das obere Emmental (BE) ist ein solches Gebiet. Es handelt sich um einen kleineren Grundwasserleiter. 2011 fiel der Fluss schon nach

wenigen Wochen trocken. Im Grundwasserleiter wurde die Trockenheit gar nicht sichtbar.

Wo der Abfluss über den Fluss grösser ist als der Abfluss über das Grundwasser, haben längere Trockenperioden einen geringeren Effekt auf die Grundwassermenge. Das Grundwasser wird laufend durch Flusswasser gespeist. Wichtig ist, dass die Flüsse und die Grundwasserleiter durchlässig verbunden bleiben. Dies kann sich unter Niedrigwasserbedingungen unvermittelt ändern. Es ist deshalb nicht möglich, vom Wasserstand im Fluss Rückschlüsse auf den Wasserstand im Grundwasser zu ziehen. Unter Umständen steht plötzlich weniger Grundwasser zur Verfügung als erwartet.

Grosse Systeme wie die Gäu (SO) reagieren sehr viel träger auf Trockenperioden. Kleine und steile Grundwasserträger haben oft eine erstaunlich hohe dynamische Speicherung, die in hydrogeologischen Untersuchungen bisher häufig falsch eingeschätzt wurde.



**Abb. 15:** Wie sich im Spätherbst 2011 6 Wochen Trockenheit auf das Grundwasser entlang der Emme auswirkten. GW-TREND

«Trockenheit wird ein Thema werden. Die Kantone können sich vorbereiten, indem sie sich Gedanken zu folgenden Fragen machen: **Wo haben sie Risikogebiete? Was sind die Massnahmen, wenn ein Ungleichgewicht zwischen Wasserangebot und Nachfrage entsteht?»**

Hugo Aschwanden,  
Abteilung Wasser BAFU.  
Mehr dazu siehe DVD.

### Mögliche Folgen des Klimawandels

Untersuchungen von GW-TREND zeigen, dass die Veränderungen im Grundwasserstand, die durch den Klimawandel verursacht werden, in einer Spannweite liegen, die durch eine Optimierung der Landnutzung und -bewirtschaftung in der Landwirtschaft kompensiert werden kann. Temporäre Engpässe sind aber nicht auszuschliessen. Diese können die Erfahrungen von 2003 und 2011 übertreffen. Die tiefen Wasserstände im Juni 2011 wurden nicht allein durch Niederschlagsarmut sondern auch durch die unterdurchschnittlichen Schneemengen im Frühjahr verursacht. Hätte es im Frühjahr 2003 so wenig Schnee gehabt wie 2011, dann wäre es im Sommer 2003 zu einer noch grösseren Wasserverknappung gekommen.

Regionale Eigenarten können eine Rolle spielen. Generelle Schlussfolgerungen sind schwierig. Es braucht Kenntnisse der spezifischen Gegebenheiten, um die Folgen des Klimawandels abzuschätzen. Ein Beispiel ist das Seeland (BE, FR). Dort wurde im Sommer 2011 die Aare bei Niedrigwasser vom Grundwasserspeicher abgetrennt. Der Grundwasserspiegel sank in der Folge über eine Fläche von 10 km<sup>2</sup> um gut 1m. Solche

Effekte können in Zukunft die Möglichkeiten zur Bewässerung einschränken. Andererseits können tiefere, grosse und weniger durchlässige Grundwasserleiter nach Ansicht von GW-TREND eine grosse Rolle für die Pufferung der Effekte des Klimawandels spielen. Sie werden durch saisonale Schwankungen weit weniger beeinflusst als andere Grundwasserleiter.

### Wie sind Grundwasserspeicher zu bewirtschaften?

Die Grundwasserleiter sollten vermehrt regional bewirtschaftet werden. Zugriff auf eine Vielfalt von unterschiedlichen Grundwasserleitern mit unterschiedlichen Eigenschaften kann bei extremer Trockenheit ein grosser Vorteil sein. Leider schränkt die Zersiedlung die Möglichkeiten, Grundwasserreserven mit einer optimalen Landbewirtschaftung zu sichern, vielerorts ein. Das ist für die Fachleute das grössere Problem als der Klimawandel.

Mit Massnahmen zum Hochwasserschutz und zur Flussrenaturierung werden die Systeme erheblich verändert. Die Effekte müssen in regionalen Grundwasserbilanzen noch besser beachtet werden. Durch eine gezielte Renaturierung kann zum Beispiel die Speisung der Grundwas-

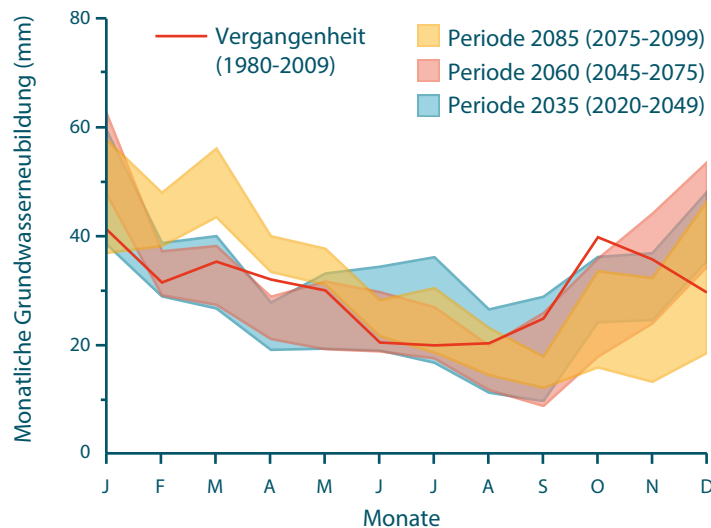


Abb. 16: Grundwasserneubildung durch Versickerung von Niederschlag an der Emme (BE). GW-TREND



serleiter verbessert werden. Diese sind dann für Trockenperioden besser gefüllt.

**Niedrigwasser und Fischhabitate**

Bei Flüssen wie der Kleinen Emme (LU) könnten in fernerer Zukunft (2070–2099) im Sommer deutlich geringere Sommerabflüsse auftreten. Die Folgen sind nicht nur negativ. Zum Beispiel erhöht sich die Vielfalt an Lebensräumen für junge Fische. Es entstehen Flachwasserhabitate. Aus diesem Ergebnis kann aber nicht geschlossen werden, dass die klimabedingten Veränderungen positiv für die Fische sind. Es ist zum Beispiel unklar, wie sich der erwartete Anstieg der Luft- und der Wassertemperatur auf Fische auswirken wird.

**Niedrigwasser und Flusskraftwerke**

Sommertrockenheit beeinflusst die Wasserkraftnutzung in Flusskraftwerken. Bei extremen Niedrigwassern wird es an Flüssen im Mittelland, deren Einzugsgebiete vor allem durch Niederschlag gespeist werden, zu Leistungseinbussen und Einschränkungen in der Wasserkraftnutzung kommen.

Die Wasserkraftproduktion war nicht nur im Hitzesommer 2003 eingeschränkt. Im Jahre 2011 führten die tiefen Pegelstände in den Flüssen ebenfalls dazu, dass kleinere Laufkraftwerke abgestellt und grössere nur mit eingeschränkter Leistung betrieben werden konnten. Der fehlende Strom wurde in diesen Hitzesommern teils importiert, teils durch Speicherseen kompensiert. Da die Strompreise im europäischen Strommarkt in der Regel schwanken, haben solche Einschränkungen kaum finanzielle Auswirkungen auf die Kraftwerksbetreiber.

**Wo braucht die Praxis Unterstützung?**

DROUGHT-CH interviewte Vertreter verschiedener Interessensgruppen. Die Ergebnisse zeigten, dass es für den Umgang mit den vermehrt auftretenden Trockenperioden keine neuen Infrastrukturen braucht. Die Praxis wünscht sich eher Frühwarnsysteme für Trockenheit, Monitoring zur Mindestwasserführung in Flüssen und im Grundwasser oder Messnetze für Bodenfeuchte und Verdunstung. Den von Trockenheit oder Niedrigwasser besonders betroffenen Sektoren ist es wichtig, nahezu täglich Informationen zur Früherkennung von Trockenperioden verfügbar

Wassernutzung	Auswirkungen
Landwirtschaft	Bedarf an Bewässerung steigt.
Trinkwasser	Bei extremer Trockenheit ist die Versorgungssicherheit nicht in allen Regionen gewährleistet.
Kanalisation	Mangelnde Spülung der Netze.
Abwasser	Bei Niedrigwasser kann Wasserqualität in Flüssen leiden. Abwasser wird zu wenig verdünnt. Die Wassertemperatur steigt.
Schifffahrt	Schiffe können nicht mehr verkehren.
Wasserkraft	Niedrigwasser führt zu Einbussen der Wasserkraftnutzung in Laufkraftwerken. Bei Jahresspeicherung kommt es sehr selten zu Effekten.
Tourismus/Erholung	Trockene Flussbette.
Ökologische Leistungen	Konkurrenz um Wasser steigt. Es gibt weniger Wasser für die Natur.
Fischerei	Trockene Flussbette.

**Tab. 5:** Wie wirken sich Trockenheit und Niedrigwasser auf Wassernutzungen aus? DROUGHT-CH

Die Internetplattform [www.drought.ch](http://www.drought.ch) hatte 3 Monate nach der Aufschaltung bereits 172 registrierte Nutzer. Mit 42% stellen Behörden die grösste Nutzergruppe.

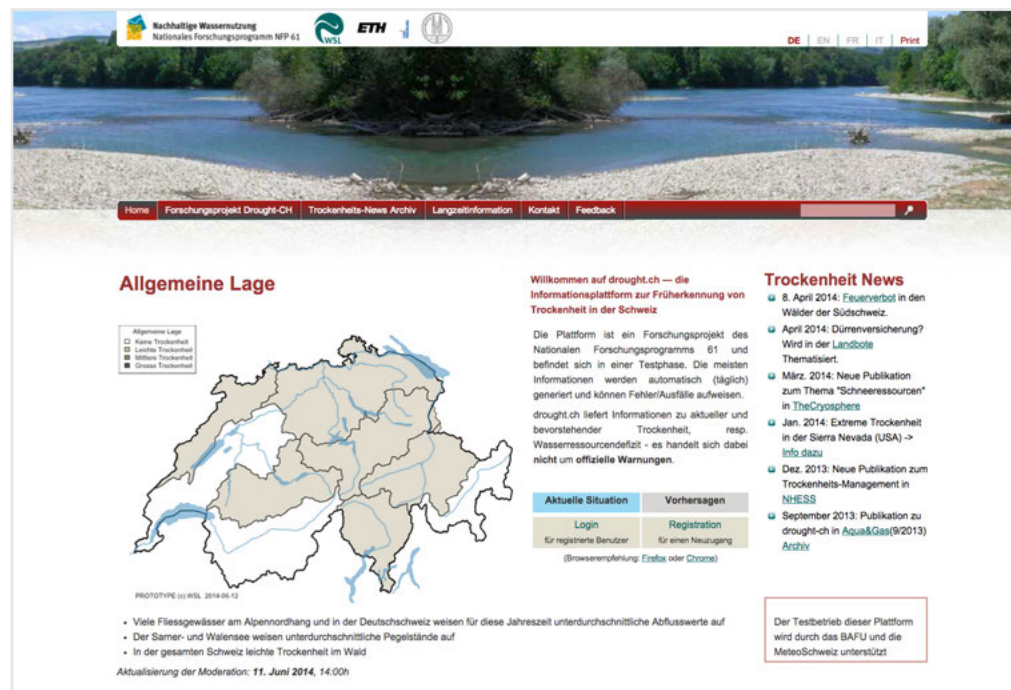
zu haben. Dementsprechend wünschten die meisten Fachleute eine internetbasierte Plattform mit Informationen in Echtzeit.

#### Pilotprojekt für eine Früherkennung

Der Prototyp der Plattform ([www.drought.ch](http://www.drought.ch)) erlaubt mehrtägige Vorhersagen zum Thema Trockenheit. Für einzelne Parameter sind Prognosen bis zu einem Monat möglich. Die Ergebnisse der verschiedenen NFP 61-Projekte fliessen ein. Ein Grossteil der Daten wird automatisch erhoben. Ein Modell der ETH Zürich kann die tägliche Bodenfeuchte zwei Wochen im Voraus bestimmen. Ferner verarbeitet ein operationelles Modell der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) Informationen über Schneemengen, um die Vorhersage von Niedrigwasser zu verbessern. Dies ist

ein gutes Beispiel für Zusammenarbeit zwischen Instituten und Forschungsanstalten im NFP 61. Das frühzeitige Erkennen von Perioden mit kritischer Trockenheit ist wichtig für das Risikomanagement. Für den Weiterbetrieb dieser Plattform braucht es aber Finanzierung und flächendeckend automatische Messeinrichtungen für Bodenfeuchte, Grundwasser und Verdunstung. Messungen zu Abfluss und Niederschlag müssen mit der gleichen Intensität weitergeführt werden wie bisher. Das Potenzial von Anwendungen in der Schweiz ist gross, da es verschiedene Wassernutzer gibt. Mit dem heutigen System lassen sich zum Beispiel Niedrigwasserstände drei Wochen im Voraus vorhersagen. Das finden viele Fachleute aus der Praxis nützlich. Die Bereitschaft, für diese Information zu zahlen, ist aber gering.

Abb. 17: Die erste Informationsplattform zur Früherkennung von Trockenheit. DROUGHT-CH





### Was bleibt offen?

Die im NFP 61 untersuchten Gebiete lagen mehrheitlich in ländlichen Regionen. Es braucht eine Vertiefung der Forschung in stark besiedelten Gebieten. Dort wird der Wasserkreislauf durch die Siedlungsentwicklung verändert.

Die Grundwasserreserven sind in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität nach wie vor schwierig zu quantifizieren. Dies betrifft insbesondere auch die Grundwasserspeisung durch Flüsse sowie den Einfluss der Schneedecke.

GW-TREND zeigt, dass in Trockenperioden die tieferen Grundwasserspeicher, die langsam reagieren, relevant werden. Zurzeit ist es aber noch schwierig, ihre Bedeutung bei Niedrigwasser quantitativ zu erfassen. Dazu braucht es neue Modelle.

Das Prozessverständnis über solche Phänomene sowie die Abschätzung der Folgen des Klimawandels können nur über Feldbeobachtungen gestärkt werden. Diese Forschung ist aufwendig und braucht Zeit und Ressourcen.

### Empfehlungen

Damit auch die Effekte des Klimawandels erfasst werden können, müssen die Monitoringnetzwerke optimiert werden. Niedrigwasserphänomenen und der Bodenwasserdynamik sind spezielle Beachtung zu schenken.

Die Messnetze für Grundwasser und Verdunstung müssen weiter ausgebaut werden.

Die regionale Zusammenarbeit – Gemeinden, Wassernutzer – muss verstärkt werden. Dies gilt insbesondere für Gebiete, die durch Sommertrockenheit und Niedrigwasser bedroht sind.

Es braucht zusätzliche Dispositive für extreme Trockenperioden, unter Einschluss von Trinkwasserversorgungen, Einschränkung wasserintensiver Nutzungen, Bewässerung oder die Wasserkraftnutzung an Flüssen im Mittelland.

**Links:** Die Praxis wünscht sich Frühwarnsysteme für Trockenheit, Monitoring zur Mindestwasserführung in Flüssen und Grundwasser oder Messnetze für Bodenfeuchte und Verdunstung. DROUGHT-CH

**Mitte:** Der Prototyp der Informationsplattform Trockenheit wurde an einem Workshop mit verschiedenen Fachleuten aus Forschung und Praxis verbessert.

Foto Sabine Rock

**Rechts:** Die Informationsplattform Trockenheit ist eine wichtige Massnahme des BAFU im Rahmen der Klimadaptation. Erste Auswertungen ergaben, dass dieser Prototyp auf grosses Interesse stösst. DROUGHT-CH

## Wo die Landwirtschaft mehr Wasser braucht

**Wenn es zu wenig regnet, wird in der Landwirtschaft mit Bewässerung nachgeholfen. Die Probleme könnten sich mit dem Klimawandel in einzelnen Regionen verschärfen. Wasser wird möglicherweise knapp. Die Produktivität der Landwirtschaft und die Qualität der Produkte können auch ohne masslosen Ausbau der Bewässerung gesichert werden.**

Daten zur Landwirtschaft stammen mehrheitlich vom Bundesamt für Statistik und vom Bundesamt für Landwirtschaft.

### Der Druck zum Bewässern steigt

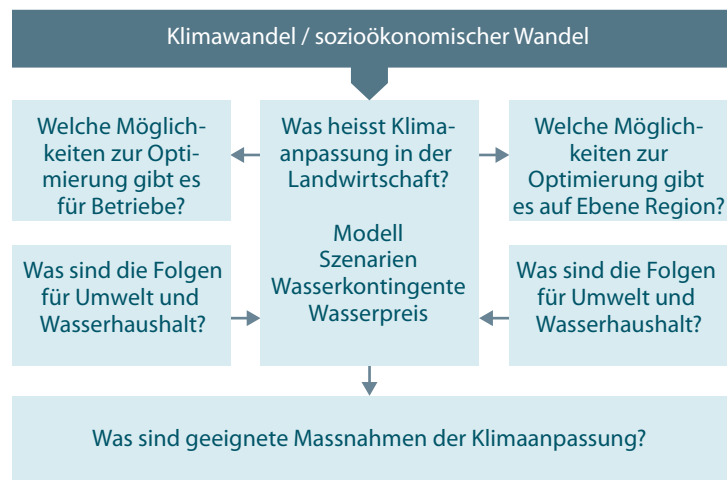
Weltweit ist die Landwirtschaft für 70% des Wasserverbrauchs verantwortlich. In Südeuropa werden im Mittel 59% bis 88% des verfügbaren Wassers zur Bewässerung verwendet. Bewässerung dürfte mit dem Klimawandel auch in der Schweiz zunehmend zum Thema werden. Heute wird erst eine Fläche von rund 36 000 ha bewässert (2012). Dies entspricht etwa 3% der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Mit dem Klimawandel steigt aber der Wasserbedarf. Die gängige Lösung wird sein, diesen Bedarf durch zusätzliche Bewässerung im Sommer zu decken.

Entscheide bezüglich Bewässerung folgen betrieblichen Überlegungen. Kulturen, bei denen der durchschnittlich erzielte Mehrertrag die Kosten der Bewässerung rechtfertigt, sind bewässerungswürdig. Im Ackerbau sind dies hauptsächlich Mais, Kartoffel, Zuckerrüben und besonders die Gemüsekulturen. Diese sind im Mittelland sehr verbreitet. Von den Betrieben, die heute Äcker und Wiesen bewässern, verwenden 46% Wasser aus Bächen, Flüssen und Seen. Solche Wasserentnahmen bedürfen einer Bewilligung. Sie sind kein Problem, solange Wasser ausreichend zur Verfügung steht. Wo Wasser knapp wird, muss ein Entnahmestopp verfügt werden, sobald die Wasserführung in den Bächen einen kritischen Wert erreicht.

### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Was sind Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Produktivität, den Wasserbedarf und andere Funktionen der Agrarökosysteme? Welche Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel gibt es, bei denen die Produktivität erhalten bleibt und Wasserbedarf und Umweltauswirkungen möglichst gering sind? Das Pro-

**Abb. 18:** Wo die Landwirtschaft mehr Wasser braucht – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.







jekt AGWAM untersuchte solche und ähnliche Fragen in zwei mittelgrossen, landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Eigenschaften. Das Broyetal (VD) neigt zu Trockenheit, die Region Greifensee (ZH) ist eher feucht. AGWAM untersuchte

mittels Modellrechnungen, wie durch Änderungen in Landnutzung und Bewirtschaftung der Wasserbedarf optimiert werden kann, ohne den Ertrag und das Einkommen der Landwirte wesentlich zu beschränken und ohne gleichzeitig die Umwelt mehr zu belasten. Erstmals

**Links:** Bewässerung ist zunehmend auch im Mittelland ein Thema. Mit dem Klimawandel verschärfen sich die Probleme in trockenen und landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. AGWAM

**Mitte:** Im Projekt AGWAM wurden die Probleme und Szenarien zusammen mit Betroffenen diskutiert.

Foto Sabine Rock

**Rechts:** Landwirtschaftsbetrieb Broye. Landwirte reagieren sensibel auf Preissignale. AGWAM



**Abb. 19:** Heutiger mittlerer Bewässerungsbedarf in  $\text{m}^3/\text{ha}$ , berechnet für die Vegetationsperioden 1980–2006 im Raster  $50 \times 500 \text{ m}$ . AGWAM

#### Wasserbedarf ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )



Im Kanton Waadt wurden seit 1998 in 8 von 14 Jahren Entnahmestopps verfügt. Solche Massnahmen erhöhen das Einkommensrisiko für die Landwirte.

wurde die regionale Betrachtung mit Modellen zur Betriebssicht verknüpft. Dies erlaubte ganz neue Erkenntnisse zum Potenzial der Klimaanpassung der Landwirtschaft im intensiv genutzten Schweizer Mittelland.

### Wasserknappheit!

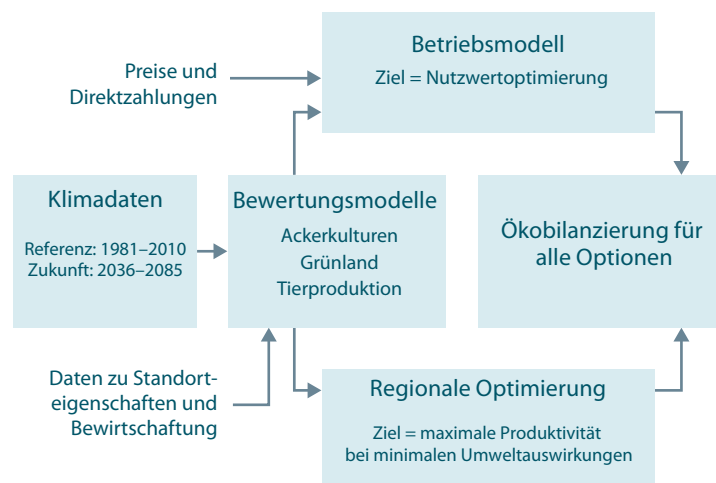
Speziell in den Gebieten des Mittellandes führt der Klimawandel mit grosser Wahrscheinlichkeit zu häufigeren und längeren Trockenperioden. Die Wasserstände in Oberflächen- und Grundwasser sowie die Wasserreserven im Boden sinken auf ein Minimum. Gleichzeitig steigern höhere Temperaturen und vermehrte Sonneneinstrahlung die Verdunstungsrate. Die landwirtschaftlichen Kulturen brauchen mehr Wasser. Damit nimmt der Bedarf für Zusatzbewässerung zu. Dies wurde in den ausgeprägten Trockenjahren – zum Beispiel 2003 – bereits erlebt. AGWAM berechnete das künftige Risiko von Wasserknappheit für verschiedene Einzugsgebiete – Thur (SG/ZH), Emme (BE), Glatt-Töss (ZH), Birs (BE, BS, BL, JU, SO) und Broye-Mentue (VD). Unter der Annahme eines «milden» Klimaszenarios steigt es nur unwesentlich. Mit den «extremen» Sze-

narien steigt das Risiko aber deutlich. Vor allem in trockenen und landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen mit kleineren Fließgewässern könnten sich Perioden mit Wasserknappheit häufen. Ein Beispiel ist das Broyetal (VD). Würden die Bauern hier den Ertrag überall durch Bewässerung maximieren, so stiege die bewässerte Fläche auf ein Mehrfaches dessen, was heute effektiv bewässert wird. Die benötigte Wassermenge erhöhte sich auf das Dreifache.

### Alternativen zum Ausbau der Bewässerung

Ob und wie der Zusatzbedarf an Wasser durch Bewässerung gedeckt werden kann, hängt von der Fläche und der Art der angebauten Kulturen, den technischen Möglichkeiten sowie dem Zugang zu ergiebigen Wasserquellen ab. In trockenen und intensiv genutzten Regionen kann die Nachfrage nach Bewässerungswasser das Wasserangebot leicht übersteigen. Eine Laissez-faire-Politik – unkontrollierter Ausbau der Bewässerung – ist nicht nachhaltig. Deckt man den hohen Wasserbedarf mit Bewässerung, steigt zwar die Produktion, aber die Gewässer werden stark belastet und die Umwelt leidet. Die

Abb. 20: AGWAM untersuchte die Klimaanpassung in der Landwirtschaft mit einem ganzheitlichen Ansatz.





Landwirtschaft braucht damit neue Strategien, um den Einsatz von Wasser zu optimieren und die Abhängigkeit von Zusatzwasser bei Wasserknappheit zu reduzieren. Es braucht objektive Grundlagen und Kriterien zur Verteilung des Wassers.

#### Ein Beispiel: Broyetal (VD)

Die heutige Situation sowie die 2036–2065 zu erwartende Entwicklung wurden in AGWAM detailliert untersucht. Die Ergebnisse wurden mit Resultaten von Untersuchungen in der Region Greifensee (ZH), die feuchter ist, verglichen. Das Wasser im Broyetal (VD) ist dabei im Sommer schon heute oft knapp. Die Fliessgewässer werden stark genutzt. 2010 reichte es bereits einmal nicht mehr, alle Bedürfnisse der Landwirte in der Region zu decken. Die Behörden erliessen Wasserentnahmeverbote.

Die Untersuchungen zeigen, dass die unkontrollierte Bewässerung für eine maximale Produktion unter zunehmender Wasserlimitierung in dieser Region negative Umweltfolgen hat. Der Druck auf die natürlichen Reservoirs wie Flüsse und Seen erhöht sich stetig. Es entstehen neue Konflikte. Bestehende werden verstärkt. Technische Lösungen – neue Bewässerungstechnologien, Bau von Reservoirs oder grösseren Zuleitungen von Seewasser – sind teuer und nicht immer nachhaltig. Sie stehen für die Landwirte allerdings immer noch im Vordergrund. Alternativen werden kaum diskutiert.

#### Was heisst Klimaanpassung?

AGWAM entwickelte ein Modell, mit dem Strategien für die Klimaanpassung überprüft werden können. Klimaanpassung passiert auf der räumlichen Ebene, mit der Anordnung und Art der Landnutzung. Sie passiert aber auch auf der Betriebsebene. Die Betriebe passen sich den Rahmenbedingungen an.

Für die räumliche Ebene verwendete AGWAM ein Ökosystemmodell für Ackerkulturen und Grasland. Es berechnete in einer Auflösung von 500x500 m Ertrag, Erosion, Stickstoffverlust durch Auswaschung und die benötigte Wassermenge. Die Ergebnisse flossen in ein Modell für die regionale Optimierung ein. Dieses gewichtete die Zielgrössen und wählte Bewirtschaftungsmassnahmen aus, die eine optimale Zielerreichung versprachen. Zur Auswahl standen die Art landwirtschaftlicher Kulturen, Düngung, Bodenbearbeitung oder Bewässerung.

Für die Betriebsebene setzte AGWAM ein anderes Modell ein. Es verbindet das Ökosystemmodell mit einem ökonomischen Modell. Durch die Art der Kulturen und die Art der Bewirtschaftung wird die wirtschaftlich optimale Struktur eines Betriebs berechnet. Das Modell erlaubt unterschiedliche Annahmen bezüglich Preisen und Politik (zum Beispiel Direktzahlungen). In einem letzten Schritt wurden einzelne der ausgearbeiteten Ergebnisse der beiden Ebenen mit einer Ökobilanzmethode auf ihre Umweltwirkungen überprüft.

**Links:** Die Produktivität der Landwirtschaft und die Qualität der Produkte können auch ohne masslosen Ausbau der Bewässerung gesichert werden. AGWAM

**Mitte:** Landwirtschaftsbetrieb in der Broye. Landwirte reagieren sensibel auf Preissignale. Foto Felix Luder

**Rechts:** In der Broyeregion wurde auch die Wassertemperatur an mehr als 20 Standorten gemessen. Mit verschiedenen Klimaszenarien wurde festgestellt, dass die Temperatur um 3 Grad steigen wird: zu viel für die Äsche und viele Wasserlebewesen. AGWAM





**Links:** Die Wahl der Ackerkulturen hat einen Einfluss auf den Wasserbedarf. AGWAM

**Mitte:** Kulturen, die viel Wasser benötigen, wie beispielsweise Kartoffeln, sind in Zukunft vor allem in der Nähe von grossen Seen anzubauen, wo es genug Wasser für die Bewässerung hat. AGWAM

**Rechts:** Empfohlen wird, dass Betriebe in trockenen Regionen mehr Winterkulturen wie Raps anbauen. Foto Felix Luder

### Mögliche Entwicklungen im Brojetal (VD)

Für die Diskussion mit Akteuren aus Politik, Planung und Praxis wurden für die räumliche Ebene drei Strategien ausgewählt und durchgerechnet. Sie stellen, aggregiert auf die Region, je eine unterschiedliche Ausrichtung für die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel dar:

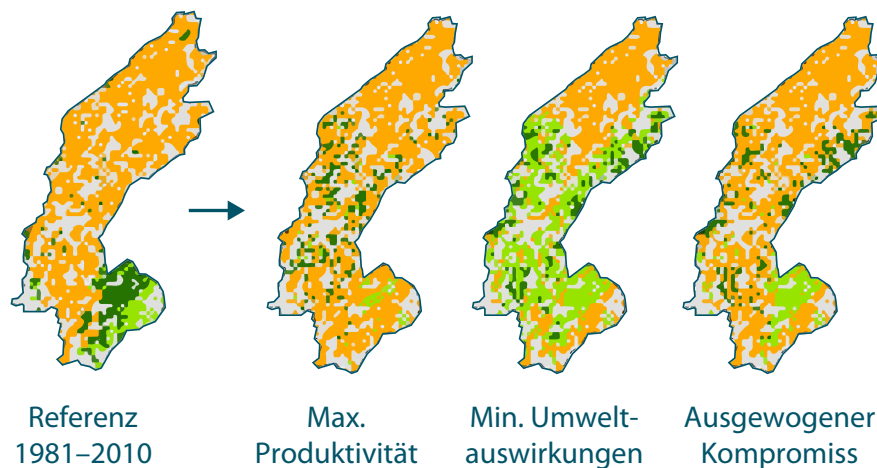
- ▶ «Produktivität»: maximale Produktivität.
- ▶ «Umwelt»: minimale Umweltauswirkungen.
- ▶ «Kompromiss»: ausgewogener Kompromiss.

Die Strategie «Produktivität» ermöglicht es zwar, unter den wärmeren Klimabedingungen höhere Erträge zu erzielen. Allerdings braucht es sehr

viel mehr Wasser für die Bewässerung. Die dazu benötigte Wassermenge übersteigt die verfügbare Menge an Flusswasser in der Broje deutlich. Zudem nehmen bei dieser Strategie Bodenabtrag und Stickstoffauswaschung zu. Dies ist auf die Niederschlagsintensität, mehr Ackerkulturen in höheren Lagen und die verstärkte Mineralisierung im Boden zurückzuführen. Die Umweltkosten dieser Strategie sind insgesamt hoch. Mit der Strategie «Umwelt» sinkt die Produktivität in der Landwirtschaft. Die Landnutzung verschiebt sich zu einem hohen Anteil von Dauergrünland auf Kosten von Ackerkulturen wie Körnermais oder Winterweizen.

**Abb. 21:** Wie sich die Landnutzung in der Broje entwickeln könnte: Referenz (1981–2010), 3 Szenarien für 2035–2065: Produktivität, Umwelt und Kompromiss. AGWAM

■ Keine Landwirtschaft  
■ Weide  
■ Dauergrünland  
■ Ackerland

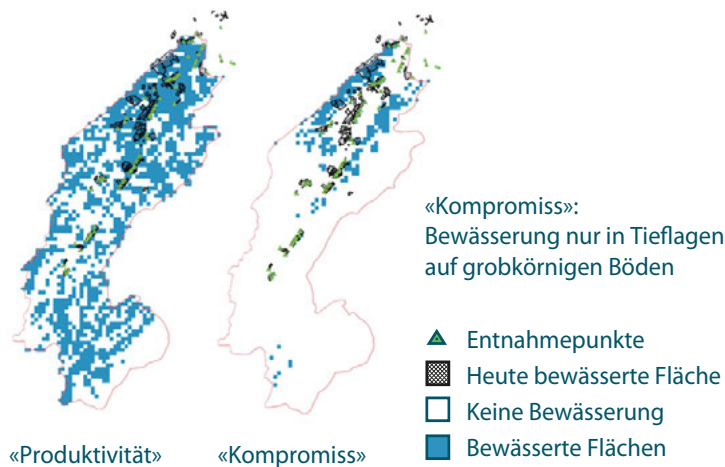




Bei der Strategie «Kompromiss» vergrössern sich die Anteile von Winterkulturen und Dauergrünland. Die Bewässerung muss unter den veränderten Klimabedingungen moderat gesteigert werden. Es ist möglich, leicht höhere Erträge bei fast gleichbleibenden Umweltauswirkungen zu erzielen.

#### Auswirkungen auf den Wasserbedarf

Bei der Strategie «Produktivität» kommt es in Zukunft mit grosser Wahrscheinlichkeit zu markanten Engpässen in der Verfügbarkeit von Wasser aus der Broye (VD) in den Monaten Juni bis August. Die bewässerte Fläche wird sich stark ausdehnen. Im Broyetal (VD) gibt es – im Unterschied zu anderen Regionen – zwar Möglichkeiten, weitere Wasserquellen für die Landwirtschaft zu erschliessen: zum Beispiel Grundwasser oder das Pumpen von Wasser aus dem Neuenburgersee (NE). Solche Lösungen machen auf den ersten Blick Sinn. Sie können aber hohe Investitions- und Unterhaltskosten verursachen, die neben der Landwirtschaft auch die Allgemeinheit zu tragen hat.



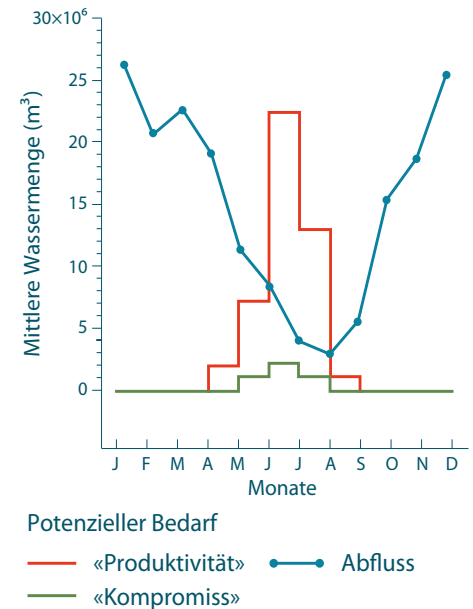
Die Strategie «Kompromiss» empfiehlt sich als Bestvariante. Mit einer ausgewogenen, regionalen Strategie kann die Produktivität mit minimalen Konflikten und begrenzter Zunahme im Wasserverbrauch erhalten werden. Das Wasser aus der Broye genügt. Dazu müssen aber alle am gleichen Strick ziehen.

#### Klimaanpassung aus Sicht der Betriebe

Was ist das rationale Verhalten eines Betriebes, wenn Wasser knapp wird? Welche Faktoren spielen bei der Anpassung an den Klimawandel eine Rolle? Solche Fragen wurden anhand von Modellbetrieben durchgerechnet. Preis- und Politikänderungen wirken sich stärker auf den Betriebserfolg aus als der Klimawandel. Anpassungen in Anbaumix und Management in Richtung der Strategie «Kompromiss» können folglich wirkungsvoll über marktwirtschaftliche Instrumente beeinflusst werden. Regulatorische Eingriffe wirken auf die Preise. Beispiele sind die Einführung jährlicher Wasserkontingente für Landwirtschaftsbetriebe oder die generelle Erhöhung des Wasserpreises.

**Abb. 22 (links):** Auswirkungen der Zukunftsszenarien «Produktivität» und «Kompromiss» (Bewässerung nur in Tieflagen auf grobkörnigen Böden) auf die bewässerte Fläche in der Broye 2035–2065. AGWAM

**Abb. 23 (rechts):** Das Wasser in der Broye wird nur beim Szenarium «Produktivität» knapp. AGWAM



**«In Regionen, die zur Trockenheit neigen und intensiv landwirtschaftlich genutzt sind, sind Wasserquoten eine gute Lösung.»**

Jürg Fuhrer, AGWAM, Agroscope.  
Mehr dazu siehe DVD.

Falls Wasser knapp wird, wären Direktzahlungen ein geeignetes Instrument zur Steuerung des Wasserverbrauchs. Sie sind schon heute an Auflagen gebunden (zum Beispiel Nitratwerte). Der Wasserverbrauch könnte in Zukunft ein weiteres Kriterium werden. Für jeden Betrieb würde eine Quote berechnet. Die Betriebe hätten klare Rahmenbedingungen. Sie wüssten, welche Wassermenge ihnen für die Bewässerung zusteht.

**Was bringen regulatorische Massnahmen?**

Die Klimaanpassung lässt sich ohne Verlust für die Produktivität der Landwirtschaft und negative Umweltauswirkungen umsetzen, falls der Mix stimmt. Regulatorische Massnahmen sind dabei wichtig. Sie schaffen für Landwirte Anreize, das verfügbare Wasser effizient einzusetzen. Die verbrauchte Wassermenge wird dem Bedarf besser angepasst und der Bewässerungszeitpunkt sorgfältiger gewählt.

Der landwirtschaftliche Ertrag würde zwar etwas zurückgehen, der Profit aber nur geringfügig geschmälert. Dies zeigen die Simulationen von AGWAM. Der betriebliche Deckungsbeitrag ist dabei die Differenz aus dem Betriebserlös und den dafür notwendigen variablen Kosten (zum Beispiel für Bewässerung, Saatgut). Leider lassen sich viele Landwirte heute noch nicht überzeugen, dass regulatorische Eingriffe ihren Profit nicht schmälern. Die herrschenden Vorstellungen können nicht so leicht geändert werden. Es braucht Sensibilisierung, Aufklärung, Dialog und Ausbildung.

**Klimaanpassung in trockeneren Regionen**

Für das relativ trockene Broyetal (VD) ist die Strategie «Kompromiss» mit Abstand die beste Lösung. Die Agrarproduktivität bleibt erhalten. Der Bewässerungsbedarf kann aus der Broye gedeckt werden. Bodenabtrag und Stickstoffauswaschung nehmen nicht zu. Es braucht:

- Optimale Technologie mit hoher Bewässerungseffizienz.
- Vermehrten Anbau von Winterkulturen und angepasste Bodenbearbeitung.

- Einführung von Wasserkontingenten zur Vermeidung von Umweltauswirkungen und zum Schutz sensibler Gewässer.
- Änderung im Anbaumix und in der räumlichen Organisation der Landnutzung.

Diese Massnahmen können schrittweise eingeführt werden. Sie sind eine gute Alternative zur gängigen Praxis, den zunehmenden Wasserbedarf durch die Nutzung von Wasser aus Flüssen und Seen mit entsprechend teurer Infrastruktur zu decken. Ohne regulatorische Eingriffe wird der landwirtschaftliche Wasserverbrauch in den kommenden Jahrzehnten stark zunehmen. Negative Umweltauswirkungen und Engpässe bei der Wasserverfügbarkeit wären unvermeidlich.

**Was passiert in feuchteren Gebieten des Mittellandes?**

Ein Beispiel ist die Region Greifensee (ZH). Dort spielt die Bewässerung auch in Zukunft und unter geänderten klimatischen Verhältnissen kaum eine Rolle. Die von AGWAM befragten Landwirte wünschen für ihre Kulturen teilweise sogar deutlich mehr Trockenheit. Wegen der höheren Temperaturen werden die Erträge in Zukunft trotzdem zurückgehen.

Für die Klimaanpassung gibt es hier folgende Möglichkeiten: Sorten wählen, die gegenüber höheren Temperaturen resistenter sind; Änderungen in der Bewirtschaftung und in der Fruchtfolge.

**Es braucht einen Masterplan!**

AGWAM zeigt, dass das landwirtschaftliche System gegenüber klimabedingten Veränderungen recht robust ist. Es gibt gute Alternativen zur Klimaanpassung. In Regionen, in denen sich Sommertrockenheit häuft, braucht es einen an langfristigen Zielen orientierten Ansatz. Es ist wichtig, Akzeptanz zu gewinnen und die Landwirtschaft schrittweise auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten:

- Sofort: direkt umsetzbare Massnahmen, wie Änderungen in der Bodenbearbeitung oder in den Fruchtfolgen.

- Anschliessend: Investitionen in Infrastruktur, verbunden mit regulativen Massnahmen (Wasserpreise, Wasserquoten) und technischen Verbesserungen, kombiniert mit Ausbildung und Sensibilisierungskampagnen.
- Falls die ersten beiden Massnahmen nicht genügen: Veränderungen in der Organisation der Landnutzung.

#### Was braucht es von Politik und Verwaltung?

Bei einem Selbstversorgungsgrad von über 50% und einer wachsenden Bevölkerung in der Schweiz wird der Bedarf an einheimischer Produktion auf begrenzter Landfläche weiter steigen. Politik und Verwaltung müssen die Klimaanpassung in der Landwirtschaft unterstützen.

- Es braucht Regeln für den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft. So bleiben auch unter wärmeren und trockeneren Bedingungen der Druck auf die natürlichen Reservoirs beschränkt und die Produktivität gesichert.
- Die Ausbildung von Landwirten im Bereich Wassernutzung und Bewässerung ist auszubauen.
- Steigerung der Produktionseffizienz ist vorrangig, da auch im Falle der Strategie «Kompromiss» das Treibhausgaspotenzial und die Stickstoffauswaschung hoch bleiben. Die Effizienzsteigerung muss aber mit Restriktionen bei der Wassernutzung kombiniert werden, um einen effektiven Schutz der Wasserressourcen zu gewährleisten.

Die Bewässerung ist auf geeignete Standorte zu beschränken. Dazu braucht es eine Beurteilung durch Fachleute. Der von AGWAM entwickelte Ansatz hilft dabei. Falls Bewässerung nötig ist, ist das Wasser aus grösseren natürlichen oder künstlichen Reservoirs zu verwenden. Entnahmen aus sensiblen Quellen wie kleineren Gewässern oder Grundwasser sollte vermieden oder kontingentiert werden.

Anbaumix und Management können über das Direktzahlungssystem, Kontingentierung oder den Wasserpreis wirksam gesteuert werden, ohne dass es zu grossen Profitverlusten für die

Landwirte kommt. Die Subventionierung von Bewässerungsanlagen ist auf bestmögliche Technologien zu beschränken. Wasserkontingente könnten analog zu Phosphor- und Nitratvorschriften im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) gehandhabt werden.

#### Was bleibt offen?

Problembewusstsein und Akzeptanz für innovative Massnahmen – Regulation, Wasserpreise, Wasserquoten, Direktzahlungen, Wasser als Element im ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) – sind bei den Landwirten im Moment noch klein. Es braucht weitere regionale Studien als Grundlage für einen konstruktiven Dialog.

Es braucht noch bessere Modelle für den Umgang mit Extremsituationen von Trockenheit und Niedrigwasser.

#### Empfehlungen

Investitionen in regionale Studien und Dialogprozesse mit den betroffenen Akteuren aus der Landwirtschaft sind wichtig. AGWAM zeigt das Vorgehen.

In den von Trockenheit betroffenen Regionen braucht es eine politische Agenda (Masterplan), in der Massnahmen zur Klimaanpassung gestaffelt geplant und umgesetzt werden. Das NFP 61 liefert konkrete Vorschläge.

## Flurbewässerung und alpine Kulturlandschaft

**Mit Realteilung und dank Bewässerung und traditioneller Bewirtschaftung sind in den Alpen ökologische und landschaftliche Werte entstanden. Die Suonen im Wallis sind das Rückgrat. Wo sie zerfallen, gehen diese Werte verloren. Doch es gibt Möglichkeiten zur Modernisierung der Wassernutzung. Modernisierung ist der Schlüssel zur Nachhaltigkeit.**

Die Bewässerungslandschaften im Wallis werden derzeit als Kandidatin für das UNESCO-Welterbe gehandelt.

### Traditionelle Flurbewässerung

Im Wallis und in anderen inneralpinen Tälern ist die Bewässerung seit Jahrhunderten zentral für die Berglandwirtschaft. Die Wassertransport- und -verteilsysteme – oft über lange Strecken und in spektakulärer Bauweise – wurden für die Bewässerung von Wiesen, Obst- und Rebbauflächen, Sonderkulturen und Gärten gebaut. Bis ins 20. Jahrhundert dienten sie auch der Versorgung mit Trinkwasser.

Im Wallis stammt das Wasser meist von Gletschern. Es wird über Kanäle – Suonen oder französisch Bisses genannt – zu den Kulturfleichen geleitet. Es gibt im Wallis rund 200 Anlagen, mit einer Länge von rund 2000 km. Die Systeme wurden früher praktisch überall genossenschaftlich

betrieben. Sie garantieren noch heute die Zufuhr von Wasser aus den Bergbächen.

Die Zukunft dieser historisch gewachsenen Systeme ist unsicher. Höhere Temperaturen, vermutlich geringere Niederschlagsmengen im Sommer, der Rückgang der Gletscher und vor allem der Strukturwandel in der Berglandwirtschaft stellen sie vor Herausforderungen. Die traditionelle Hangberieselung wurde schon vielerorts durch Sprinkleranlagen ersetzt. Die Hauptkanäle werden verrohrt. Wo Suonen ganz aufgegeben werden und zerfallen, ist auch die Berglandwirtschaft bedroht. Die Wiederaufnahme der Bewirtschaftung ist praktisch unmöglich. Die ökologischen Werte verschwinden. Die traditionellen genossenschaftlichen Strukturen, ein Teil des Kulturerbes der Suonen, lassen sich ebenfalls nur sehr schwer reaktivieren.

### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Das Forschungsprogramm hat die Zukunft der ökologisch, kulturlandschaftlich und touristisch wertvollen Flurbewässerung in den Alpen mit einem inter- und transdisziplinären Ansatz untersucht. Die Folgen des Klimawandels, die ökologischen Gegebenheiten, aber auch der Strukturwandel in der Landwirtschaft wurden in Fallstudien detailliert untersucht.

Abb. 24: Flurbewässerung in den Alpen – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.







Dem Projekt MONTANAQUA gelang es, den Wasserverbrauch im Gebiet Crans-Montana-Sierre (VS) zu quantifizieren. Die traditionelle Suone spielt dabei weiterhin eine wichtige Rolle. Im Projekt WATERCHANNELS wurden umfangreiche sozialwissenschaftliche Untersuchungen sowie Studien zur Biodiversität der Wiesenbewässerung und des Einflusses der passiven Bewässerung auf den Bergwald durchgeführt. Die Forschenden verglichen verschiedene Formen der Bewässerung. Beide Projekte zeigen Wege, wie die traditionellen Bewässerungssysteme auf die Herausforderungen der Zukunft und des Klimawandels reagieren können. Es ist wichtig, die tra-

ditionellen Strukturen zu öffnen. Der Dialog mit den Akteuren hilft, ein Bild für die Zukunft zu entwerfen.

#### Wie viel Wasser braucht diese Flurbewässerung?

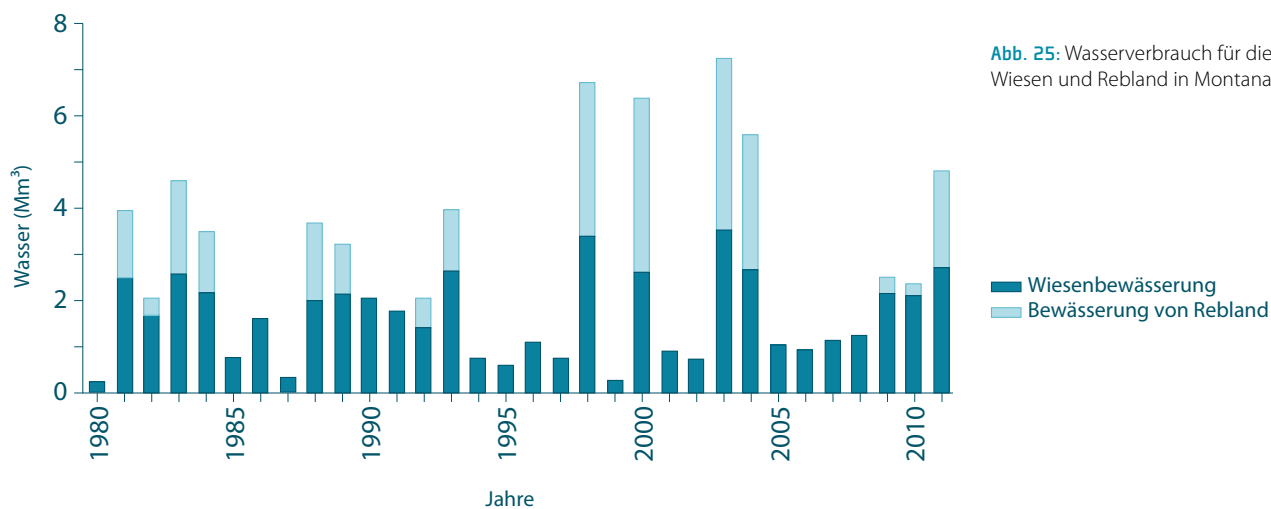
MONTANAQUA berechnete den Wasserverbrauch der verschiedenen Nutzergruppen im Gebiet Crans-Montana-Sierre (VS). Der Hauptzubringer ist eine Suone, die 1490 errichtet wurde. Im Sommer ist die Bewässerung der grösste Wasserverbraucher. Allerdings gibt es erhebliche Schwankungen zwischen den Jahren. Es wird nicht nur Wiesenland, sondern auch Rebland in den unteren Lagen bewässert.

**Links:** Suonen sind Kulturgüter. Sie beeinflussen auch den Wasserhaushalt. Bäume, die unterhalb einer Suone wachsen, haben deutlich breitere Jahrringe.

WATERCHANNELS

**Mitte:** Traditionelle Wiesenbewässerung durch Hangberieselung. WATERCHANNELS

**Rechts:** Die Bewässerung von Rebland spielt eine immer grössere Rolle. MONTANAQUA



**Abb. 25:** Wasserverbrauch für die Bewässerung von Wiesen und Rebland in Montana. MONTANAQUA

**«Die berieselten und bewässerten Wiesen weisen im Durchschnitt eine sehr hohe Artenvielfalt auf. Diese Mehrleistungen für die Artenvielfalt und die landschaftliche Vielfalt sollten abgegolten werden.»**

*Raimund Rodewald, WATERCHANNELS, Stiftung Landschaftsschutz Schweiz. Mehr dazu siehe DVD.*

Wenn die Landwirte die Flächen intensiver nutzen, ändert sich auch die Struktur der Wassernutzung. Die traditionellen Kooperativen sind gefordert, das Wasser gerecht zu verteilen. Im Trockenjahr 2003 gab es über Wochen zu wenig Wasser. Die Traditionen zur Regelung der Wasserverteilung stiessen an Grenzen. Man musste sie neu aushandeln. Viele stellten sich die Frage, wie die Landwirtschaft das Wasser effizienter nutzen kann.

#### **Bäume bilden breitere Jahrringe!**

Trockenheit ist in den Wäldern des Wallis ein grosses Problem. Die Suonen, mit denen das Wasser aus Bergbächen im Hochgebirge hergeleitet wird, spielen deshalb eine nicht zu unterschätzende Rolle für den Wald. Das Wasser versickert passiv durch die Suonen in den Boden. Dieses landwirtschaftliche Verlustwasser nützt dem Wald und bereichert die Waldböden mit Humus und Nährstoffen. Das radiale Wachstum der Bäume (Jahrringe) wird dadurch an trockenen Standorten direkt beeinflusst. Bäume entlang der Suonen haben erheblich breitere Jahrringe als Bäume im umliegenden Wald. Sie haben auch deutlich längere Nadeln und Triebe. Wo die Suonen verrohrt oder abgeleitet werden, bricht das radiale Wachstum der Bäume rasch ein.

Der Wert dieser Wassernutzung für den Wald ist in einem grösseren Zusammenhang zu diskutieren. Wasserknappheit ist einer der wichtigsten Gründe für das Baumsterben im Wallis. Die Veränderungen, die vom Klimawandel auf den Wald ausgehen, sind noch nicht überall verstanden.

#### **Ökologische und landschaftliche Bedeutung**

Bewässerte Wiesen weisen eine hohe Pflanzenartenvielfalt auf. Dies gilt sowohl für die traditionell bewässerten Wiesen als auch für die Wiesen, die mit Sprinkler bewässert werden. Die Sprinkler beziehen das Wasser meist ebenfalls aus den Suonen oder aus Bewässerungskanälen.

Die Umstellung von traditioneller Hangberieselung auf Sprinklerbewässerung hat keinen Einfluss auf die Artenvielfalt auf den Wiesen, sofern im gleichen Umfang und Rhythmus bewässert und die Nutzung nicht intensiviert wird. Hin-

sichtlich Bestandesdichte der Brutvögel unterscheiden sich traditionell oder mit Sprinkler bewässerte Wiesen ebenfalls kaum. Zuweilen erhöht sich der Anteil der Grasarten. Dies wirkt sich langfristig negativ auf die Vielfalt an Schmetterlingen aus.

Es gibt aber einen Bezug zur Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung. In Fallstudien im Unterengadin (GR) und im Vinschgau (I, Südtirol) zeigte sich, dass eine Neubewässerung von jahrzehntelang nicht mehr bewässerten Flächen mit einer Intensivierung der Nutzung – früherer Schnitttermin, Düngung – einherging. Dies wirkte sich negativ auf die Brutvögel aus.

Wo die Bewässerung nicht mehr funktioniert, werden die Wiesen nicht mehr gemäht. Charakteristische Gras- und Blumenarten oder Schnecken verschwinden rasch. Es droht eine Verbrachung. Die Landschaft verliert ihren touristischen Wert. Es entstehen Gefährdungen durch Waldbrand oder Rutschungen.

Der landschaftliche Wert dieser alpinen Bewässerungslandschaften liegt im «Ensemble» von intensiv mit Sprinklern bewässerten Wiesen, traditionell berieselten Flächen und nicht bewässerten Trockenwiesen. Wenn man einen aus ökologischer und touristischer Sicht idealen Zustand erhalten will, ist es wichtig, dass weder Landnutzung noch Bewässerung intensiviert werden. Die kulturellen Zeugnisse der jahrhundertealten Bewässerungssysteme bleiben sichtbar, wo die Wasserkanäle offen geführt werden.

#### **Modernisierung und Wassereffizienz**

Der landwirtschaftliche Strukturwandel und der Klimawandel stellen diese Bewässerungssysteme vor grosse Herausforderungen. Die Flurbewässerung muss effizienter werden. Zum Beispiel ist der herkömmliche und heute noch weit verbreitete, auf Wasserstunden und dem Rotationsbetrieb basierende «Kehr» zwar sozial gut verankert. Er ist aber starr, indem er die Bewässerung unabhängig von der Klima- und der jeweiligen Wettersituation regelt.

Der Wasserverbrauch ist ein weiterer Aspekt. Er ist bei der traditionellen Flurbewässerung (Hang-



berieselung) bis zu dreimal höher als bei Sprinkleranlagen. Mit Sprinklern können die offenen Suonen mit weniger Wasser beschickt werden. Dies schont die Bauwerke und reduziert Kosten. Es ist nicht nötig, zu verrohren oder den Kanal abzudichten.

Wassereffizienz ist auch mit dem traditionellen «Kehr» möglich. Historisch lässt sich nachweisen, dass in Extremsituationen, in denen Ernten gefährdet waren, der «Kehr» auch früher zuweilen als zu streng angesehen wurde. Eine starre Übernahme der herkömmlichen Wasserstunden macht bei der Installation von Sprinklersystemen keinen Sinn, weil diese einen erheblich geringeren Wasserverlust aufweisen als die Hangberieselung. Es werden Wasserstunden frei. Man kann prüfen, wie Bewirtschafter in Trockenperioden unbürokratisch um Zusatzwassermengen ersuchen können.

#### Welche Struktur steigert die Nachhaltigkeit?

Die traditionellen Suonen-Genossenschaften sind nicht mehr überall Garant für die Nachhaltigkeit dieser Wassernutzung. Sie müssen sich erneuern und sich gegenüber den neuen Bedürfnissen von Tourismus, Natur-, Landschafts- und Heimatschutz öffnen. Zudem gibt es das Problem, dass die Inhaber der Wasserrechte das Wasser nicht mehr selber nutzen und die Rechte an Pächter verleihen. Dies gefährdet das Gemeinwerk. Die Wasserrechtsinhaber verlieren das Interesse, und die Pächter gehören

nicht zur Genossenschaft (Geteilschaft), die sich am gemeinsamen Unterhalt (Gemeinwerk) zu beteiligen hat.

Im Wallis gibt es heute schon unterschiedliche Organisationsformen der Bewässerung und zum Unterhalt der Suonen. Jede hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Vielerorts braucht es einen Dialog zur Frage der Modernisierung der traditionell gewachsenen Strukturen. Dabei ist es wichtig, diejenigen Akteure zu beteiligen, die ein direktes Interesse an der Erhaltung und der Nutzung der Systeme haben. Wichtig ist auch das Vorhandensein von Know-how-Trägern. Nutzniesser dieser Bewässerungssysteme müssen sich an den Kosten und Unterhaltsarbeiten beteiligen.

Wo es starke Genossenschaften gibt, macht es Sinn, diese zu fördern. Wo sich die Interessen der Mitglieder der Trägerschaften ändern, steigt auch die Bereitschaft, Strukturreformen zu diskutieren. Die Anerkennung oder gar Entschädigung der gemeinwirtschaftlichen Ökosystemleistungen, die diese traditionelle Flurbewässerung erbringt, kann die Motivation der Akteure fördern, den Aufwand weiterhin zu leisten.

#### Instrumente aus der Landwirtschaft

Die Nachhaltigkeit der Wassernutzung und die ökologische und landschaftliche Vielfalt können mit Direktzahlungen – zum Beispiel Landschaftsqualitätsbeiträgen – gefördert werden. Bewirtschafter und Landwirtschaftsämter schliessen

**Links:** Sprinklerbewässerung mindert den ökologischen Wert der Flächen nicht. [WATERCHANNELS](#)

**Mitte:** Der landschaftliche Wert entsteht aus dem Nebeneinander von verschiedenen Nutzungen. [WATERCHANNELS](#)

**Rechts:** Wo neben der Bewässerung auch die landwirtschaftliche Nutzung intensiviert wird, geht die ökologische Vielfalt verloren (Unterengadin). Foto Roman Graf

**«Man kann diese Landschaft mit den Wasserkanälen nicht tausend Jahre pflegen und plötzlich sagen: Jetzt schaut ihr selber.»**

*Orlando Schmid,  
Landwirt in Ausserberg  
Mehr dazu siehe DVD.*

Verträge ab. Diese regeln bereits viele Details der Nutzung. Es wäre naheliegend, in diesen Verträgen auch die Bewässerung zu regeln. Da diese Verträge zeitlich auf acht Jahre befristet sind, sollten sie an einen den ganzen Bewässerungsperimeter umfassenden Rahmenvertrag gebunden werden.

Ökologische Ausgleichszahlungen sind ein weiteres Instrument. Sie können mit der neuen Landwirtschaftsreform realisiert werden. Sie könnten helfen, eine extensive Bewirtschaftung und Bewässerung sicherzustellen. Für die traditionelle Bewässerung könnte ein höherer Betrag vergütet werden, da sie – wie WATERCHANNELS beweist – ökologische und landschaftliche Werte schafft.

Die Meliorationsprojekte in Rohrberg (VS) und in Lalden (VS) könnten zu Modellen für eine neue Praxis werden. Es wird beabsichtigt, die Wasserverteilung – das heisst: die zu berieselnden, zu beregnenden und die nicht zu bewässernden Flächen – im Meliorationsbeschluss für 20 Jahre parzellenscharf festzulegen. Die Meliorationswerke sind heute noch nicht in Kraft, da Konflikte unter den Beteiligten zu klären sind.

**Was bleibt offen?**

Die Wassernutzungseffizienz ist noch nicht hinreichend quantifiziert. Wo liegt der minimale Bewässerungsbedarf? Wie gross ist der Wasserverlust in den Kanälen? Mit welchen Engpässen ist in Zukunft zu rechnen?

Es braucht mehr Langzeitbeobachtungen, um die Prozesse und die ökologischen Wirkungen dieser Bewässerungssysteme zu quantifizieren.

**Empfehlungen**

Es ist wichtig, die Erfahrungen von erfolgreichen Projekten zur nachhaltigen Sicherung und Modernisierung dieser Bewässerungssysteme zu dokumentieren. Sie sind reichhaltig und vielfältig. Die Forschung zeigt, dass diese Systeme für Natur und Landschaft wichtig sind. Bund und Kantone müssen deshalb dafür sorgen, dass Mehrleistungen zum Erhalt der strukturreichen Bewässerungslandschaften und des Kulturgutes Suonen im Rahmen der neuen Landwirtschaftspolitik abgegolten werden.

Tab. 6: Vor- und Nachteile verschiedener Bewirtschaftungsmodelle. WATERCHANNELS

Modell	Fördernd	Hindernisse
Traditionell	Direkter Bezug der Nutzer zum Wasser und zur Anlage (Nutzen, Schaden) Verantwortung Fachwissen Eingespielte Mechanismen der Konfliktlösung	Hoher Arbeitsaufwand für Landwirte im Nebenerwerb Einbezug von anderen Nutzungen (z.B. Tourismus) schwierig Finanzierung oft ein Problem
Diversifiziert, mit unterschiedlichen Akteuren	Verschiedene Interessierte machen mit Breite Abstützung in der Gesellschaft	Hoher Koordinationsaufwand Wenig Erfahrung im Umgang mit Konflikten Landwirte fühlen sich übergangen
Öffentliche Trägerschaft (Gemeinde)	Gesamtansicht über unterschiedliche Interessen Einheitliche Organisation Direkter Bezug zu öffentlicher Finanzierung	Zusatzkosten für die Gemeinden Wassernutzer delegieren die Verantwortung an eine dritte Stelle



## Gebiete unter Siedlungs- und Nutzungsdruck

**In Städten und Agglomerationen beeinflussen Nutzungen und Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft den Wasserhaushalt und den Zustand der Gewässer erheblich. Vielerorts müssen Investitionsentscheide gefällt werden, die sich auf den Handlungsspielraum künftiger Generationen auswirken. Dafür braucht es gute Grundlagen. Der Anstieg der Wassertemperaturen ist ein Stressfaktor für die Qualität der ohnehin stark unter Druck stehenden Gewässer.**

### Rasante Entwicklung

Siedlungen und Agglomerationen wachsen rasant. Durchschnittlich hat die Siedlungsfläche in der Schweiz in den letzten 12 Jahren um rund 5,8 Hektaren (über 8 Fussballfelder) pro Tag zugenommen. In allen Siedlungen wird die Bevölkerung mit Wasser in bester Qualität versorgt. Anlagen der Abwasserentsorgung garantieren die hygienisch sichere und umweltfreundliche Beseitigung und Behandlung des Abwassers. In der Schweiz gibt es mittlerweile rund 49 000 km öffentliche Wasserleitungen und 47 000 km öffentliche Kanalisation. Dazu kommt schätzungs-

weise nochmals die gleiche Länge privater Leitungen. Der Wiederbeschaffungswert unserer Wasserinfrastrukturen wird auf 220 Milliarden Franken geschätzt.

Die Leitungen haben eine hohe Lebensdauer. Fachleute rechnen mit einem Durchschnittsalter von 80 Jahren. Sie sind vielerorts erneuerungsbedürftig. Es müssen heute Entscheide gefällt werden, die sich über Jahrzehnte und auf künftige Generationen auswirken. Die Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Rahmenbedingungen sind gross, insbesondere in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck. Vorhersagen zu Bevölkerung, Wirtschaft oder Technologie bis 2050 oder gar 2100 sind unmöglich. Der Klimawandel ist ein weiterer Faktor.

Der Gewässerschutz steht in diesen Gebieten vor ähnlichen Problemen. Regenabwasser aus Siedlungen, Entlastungen aus Kanalisationen und behandelte Abwässer belasten die Gewässer. Wenn keine Gegenmassnahmen getroffen werden, erhöht sich mit der Intensivierung der Landnutzung der Eintrag von Feinsediment (Erosion) und Stoffen, zum Beispiel aus Düngung und Pflanzenschutz. Wie sind Arten, Populationen und Gemeinschaften von aquatischen Ökosystemen durch diese Veränderungen betroffen? Welche Probleme schafft der Klimawandel?

Daten zur Siedlungsentwicklung stammen vom Bundesamt für Statistik (Arealstatistik, Umweltstatistik).

Die Schweiz rechnet in den nächsten 40 Jahren mit einem Investitionsbedarf von 176 Milliarden Franken in Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft. Rund 46% der Kosten müssen von der öffentlichen Hand übernommen werden.

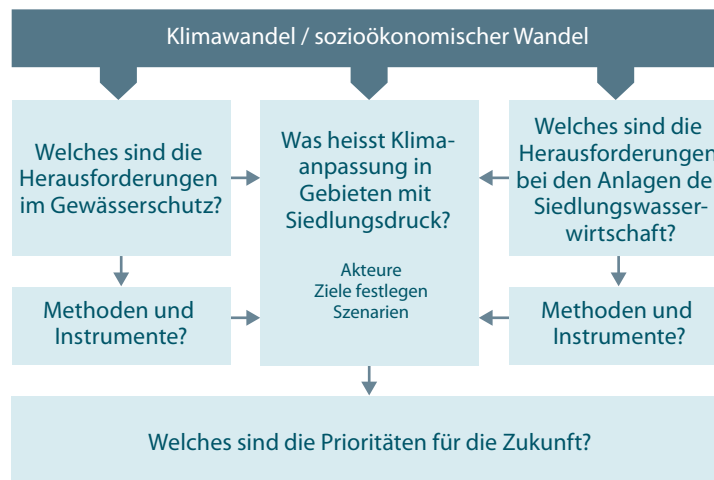


Abb. 26: Gebiete unter Siedlungs- und Nutzungsdruck – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.

**«Wir haben nun Zerfallsmodelle für Trinkwasserleitungen und Kanalisationen. Das Spezielle daran ist, dass man sie auch in kleinen Gemeinden, die wenig Daten haben, anwenden kann.»**

*Max Maurer, SWIP, Eawag.  
Mehr dazu siehe DVD.*

Behörden, Ingenieure und Ökologen brauchen Planungsinstrumente, die mit diesen Unsicherheiten umgehen können. In generellen Entwässerungsplanungen (GEP) und generellen Wasserversorgungsplanungen (GWP) werden künftige Entwicklungen und Unsicherheiten nicht systematisch berücksichtigt. Sie basieren heute meist auf einer Projektion des Istzustandes in die Zukunft. Es gibt noch wenig Zusammenarbeit aller Beteiligten und Betroffenen.

#### **Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?**

Die Forschenden analysierten die Probleme der nachhaltigen Wassernutzung in Gebieten mit hohem Siedlungs- und Nutzungsdruck und entwickelten Methoden und Instrumente. Diese haben das Potenzial, die Siedlungswasserwirtschaft und den Gewässerschutz in Agglomerationsräumen in Zukunft zu stärken. Der Forschungsschwerpunkt lag im Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH).

Das Projekt SWIP beschäftigte sich mit Methoden zur langfristigen Planung nachhaltiger Wasserinfrastruktur. Trinkwasserversorgungs- und Entwässerungssysteme standen im Vordergrund. Die im Projekt entwickelten Ansätze wurden in einer Fallstudie getestet. Die Methodik ist robust, aber es braucht noch weitere Erfahrung mit Anwendungen. Das Projekt IWAQA analysierte, mit welchen neuen Risiken im Gewässerschutz zu rechnen und wie der ökologische Zustand der Gewässer zu bewerten ist. Die entwickelten Methoden werden bereits in verschiedenen Kantonen angewendet.

In beiden Projekten arbeiteten Forschende aus den Bereichen Ingenieur-, Natur- und Sozialwissenschaften eng zusammen. Die Teams zeigten, wie Trade-offs erfasst, negative Auswirkungen auf die Umwelt minimiert und Wasserinfrastrukturen in Zukunft zu planen sind. Die Projekte entwickelten auch Wege zum Umgang mit Beschränkungen in den Daten und mit Unsicherheiten bezüglich künftiger Entwicklungen. Ein weiterer Schwerpunkt war die Förderung der Akzeptanz von Entscheidungsprozessen.

#### **Fragmentierung von Rollen und Zuständigkeiten**

SWIP führte eine Akteurs- und soziale Netzwerkanalyse durch. Es zeigte sich, dass im Bereich Siedlungswasserwirtschaft die Rollen und Zuständigkeiten stark fragmentiert sind. Im Gebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH) wurden 41 Akteure identifiziert, die bei der Planung der Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsinfrastrukturen beteiligt oder von Entscheiden betroffen sind.

Es zeigte sich, dass selbst in dicht besiedelten Gebieten die Zuständigen für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung selten miteinander zu tun haben, insbesondere wenn das Gebiet auf mehrere Gemeinden aufgeteilt ist. Es gibt auch wenig Austausch zwischen den lokalen, kantonalen und nationalen Akteuren.

Diese Fragmentierung von Rollen und Zuständigkeiten ist ein Hindernis für die strategische Planung der Wasserinfrastruktur. Diese wäre in Gebieten, in denen der Siedlungs- und Nutzungsdruck wächst, wichtig.

Es braucht gemeinsame Visionen sowie eine Harmonisierung der Ziele. SWIP zeigt, dass im Gebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH) das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich schon jetzt eine integrierende Rolle hat. Es hat das grösste Potenzial, zwischen den Akteuren zu koordinieren. Auf lokaler Ebene spielen die Gemeinden eine wichtige, integrierende Rolle.

#### **Zusammenarbeit und Harmonisierung gefragt**

Heute richtet sich jeder Akteur bei der Planung seiner Infrastrukturanlagen nach seinen spezifischen, zuweilen auch kurzfristigen Zielen. Von Trinkwasserversorgungen wird erwartet, dass sie jederzeit genügend Wasser in bester Qualität für Haushalt, Gartenbewässerung oder Löschdienste produzieren. Der Abwassersektor orientiert sich am Ziel, Abwasser und Wasser aus Niederschlag zu entsorgen. Es gibt keine gemeinsame Planung.

Diese Art zu planen stösst in einigen Gebieten mit hohem Siedlungs- und Nutzungsdruck an Grenzen. SWIP entwickelte und testete deshalb neue Instrumente. Der Planungsansatz erlaubt



eine proaktivere Planung der Wasserversorgungen und Abwasserentsorgungen. Er ermöglicht die Partizipation aller Betroffenen und Beteiligten. Die Akteure aus den Gemeinden, aber auch kantonale und nationale Fachleute, die im Projekt mitmachen, einigten sich auf gemeinsame Ziele. Diese wurden messbar gemacht.

### Szenarien statt Prognosen

Ein erster Problemkreis sind die Vorhersagen. Exakte Prognosen zur Zukunft sind in der Siedlungswasserwirtschaft wegen der vielen Unsicherheiten schwierig. Dies gilt besonders für Gebiete mit hohem Siedlungs- und Nutzungsdruck. Für die Zukunft braucht es einen neuen Ansatz, ein Denken in Szenarien. SWIP entwickelte zusammen mit Fachleuten drei Zukunftsszenarien für das Jahr 2050. Es ging um Variablen wie Klimawandel, Gesellschaft, Wirtschaft und Technologie der Siedlungswasserwirtschaft. Die drei Szenarien sind:

- «Boom»: Gesellschaft und Wirtschaft florieren; die Bevölkerungszahlen wachsen ungebremst; der Trinkwasserbedarf nimmt zu, während Industrie und Landwirtschaft an Bedeutung verlieren.
- «Doom»: Die Schweiz ist wirtschaftlich angeschlagen; die Bevölkerungszahlen sinken leicht; der Wasserverbrauch sinkt; es gibt weniger Geld zur Finanzierung der Infrastrukturen.
- «Qualitatives Wachstum»: Die Schweiz bleibt wettbewerbsfähig; qualitatives Wachstum

steht im Vordergrund; das Bevölkerungswachstum ist mässig; die Standards im Umweltschutz sind hoch.

Am Szenarioworkshop nahmen Vertreter von vier Gemeinden teil. Er bereite den Beteiligten Spass und bot Freiraum für kreatives Denken. Er erwies sich als wichtig, um in der Region die Akteure für SWIP zu gewinnen und einen Prozess gemeinsamen Planens zu lancieren. Die Fachleute rechneten auch mit einem Szenario «Status quo». Sie schätzten die Gelegenheit, auch über unkonventionelle Vorschläge nachzudenken.

### Ein Beispiel: Mönchaltorfer Aa (ZH)

Die Forschenden übersetzten die Szenarien in Landnutzungskarten über das Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH). Diese Karten waren eine wichtige Grundlage, um die Veränderungen, die sich für Wasserhaushalt, Siedlungswasserwirtschaft und den Gewässerschutz ergeben könnten, zu verstehen und zu quantifizieren.

Die Szenarien zeigen die Bandbreite möglicher Entwicklungen bis 2050. Beim Szenario «Boom» wächst die Bevölkerungszahl von heute 24 200 auf 200 000. Das Szenario «Qualitatives Wachstum» rechnet mit einer Bevölkerungszahl von lediglich 29 000. Dies sind Bilder möglicher Entwicklungen. Niemand hat die Weitsicht zu bestimmen, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie eintreten. Die Szenarien sind aber eine gute Grundlage für die Planung. Sie helfen, die

**Links:** Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH). In stadtnahen Einzugsgebieten ist der Wasserhaushalt vom Menschen geprägt. Der Nutzungsdruck spielt eine grössere Rolle als der Klimawandel. IWAQA

**Mitte:** Pro Einwohner müssen 20 Meter Leitungen unterhalten werden. Eine grosse Investition. SWIP

**Rechts:** In der Siedlungswasserwirtschaft gibt es viele Akteure und Zuständigkeiten. Im Projekt SWIP wurden mit ihnen Workshops durchgeführt, um Zukunftsszenarien zu erarbeiten und verschiedene Ziele zu integrieren.

Foto Max Maurer

**Die NFP 61-Projekte forschten im Gebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH). Hier ist der Siedlungs- und Nutzungsdruck gross.**

Robustheit von Handlungsoptionen gegenüber möglichen Entwicklungen zu prüfen.

#### Klimawandel und Siedlungsentwässerung

Neben der sozioökonomischen Entwicklung ist der Klimawandel ein weiterer Unsicherheitsfaktor. Das Kanalnetz der Siedlungsentwässerung ist darauf ausgerichtet, extreme Niederschlagsereignisse von wenigen Minuten aufzunehmen. Die Häufigkeit solcher Ereignisse bildet die Grundlage für die Planung. Mit dem Klimawandel könnten sich Starkregenereignisse verstärken und in Zukunft vermehrt auftreten. Dies könnte zu häufigeren Überlastungen der Systeme führen. Abwasser tritt aus Schächten in Strassen oder in Kellern aus. Es ist auch damit zu rechnen, dass vermehrt ungeklärtes Abwasser zur Entlastung der Kanalisation in Flüsse oder Seen eingeleitet wird.

In nordischen Ländern hat man bei den für die Kanalisation relevanten Regenereignissen ein deutliches Klimasignal identifiziert. SWIP untersuchte diesen Aspekt für die Fallstudienregion im Kanton Zürich. Es zeigte sich, dass die Variabi-

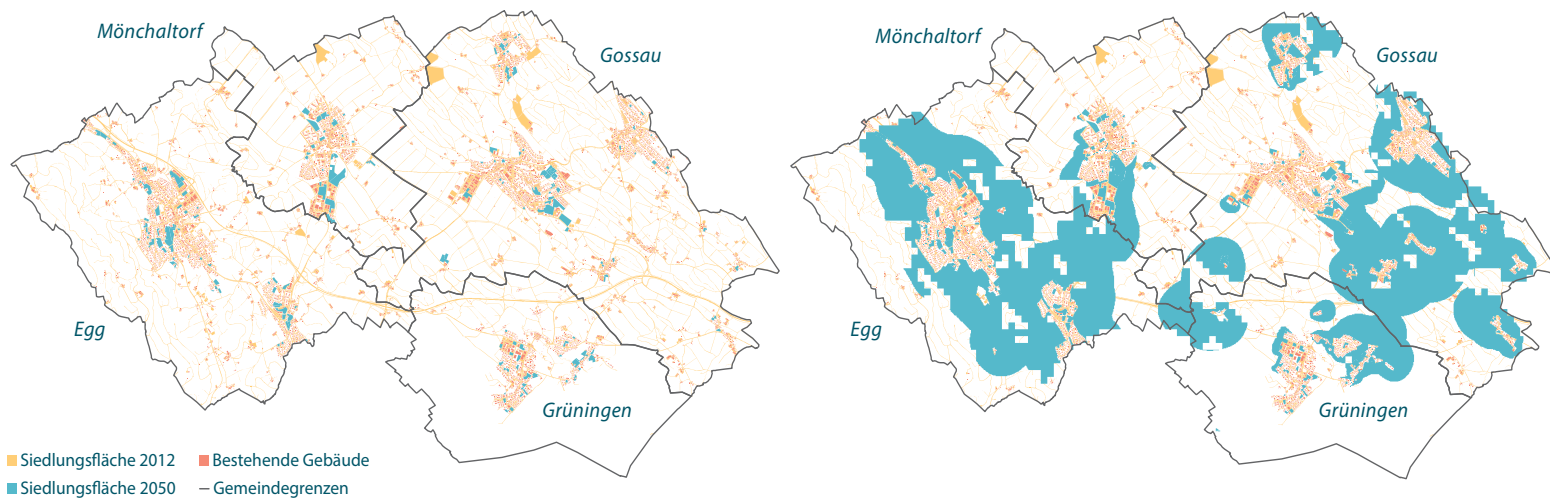
heutigen Klima extrem gross ist. Vor diesem Hintergrund ist der Einfluss des Klimawandels nicht signifikant. Ob das auch für andere Regionen der Schweiz gilt, wird in einem Folgeprojekt untersucht.

Für die heutige Planung legt SWIP den Schluss nahe, dass die Unsicherheiten bezüglich sozioökonomischer Entwicklung erheblich relevanter sind als mögliche Folgen des Klimawandels. Diese Einschätzung basiert auf Berechnungen mit 10 unterschiedlichen regionalen Klimamodellen. Diese stellen das aktuell beste, aber auch sehr beschränkte Wissen über die Klimaeffekte dar. Es kann durchaus sein, dass neue Erkenntnisse aus der Klimaforschung diese Einschätzungen relativieren werden.

#### Optimale Wahl des Sanierungszeitpunktes

Wichtig für die Planung der Infrastrukturen ist nicht nur die Anpassung an den Klimawandel, sondern auch die längerfristige Sanierungsplanung der Wasserleitungen und Kanalnetze. Hier sind zuverlässige Prognosen über den physischen Zustand der Anlagen erforderlich. International sind Modelle für Zustandsprognosen zwar

**Abb. 27:** Je nach Szenario entwickeln sich die Rahmenbedingungen für die Infrastrukturplanung im Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa bis 2050 sehr unterschiedlich: «Qualitatives Wachstum» (links) oder «Boom» (rechts).





verfügbar. Sie sind aber für die typisch schweizerischen Gegebenheiten zumeist unbrauchbar. In der Schweiz fehlen häufig die Daten für den Betrieb der Modelle.

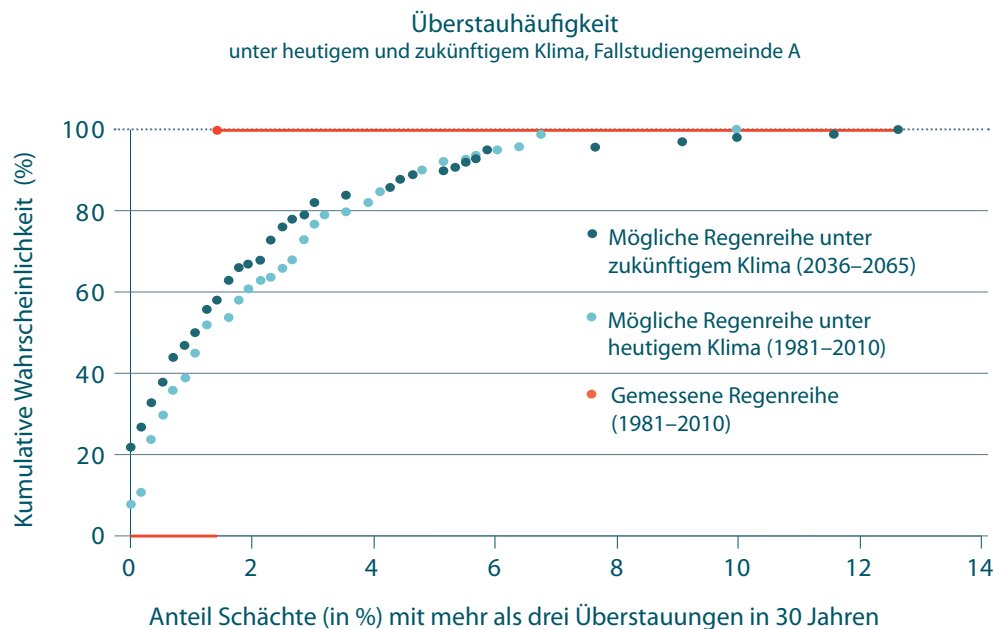
Insbesondere ist es wichtig, das Altern und den Zerfall der Leitungen voraussagen zu können. SWIP gelang es, hier neue Modelle zu entwickeln. Diese erlauben bessere Prognosen und Simulationen über den Zustand, Zerfall und somit die Leistung von Leitungen und Kanälen. Die Modelle können mit unvollständigen Datensätzen betrieben werden. Dies ist insbesondere in kleineren Gemeinden – ein Grossteil der Schweizer Gemeinden – hilfreich. Zustands- und Schadensdaten werden in solchen Gemeinden nicht oder erst seit wenigen Jahren erhoben. Der in SWIP entwickelte Ansatz erlaubt es, Expertenschätzungen oder Daten von anderen Leitungssystemen in die Modelle miteinzubeziehen. Dies erlaubt zuverlässigere Vorhersagen.

### Bewertung der Handlungsoptionen

SWIP entwickelte Handlungsoptionen für die nachhaltige Wasserinfrastruktur. Diese wurden in einem Workshop zusammen mit den Akteuren entwickelt und mit der Methode Multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA) bewertet. Die Methode erlaubt, alle verfügbaren Daten und Informationen zusammenzufassen. Sie zieht auch die subjektiven Präferenzen der verschiedenen Akteure mit ein.

Die Akteure einigten sich auf ein Zielsystem. Dieses enthält nebst Kosten-, Qualitäts- und Umweltschutzziele auch Nachhaltigkeitsziele wie Generationengerechtigkeit oder soziale Akzeptanz. Alle Ziele wurden mithilfe von Indikatoren und Attributen messbar gemacht. So konnten die Forschenden messen, wie gut Optionen die jeweiligen Teilziele erfüllen. Im Rahmen der MCDA wurden auch Interviews mit den Akteuren durchgeführt. Es wurde beispielsweise

**Die Versiegelung der Böden nimmt zu. Von Asphaltflächen gelangen 80% des Regens ungehindert in Kanalisationen. Die Spitzen belasten das Kanalisationsnetz und die Kläranlagen.**



**Abb. 28:** Simulierte Überstauhäufigkeit der Kanalisation bei heutigen und zukünftigen Regenereignissen in einem Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa. Zwischen den beiden Kurven ist kein signifikanter Einfluss des Klimawandels auf die Leistung der Kanalisation zu erkennen. Die Abbildung zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Anteil der Schächte mehr als dreimal und damit häufiger als zulässig überstaut wird. So besteht im Einzugsgebiet eine Wahrscheinlichkeit von ca. 90%, dass höchstens 5% der Schächte mehr als zulässig überstaut werden.

**«Wir haben gesehen, dass die Entscheidungsanalyse eine grosse Hilfe ist. Es ist wichtig, die Präferenzen und Meinungen der Akteure zusammen mit den objektiven Daten einzubeziehen.»**

*Judit Lienert, SWIP, Eawag.*

*Mehr dazu siehe DVD.*

gefragt, wie hoch die Erreichung eines Ziels im Vergleich zu einem anderen zu gewichten sei.

#### Hitparade der Lösungen

Für das Gebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH) wurden 11 Alternativen für die Wasserversorgung mit verschiedenen Organisationsformen, Managementstrategien und technischen Eigenschaften entwickelt und beurteilt. Eine zweite Studie widmete sich Optionen für Entwässerungssysteme. Der verbreitete Ansatz, zu warten, bis die Leitungen defekt sind, und sie dann zu reparieren, erscheint oft als die günstigste Lösung. Sie ist aber gemäss den Ergebnissen von SWIP nicht unbedingt die nachhaltigste. Proaktive Sanierungsstrategien sind in der Regel der billigsten Lösung vorzuziehen, weil damit verschiedene, den Akteuren wichtige Ziele besser erreicht werden. Tiefe Kosten sind zum Beispiel für die meisten Akteure im Fallstudiengebiet Mönchaltorfer Aa (ZH) nicht unbedingt das oberste Ziel. Die gute Versorgung mit Wasser, die sichere Entsorgung von Abwasser, der Umweltschutz und die Generationengerechtigkeit sind ihnen deutlich wichtiger.

Anwendungen der bei SWIP entwickelten Methoden auf den Bereich Abwasser zeigten, dass dezentrale Lösungen auf die Länge auch nachhaltiger sein können als zentrale Lösungen. Solche Ergebnisse sind sehr fallspezifisch. Die Ergebnisse von SWIP gelten für das Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH). Sie werfen Fragen auf, die in der Planung zu berücksichtigen sind. Sie können aber selten direkt umgesetzt werden. Andere Faktoren – Ergebnisse von Aushandlungen, Zusammenarbeit mit dem Tiefbauamt bei Leitungssanierungen – sind ebenfalls wichtig.

#### Chemische Belastung der Gewässer

Die Landschaften der Schweiz sind topografisch stark strukturiert und bestimmt durch vielfältige Nutzungen. Die Gewässerqualität wird durch eine Vielzahl von Eintragspfaden und Stoffen beeinträchtigt. Die Erfassung dieser Pfade ist besonders in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck eine grosse Herausforderung.

Gewässerbelastungen stammen aus diffusen Einträgen und Punktquellen (zum Beispiel ARAs). Bei den diffusen Stoffeinträgen dominieren Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle. Die aquatischen Ökosysteme reagieren empfindlich auf solche Belastungen. Messungen zeigen, dass die Belastungen vor allem in den Sommermonaten Juni und Juli sehr hoch sind und oft die Grenzwerte überschreiten. Hohe Belastungen können insbesondere in kleineren Bächen auftreten.

Das Projekt IWAQA trug dieser Komplexität Rechnung. Es erlaubte eine ganzheitliche Betrachtung der Wasserqualität. Verschiedene Modelle wurden miteinander kombiniert, um zu verstehen, wie erwartete Landnutzungsänderungen oder der Klimawandel sich auf die Wasserqualität und den ökologischen Zustand von Fließgewässern auswirken werden.

#### Mit welchen Veränderungen ist zu rechnen?

Der Klimawandel allein dürfte sich im Zeithorizont bis 2050 nur wenig auf die chemische Wasserqualität auswirken. Ausnahmen bilden einerseits die erhöhte Nitratauswaschung und die mögliche Zunahme der Erosion. Beide könnten durch vermehrte Winterniederschläge verursacht werden. Andererseits werden die Wassertemperaturen über die nächsten Jahrzehnte mit ziemlicher Sicherheit um mehrere Grad zunehmen. Uferbestockung, Beschattung und Wasserentnahmen können Temperaturschwankungen in den Gewässern beeinflussen.

Veränderungen einzelner Stressoren können zum Aussterben von Arten führen. Hier sind die Prognosen sicherer. Die klimabedingte Erhöhung der Wassertemperatur legt zum Beispiel nahe, dass sich die Bachforelle aus zahlreichen Gewässern im Schweizer Mittelland zurückziehen wird. Daneben ist es im Wesentlichen die Landnutzung, die über die zukünftige Wasserqualität bestimmen wird. Dies hat IWAQA trotz aller Unsicherheiten bei den Prognosen zeigen können.

Die Bekämpfung diffuser Stoffeinträge muss ein breites Spektrum von Massnahmen umfassen.



Sie reichen von Reduktionen der Belastung an der Quelle – zum Beispiel Verzicht auf Biozide in Fassadenanstrichen – bis zur Vermeidung von Abschwemmungen – beispielsweise durch bessere Versickerung des Wassers auf landwirtschaftlich genutzten Böden.

#### Stress für den ökologischen Zustand der Gewässer

Prognosen sind schwierig, da Änderungen im ökologischen Zustand von Gewässern meist nicht einfach eine direkte Folge von Änderungen einzelner Rahmenbedingungen – zum Beispiel Temperatur, Stoffeinträge – sind. Die Qualität des Wassers kann allerdings ein wichtiger Faktor sein. Verschiedene Stressoren – neue Pestizide, Temperaturanstieg – wirken parallel auf die Gewässer und die aquatischen Ökosysteme. Jede Art hat ihre spezifische Empfindlichkeit gegenüber jedem Stressor. Genetische Anpassungsprozesse können in den Zeiträumen, die im NFP 61 untersucht wurden (2050, 2085), eine Rolle spielen. Die Stoffkonzentrationen liegen heute und in Zukunft – ausser bei Unfällen – in einem Bereich, in dem keine akuten, tödlichen Effekte bei Organismen auftreten. Es gibt aber auch klare Hinweise, dass sich ein guter ökologischer Zustand der Gewässer nicht ohne Investitionen in die Verbesserung der chemischen Wasserqualität erreichen lässt.

#### Integriertes Management der Gewässerqualität

Die Steuerung der Landnutzung und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und die damit verbundene Infrastruktur – zum Beispiel ARAs im Siedlungsbereich – sind auch weiterhin der zentrale Hebel für das Management der Wasserqualität in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck. Massnahmen, die heute zu einer guten Wasserqualität führen, werden ihren Zweck auch in Zukunft behalten. Je nach Bevölkerungswachstum, Siedlungsdruck und Klimaerwärmung können aber einzelne Massnahmen wichtiger werden als heute. Ein Beispiel ist die Uferbeschattung durch Gehölze.

Eine nachhaltige Wassernutzung und Gewässerbewirtschaftung muss eine erhebliche Anzahl gesellschaftlich legitimer Ansprüche gleichzeitig berücksichtigen. Für den Dialog über Massnahmen zum Gewässerschutz ist es wichtig, dass die Akteure ihre Ziele benennen und mit Zielgrössen konkret und praxisnah angeben können. IWAQA erarbeitete dazu eine Methode. Sie erlaubt, komplexe Zielkonflikte im Bereich Gewässerschutz anzugehen.

Es laufen Arbeiten, die in IWAQA entwickelten Modelle und Methoden auf das ganze Mittelland zu übertragen. So entstehen Grundlagen, um Probleme rund um die Mikroverunreinigungen besser abschätzen zu können. Massnahmen wie die Entfernung von Mikroverunreinigungen in ARAs (Reinigungsstufe 4) sind für die Trinkwasserversorgungen zentral. Für die Gewässerökolo-

**Links:** Mönchaltorfer Aa (ZH). Die nachhaltige Bewirtschaftung solcher belasteter Gewässer braucht klare Ziele und Prioritäten. Das Projekt IWAQA schuf neue Instrumente. IWAQA

**Mitte:** Ökologische Begleitforschung wird immer wichtiger. Die Wirkungen von Massnahmen zum Gewässerschutz müssen überprüft werden. IWAQA

**Rechts:** Es ist wichtig, dass alle Stellen zusammenarbeiten. SWIP

**«Ich finde es sehr wichtig, dass die Ergebnisse nicht bei den Hochschulen bleiben. Wir haben hervorragend geeignete Kreise, welche diese Transferfunktion wahrnehmen können. Das sind die Fachstellen bei den Kantonen und die Fachverbände VSA, SVGW und weitere.»**

*Martin Würsten, Kanton Solothurn,  
Programmbeirat.  
Mehr dazu siehe DVD.*

gie sind sie hingegen weniger bedeutend. Nur 10% des Schweizer Gewässernetzes ist durch Abwässer belastet. Mikroverunreinigungen aus der Landwirtschaft werden durch diese Reinigungsstufe nicht entfernt.

#### **Ökologische Begleitforschung macht Programme besser**

Im Zusammenhang mit den Anpassungen am Gewässerschutzgesetz werden in der Schweiz grossräumig Massnahmen eingeleitet. Beispiele sind der erwähnte Ausbau ausgewählter ARAs (Reinigungsstufe 4) oder die Renaturierung wichtiger Gewässerstrecken. Die Umsetzung dieser Programme wird Jahrzehnte brauchen. Fachleute erachten es als wichtig, die Reaktion der Gewässer auf die getroffenen Massnahmen zu studieren und daraus laufend Schlüsse für die Verbesserung der Programme zu ziehen. Dazu braucht es ökologische Studien (Begleitforschung). Solche Studien können nur zum Teil über die Bauprojekte finanziert werden.

#### **Was bleibt offen?**

Die Ergebnisse des NFP 61 gelten für das Einzugsgebiet der Mönchaltorfer Aa (ZH). In anderen Gebieten führt die Anwendung dieser Methoden zu anderen Ergebnissen. Die gesetzliche Basis variiert von Kanton zu Kanton. Im Gebiet Mönchaltorfer Aa (ZH) stehen relativ wenige konkrete Entscheide an. Zudem spielen auf lokaler Ebene Verhandlungslösungen eine grosse Rolle. Es braucht weitere Fallstudien, um die in SWIP entwickelten Methoden bis zur Praxistauglichkeit weiterzuentwickeln. Zur Gewässerökologie gibt es weiterhin nur unzureichende Daten. Damit ist es schwierig, die Folgen des Klimawandels und von Nutzungsintensivierungen auf die Gewässerökosysteme abzuschätzen oder Modelle für Prognosen zu entwickeln.

#### **Empfehlungen**

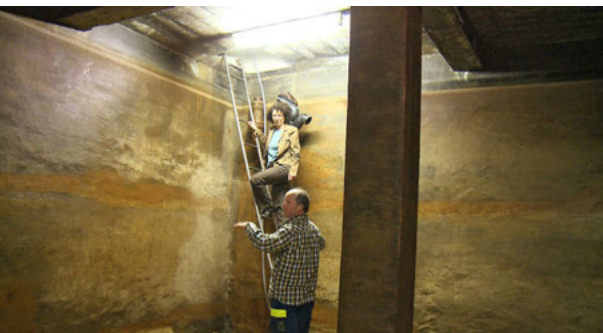
Nationale, kantonale und regionale Vollzugsstellen haben die Möglichkeit, ein Gesamtbild zu schaffen. Es ist wichtig, dass diese Stellen zu Wegbereitern für eine nachhaltige Zukunft der Siedlungswasserwirtschaft werden. Es braucht nationale und kantonale Strategien (Vollzugskonzepte) dazu, wie sich die Siedlungswasserwirtschaft und der Gewässerschutz weiterentwickeln sollen.

In Einzugsgebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck braucht es ein regionales Management der Entwicklungen und der Gewässer.

Zur Stärkung der ökologischen Begleitforschung braucht es ein koordiniertes Vorgehen von Bund und Kantonen. Forschende und Fachleute aus der Praxis sind einzubeziehen.

Die Bestockung der Flusssufer kann helfen, die Folgen des klimabedingten Anstiegs der Wassertemperatur abzufedern.





## Trinkwasser aus Grundwasser

**In der Schweiz stammen etwa 80% des Trinkwassers aus Grundwasser. Die Wasserversicherheit ist gewährleistet. Wegen des Klimawandels ist aber mit höheren Wassertemperaturen zu rechnen. Es braucht langfristige Beobachtungen kritischer Parameter, um negative Folgen für Trinkwasserversorgungen, die einen hohen Anteil an Flussinfiltrat haben, rechtzeitig zu erkennen.**

### Worum geht es?

Bei der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser spielt Wasser aus Grundwasserleitern, die von Flüssen gespeist werden, eine grosse Rolle (40% des Trinkwassers). Weitere 40% der Versorgungen beziehen ihr Wasser aus Quellen. In Quellen tritt infiltrierendes Regenwasser zu Tage. Viele Anlagen sind lokal ausgelegt und werden durch Gremien, die über wenig Spezialwissen verfügen, betrieben. Sie brauchen verständliche und verlässliche Hinweise, mit welchen Veränderungen sie zu rechnen haben und wie sie diese berücksichtigen können. Es gab bisher kaum Untersuchungen zu Einflüssen des Klimawandels auf Grundwasser und Trinkwasserversorgungen. Vielerorts fehlen Messungen und Daten über längere Zeiträume. Diese wären wichtig, um mithilfe statistischer Methoden festzustellen, ob und wie sich die Klimaänderung auf das Grundwasser auswir-

ken wird. Es geht dabei nicht nur um die Verfügbarkeit (Quantität). Ebenso wichtig sind Veränderungen in der Qualität des Wassers. Beispiele sind längere Trockenperioden mit wenig Wasser oder die höheren Wassertemperaturen. Mit dem Temperaturanstieg sinkt der Sauerstoffgehalt im Wasser. Dies führt zu chemischen Veränderungen im Grundwasser.

Die Kombination verschiedener klimabedingter Veränderungen kann das Trinkwasser oder die Anlagen, mit denen Trinkwasser gewonnen wird, belasten. Ein prominentes Beispiel ist die Ausfällung von Eisen oder Mangan (Verockerungen) in Pumpanlagen. In einem Pumpwerk, das durch die Thur (ZH) gespeist wird, traten im Hitzesommer 2003 solche Schäden auf. Der Sauerstoff im Grundwasser war aufgezehrt.

Es wurden Eisen- und Manganhydroxide aus dem Grundwasserleiter gelöst. Im Pumpwerk kamen die gelösten Metalle mit Sauerstoff in Berührung. Es kam zu Ausfällungen und Ablagerungen an den Pumpen und in den Leitungen. Wenn sich solche Schäden häufen, führt dies zu grossen finanziellen Einbussen und kann zur Aufgabe von Anlagen führen. Wie ist das Risiko in Zukunft einzuschätzen?

Unsere Flüsse sind Vorfluter für gereinigte Abwässer aus ARAs. Rund 10% des Schweizer Gewässernetzes sind durch Abwässer belastet. Da gereinigtes Abwasser Schadstoffe enthält, kann infiltrierendes Flusswasser für Trinkwasser, das aus Grundwasser mit vorwiegend Flussinfiltrat-

**Links:** Einige Quellen werden in Zukunft im Sommer weniger Wasser führen. Gefährdet sind vor allem Quellen, die durch kleine, hochdurchlässige Grundwasserträger gespeist werden. SWIP

**Mitte:** Viele Trinkwasserversorgungen sind klein. Vernetzung wird in Zukunft wichtiger. SWIP

**Rechts:** Klimasignale aus der Vergangenheit lassen sich in der Grundwassertemperatur nachweisen. GW-TEMP

**Dank der hervorragenden Qualität bevorzugt heute ein Grossteil der Schweizer Bevölkerung Hahnenwasser gegenüber dem Mineralwasser aus der Flasche (Thematische Synthese TS 1).**

rat gefördert wird, ein Risiko darstellen. Die Elimination von Mikroverunreinigungen in ARAs (Reinigungsstufe 4) senkt dieses Risiko.

#### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Die Projekte GW-TREND, SWISSKARST, GW-TEMP und RIBACLIM untersuchten die Zukunft der Trinkwasserversorgung mit unterschiedlichen Methoden. Sie konzentrierten ihre Untersuchungen vor allem auf Wasserversorgungen in ländlichen Gebieten. Hier lassen sich die Prozesse modellartig studieren.

GW-TREND und SWISSKARST beschäftigten sich mit der Verfügbarkeit von Grund- und Trinkwasser. Daten und Erkenntnisse zu historischen Trockenperioden erwiesen sich als wichtig, um Modelle zur Prognose der klimabedingten Veränderungen zu kalibrieren. Die Ergebnisse beschreiben die Verhältnisse im Mittelland, in den Voralpen sowie in Karstgebieten. GW-TEMP untersuchte, wie der Klimawandel die Grundwassertemperaturen in der Schweiz beeinflusst. Temperaturänderungen können sich auf die Sauerstoffkonzentration im Wasser auswirken. Erstmals konnte in der Schweiz ein Klimasignal im Grundwasser nachgewiesen werden.

RIBACLIM klärte die Frage, inwiefern der Klimawandel die Wasserqualität in Pumpwerken, deren Grundwasser vorwiegend durch Flussinfiltration gespeist wird, verändern wird. Die Feldforschung konzentrierte sich auf einen Standort an der Thur (Ellikon, ZH). Dieser ist gut untersucht und Teil eines europäischen Messnetzes. Zudem wurde in RIBACLIM mit Laborkolonnen der Einfluss der klimarelevanten Parameter – Temperatur, Konzentration und Art des natürlichen organischen Materials, Infiltrationsrate – auf die Prozesse bei der Flussinfiltration untersucht.

#### Trinkwasserfassungen in Quellhorizonten

GW-TREND kommt zum Schluss, dass sich in ferner Zukunft die jährliche Wassermenge in einigen Quellen, in denen infiltrierendes Regenwasser zutage tritt, mit dem Klimawandel vermindern könnte. Im internationalen Vergleich sind die Mengen aber immer noch hoch. Änderungen sind in einem ähnlichen Rahmen wie die Veränderungen, die durch den Wandel in der landwirtschaftlichen Bodennutzung verursacht werden. Landnutzungsänderungen können Klimaeffekte verstärken oder abfedern.

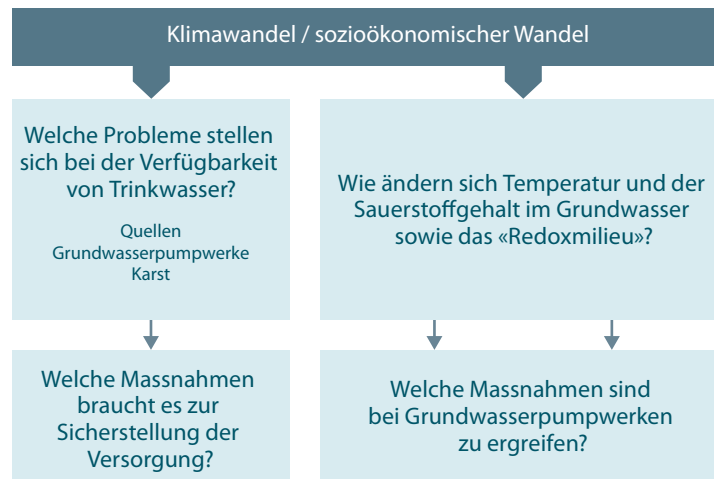


Abb. 29: Trinkwasser und Grundwasser – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.

Längere Trockenphasen können für Quellen, die durch kleine, hochdurchlässige Grundwasserträger gespeist werden, problematisch werden. Die Trinkwassernachfrage ist nicht mehr unbedingt jederzeit gedeckt. Die Systeme werden sich allerdings rasch wieder erholen, wenn Niederschlag einsetzt. Die saisonale Verteilung wird sich vermutlich ändern. Die Grundwasser-Neubildung im Spätsommer und im frühen Herbst wird deutlich schwächer. Warme und trockene Sommer führen zu einem Defizit. Es wird längere Phasen geben, in denen die Verdunstung die Niederschlagsmenge übersteigt.

In grösseren, tieferen und weniger durchlässigen Grundwasserträgern wird es nach Ansicht von GW-TREND kaum zu Engpässen kommen. Solche Grundwasserträger können eine wichtige Rolle zur Pufferung von Klimaeffekten spielen.

#### **Pumpwerke entlang von Flüssen**

Sommertrockenheit und Niedrigwasser können hier zu einem Problem werden. Es ist wichtig, Oberflächen- und Grundwasser als System zu betrachten. Der Austausch zwischen diesen Wasserkörpern spielt für das Verhalten der Grundwasserfassungen, die solches Wasser beziehen, eine Rolle.

In Einzugsgebieten, in denen der Wasserabfluss über die Flüsse viel grösser ist als der Abfluss über Grundwasser, haben Trockenperioden einen vernachlässigbaren Effekt auf die Wassermengen, die für die Trinkwasserversorgung zur Verfügung stehen. Es ist allerdings wichtig, dass die Grundwasserträger und der Fluss gut verbunden sind. Wo Grundwasserspeicher bei Niedrigwasser vom Flusssystem abgetrennt werden, muss sich die Trinkwasserfassung auf das Wasser, das im Grundwasserträger lagert, abstützen.

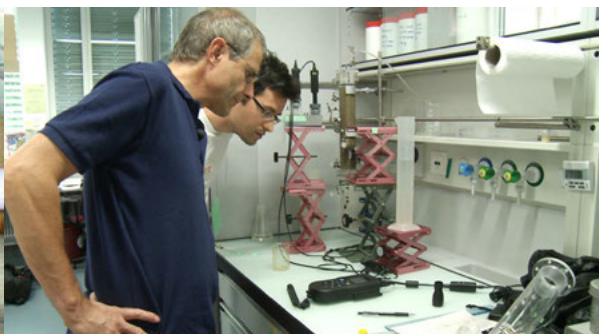
In einigen Fällen trocknet zuerst der Fluss aus, bevor sich der Grundwasserpegel senkt. Die Trinkwasserversorgung ist noch sicher, selbst wenn der Fluss ausgetrocknet ist. Bereiche, in denen solche Austrocknungen auftreten, können heute über Modelle prognostiziert werden.

#### **Schritte zur Stärkung der Sicherheit der Versorgung**

Bei Trinkwasserversorgungen, die durch Trockenheit gefährdet sind, braucht es ein genaues Systemverständnis, mit Untersuchungen am Einzelfall. Nur so lässt sich abschätzen, wie sich der Klimawandel auf die Verfügbarkeit – aber auch auf die Qualität des Trinkwassers – auswirken wird. Informationen und Daten über extreme Trockenperioden in der Vergangenheit helfen, die Reaktionsweise der Trinkwasserversorgung zu verstehen und Prognosemodelle zu kalibrieren.

Die Strategie, Wasserversorgungen auf mehrere Standbeine – Quellen, Pumpwerke – abzustützen, ist auf jeden Fall richtig. Sie ist vielerorts schon umgesetzt. Es ist wichtig, dass Systeme, die mit einer unterschiedlichen Dynamik auf Klimaeffekte reagieren, verbunden werden. Ein Beispiel ist die Wasserversorgung der Region Bern. Die wichtigsten Standbeine sind Grundwasserleiter in Lockergesteinen in zwei Flusstälern, dem Emmental (BE) und dem Aaretal (BE). Diese haben eine unterschiedliche Dynamik und ergänzen sich deshalb optimal.

Die zunehmende Intensivierung der Landnutzung und die Siedlungsentwicklung schränken die Möglichkeiten, Grundwasser für die Trinkwassernutzung zu erschliessen, leider vielerorts ein. Die wertvollsten Grundwasserressourcen – hohe Qualität des Wassers, zuverlässige Versorgung – müssen in der Schweiz noch viel entschiedener geschützt werden. Dies ist eine wichtige Massnahme der Anpassung an den Klimawandel. Die Situation wirkt dabei paradox: Trinkwasser hat in der Schweizer Bevölkerung überall einen hohen Stellenwert. Der Schutz der Reserven hat aber oft eine tiefe Priorität und wird sogar bekämpft, sobald Vorschläge für konkrete Massnahmen (Schutzzonen, Raumplanung, Beschränkungen) auf dem Tisch liegen.



**Links:** Das Pumpwerk Forren im Kanton Thurgau musste 2003 künstlich belüftet werden, da durch reduzierte Bedingungen im Grundwasser bei den Verbrauchern Ausfällungen (Verockerung) gemeldet wurden. Foto

Andreas Scholtis, Amt für Umwelt Kanton Thurgau

**Mitte:** Das Projekt RIBACLIM machte umfangreiche Untersuchungen mit Kolonnenexperimenten im Labor.

RIBACLIM

**Rechts:** Sommertrockenheit und Niedrigwasser können bei Pumpwerken entlang von Flüssen zum Problem werden. RIBACLIM

### Klimasignale in der Grundwassertemperatur

Dass die Klimaerwärmung Seen und Flüsse beeinflusst, ist schon länger bekannt und wissenschaftlich dokumentiert. Dass sie auch einen messbaren Einfluss auf Grundwasser in der Schweiz hat, war vor dem NFP 61 nicht klar. GW-TEMP konnte sich dabei auf einige wenige lange Zeitreihen von Grundmessungen in der Schweiz abstützen. Die Zusammenhänge zwischen Fluss- und Grundwassertemperaturen und Klimafaktoren wurden mit statistischen Methoden analysiert. Das Projektteam bereinigte die Daten. Es interpolierte Lücken und glättete Ausreisser, die auf Messfehler zurückzuführen waren.

In den letzten 30–50 Jahren erhöhte sich die Grundwassertemperatur an vielen der untersuchten Stellen, wo das Grundwasser vorwiegend durch Flussinfiltration gespeist wird. Der Temperaturanstieg ist vergleichbar mit dem Anstieg der Luft- und der Flusswassertemperatur. Die Zeit, die das Wasser bei der Infiltration von Flusswasser bis zum Pumpwerk benötigt, und der Anteil an Flussinfiltrat im Grundwasser sind entscheidend für die Stärke des Temperaturanstiegs. Wird das Grundwasser vom Niederschlag gespeist, erwärmt es sich deutlich weniger.

Die Untersuchungen zeigten auch Überraschendes. Ende der 1980er-Jahre führte das Verhalten der arktischen Oszillation zu einem abrupten Temperaturanstieg in europäischen Gewässern. GW-TEMP konnte diesen Temperaturanstieg erstmals auch im Grundwasser feststellen.

### Prognose und mögliche Folgen des Temperaturanstiegs

Die Wassertemperaturen werden in den untersuchten Grundwasserleitern bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit ziemlicher Sicherheit weiter ansteigen. Die Stärke der von den Modellen berechneten Trends hängt von den verwendeten Klimaszenarien und den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Grundwassers und der Grundwasserleiter ab. Wo das Grundwasser vorwiegend durch Flussinfiltrat gespeist wird, berechnen die in GW-TEMP verwendeten Modelle bis 2100 einen Temperaturanstieg von 2 bis 4 Grad Celsius (Mittelwerte). Grundwasser, das ausschliesslich vom Niederschlag gespeist wird, dürfte sich lediglich um 1 Grad Celsius erwärmen.

Solche Erwärmungen können unerwünschte Folgeprozesse auslösen. Bei höheren Grundwassertemperaturen sinkt der Sauerstoffgehalt im Grundwasser. In der Folge kann dies beispielsweise zur Lösung von Eisen im Grundwasser und nachfolgend zur Eisenausfällung in den Pumpwerken und Leitungen führen. In einem Pumpwerk, das durch die Thur (ZH) gespeist wird, traten im Hitzesommer 2003 solche Schäden auf.



### Sauerstoffkonzentration im Grundwasser entlang von Flüssen

Die Forschenden haben in den letzten Jahren auch sprunghafte Zunahmen der Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser, das durch Flussinfiltration gespeist wird, festgestellt. Diese fallen zeitlich meist mit hohen Abflusswerten in den Flüssen, die das Grundwasser speisen, zusammen. Dafür gibt es eine Erklärung. Flusssohlen sind vielerorts mit Feinmaterial und Schlamm belegt (Kolmatierung). Dies reduziert oder verhindert zuweilen sogar den Wasseraustausch. Diese Zonen sind mikrobiologisch sehr aktiv. Das zeigt sich in der Zehrung des Sauerstoffgehaltes im Infiltratwasser. Bei sehr hohen Abflüssen, wie sie mit dem Klimawandel in Zukunft im Winter häufiger auftreten dürften, können diese Sedimente und Schlämme ausgewaschen werden. Damit wird die Flusssohle meist durchlässiger. Die Aufenthaltszeit des infiltrierenden Flusswassers bis zum Erreichen des Pumpwerkes wird verkürzt. Die Sauerstoffkonzentrationen steigen.

Aber Achtung! Kleine und mittlere Hochwasser bewirken in gewissen Einzugsgebieten auch eher das Gegenteil: eine Sauerstoffzehrung in der Uferzone. Dies passiert dann, wenn mehr partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) in den Uferbereich dringt.

### Wasserqualität in Pumpwerken mit Flussinfiltration

Die biogeochemischen Prozesse, welche in Flüssen und in den Infiltrationszonen zwischen Flusssufer und Grundwasserpumpwerk ablaufen, sind von grosser Bedeutung für die Qualität des Trinkwassers von Wasserversorgungen, die vorwiegend infiltriertes Flusswasser pumpen. Nicht nur die Temperatur des Fluss- und Grundwassers, sondern auch der Anteil an Flusswasserinfiltrat im Grundwasser können durch den Klimawandel beeinflusst werden.

Wenn eine Abwasserreinigungsanlage (ARA) Wasser in einen Fluss einleitet, bauen sich die Schadstoffe im Fluss über fotochemische Prozesse teilweise ab. Diese Prozesse wurden von RIBACLIM untersucht. Es zeigte sich, dass sich das Abbauverhalten unter klimatisch veränder-

ten Bedingungen wohl nur wenig ändern wird. Im Zentrum der Untersuchungen standen Spurenverunreinigungen, welche wasserlöslich und persistent gegen biologischen Abbau sind. Sie treten vor allem in Gewässern in stark besiedelten Gebieten auf. Die fotochemischen Abbaueffekte dieser Schadstoffe in den Flüssen wurden mit neuen Methoden erstmals bestimmt. Die Forschenden kamen zum Schluss, dass bei einigen dieser Stoffe der natürliche Abbau nicht immer genügt. Die Abbaueffizienz kann von Stoff zu Stoff aber stark variieren.

Einige wenige dieser Mikroverunreinigungen finden sogar den Weg ins Grundwasser und damit in Trinkwasserpumpwerke. Der Anteil an Flusswasserinfiltrat im geförderten Wasser steuert deren Konzentrationen. Zur Sicherung der Qualität des Trinkwassers sind Massnahmen an der Quelle – in ARAs – angezeigt (Reinigungsstufe 4).

### Klimawandel und Wasserqualität bei diesen Pumpwerken

Die Forschenden kamen mit einer Kombination von Labor- und Felduntersuchungen zum Schluss, dass die Auflösung von Eisen und Mangan sowie die beschriebene Verockerung in den Anlagen bei den meisten Wasserversorgungen mit Flussinfiltration auch unter veränderten Klimabedingungen eher unwahrscheinlich ist. Es besteht kein dringender Handlungsbedarf. Insbesondere wurde beobachtet, dass sich, auch wenn Sauerstoff gezehrt ist, meist genügend Nitrat im Wasser befindet, um eine Auflösung von Mangan- und Eisenoxiden zu verhindern.

Bei wenigen Wasserversorgungen kann es bei Niedrigwasser, in Kombination mit erhöhter Temperatur, zu einer vollständigen Sauerstoffzehrung in der Infiltrationszone der Flüsse kommen. Die vollständige Sauerstoffzehrung hängt stark von der Temperatur ab. Bei Versuchsreihen im Labor – Temperaturbereich 5 bis 30 Grad Celsius – wurde gezeigt, dass bei erhöhten Temperaturen die Sauerstoffzehrung sehr viel rascher abläuft. Deshalb gilt es, lang anhaltende Hitzeperioden im Auge zu behalten. Auch kleine und mittlere Hochwasser, welche die Flusssohle nicht

**Es braucht einen regionalen Ansatz, unter Umständen auch mit finanziellem Ausgleich von Leistungen. Ländliche Gebiete sind nicht immer bereit, Schutzzonen zu erhalten, damit andere Gemeinden wachsen können.**



**Links:** Wo noch relativ stark verschmutztes Flusswasser Grundwasser infiltriert, ist zu erwarten, dass dies die Grundwasserqualität negativ beeinflusst. RIBACLIM

**Mitte:** Mit Laborexperimenten wurde gezeigt, dass die Sauerstoffzehrung durch einen hohen Abwasseranteil nur geringfügig beeinflusst wird. RIBACLIM

**Rechts:** Mikroverunreinigungen werden mit Aktivkohle (Filtration, Dosierung von Pulverkohle) oder Oxidationsverfahren beseitigt. Foto Donau Carbon GmbH & Co. KG

aufzureissen vermögen, können die Sauerstoffzehrung in der Uferzone beschleunigen, falls mehr partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) in das Flussbett eindringt.

Mit dem Klimawandel können Niedrigwasser im Sommer häufiger werden. Sie vermindern das Verdünnungsverhältnis zwischen Flusswasser und geklärtem Abwasser. Wo noch relativ stark verschmutztes Flusswasser Grundwasser infiltriert, ist zu erwarten, dass dies die Grundwasserqualität negativ beeinflusst. Dies ist vor allem dort ein Problem, wo der Anteil an Flussinfiltrat im Grundwasser hoch ist.

Die Sauerstoffzehrung wird durch einen hohen Abwasseranteil nur geringfügig beeinflusst. RIBACLIM zeigte dies mit Laborexperimenten. In vielen Grundwasserleitern ist nicht das gelöste organische Material, sondern das im Untergrund gebundene organische Material für den Verbrauch von Sauerstoff verantwortlich.

#### Was bleibt offen?

Die NFP 61-Projekte liefern Erkenntnisse zu Wasserversorgungen, welche Grundwasser mit vorwiegendem Anteil an Flussinfiltrat fördern. Die Projekte konnten noch nicht bestimmen, welches kritische Wasserversorgungen sind, bei denen Massnahmen nötig sind. Die Auswirkungen der vielen geplanten Flussrenaturierungen auf die Trinkwasserversorgungen, welche Grundwasser aus Flussinfiltrat fördern, sind ebenfalls noch wenig bekannt.

### Empfehlungen

Wasserversorgungen mit Grundwasser, welches in erheblichem Ausmass von Flussinfiltrat gespeist wird, sollten ihre Systeme in Zukunft vermehrt mit Messungen von Sauerstoff und Nitrat untersuchen. Ziel ist, langfristige Trends und Veränderungen dieser Parameter während Hitzeperioden festzustellen.

Grundsätzlich ist jede Fassungsanlage individuell zu betrachten. Dies bedeutet, dass eine Risikoabschätzung eines Versorgungsengpasses infolge einer Klimaänderung für jede Wasserversorgung separat vorgenommen werden muss.

Falls Probleme mit Mangan und Eisen auftreten, müssen diese unerwünschten Substanzen durch eine entsprechende Aufbereitung abgetrennt werden.

Wo in Trinkwasserversorgungen Mikroverunreinigungen auftreten, ist deren humantoxikologische Bedeutung abzuklären. Allenfalls braucht es eine Behandlung mit Aktivkohle (Filtration, Dosierung von Pulverkohle) oder Oxidationsverfahren.

Die geplanten Massnahmen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen in ARAs sind sicher eine gute Strategie. Allerdings werden dabei Mikro-schadstoffe aus anderen Quellen – Landwirtschaft, Oberflächenwasser aus Siedlungen – nicht aus den Gewässern entfernt.

# NFP 61 entwickelt Wege zur Nachhaltigkeit

**Die Forschenden untersuchten den Istzustand und Wege zur Stärkung der Nachhaltigkeit der Wassernutzung in der Schweiz. Es braucht Zusammenarbeit über den Wassersektor hinaus. Eine nationale Wasserstrategie wäre ein wichtiger Schritt. Kantone, die über ein Wassergesetz oder eine Wasserstrategie verfügen, können zukünftige Herausforderungen besser bewältigen.**

## Worum geht es?

### Nachhaltige Wassernutzung

An die Nutzung der Ressource Wasser werden die unterschiedlichsten Ansprüche gestellt: Energiegewinnung (Wasserkraft, Wärmenutzung), urbanes Wachstum (grossflächige Versiegelung von Grundwasserleitern) oder Landwirtschaft (Stoffeinträge, Bewässerung). Nachhaltige Wassernutzung ist damit nicht nur eine Frage der naturwissenschaftlichen und technischen Zusammenhänge, sondern auch – und immer mehr – eine Frage der Stärkung der Gouvernanz und des Managements von Wasser und Wasserinfrastrukturen.

Folgende Fragen werden angesichts der grossen Herausforderungen wie beispielsweise des Bevölkerungswachstums, der Energiewende, der Kosten für die Erneuerung der Wasserinfrastrukturen und des Klimawandels immer bedeutsamer: Wie ist der Umgang mit Wasser zu organisieren? Welche Zielsetzungen, Regeln und Steuerungsinstrumente braucht es? Wie kann die Zusammenarbeit über räumliche und sektorale Grenzen sowie über die Staatsebenen hinaus gestärkt werden? Was sind geeignete Ansätze und Methoden?

### Leitsätze für die Zukunft

Das Programm beschäftigte sich mit den Herausforderungen an die nachhaltige Wassernutzung. Die Leitungsgruppe zieht folgende Schlüsse:

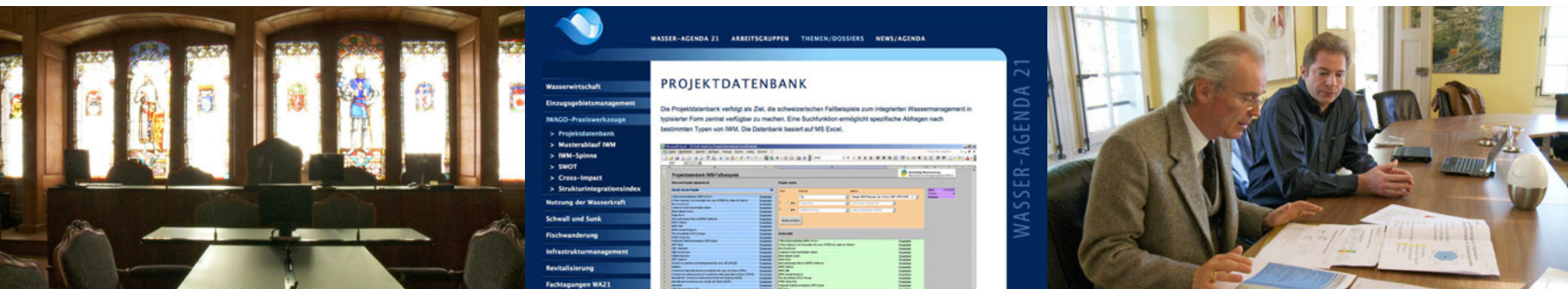
- ▶ Der Wasserkreislauf ist als Ganzes zu betrachten: quantitativ, qualitativ und ökologisch. Dazu braucht es vermehrt eine regionale Zusammenarbeit zwischen den Akteuren.
- ▶ Vorsorge- und Verursacherprinzip sind angesichts der durch sozioökonomische Entwicklungen und den Klimawandel geschaffenen Unsicherheiten im Bereich Wasser konsequent anzuwenden. Wo durch schleichende Veränderungen grossflächig Grenzwerte überschritten werden und kein Ersatz möglich ist, muss ein «Verschlechterungsverbot» diskutiert werden.
- ▶ Wo immer möglich ist die Anpassungsfähigkeit («Resilienz») der natürlichen Systeme im Wasserkreislauf zu erhalten und zu stärken. Es geht zum Beispiel um die Regulation von Abfluss und Wassertemperatur oder um die Fähigkeit zur Selbstreinigung.
- ▶ Die Kapazität der Akteure, Probleme zu lösen, ist weiter zu fördern.
- ▶ Die Wasserdienstleistungen sind in Wert zu setzen. Eine Kostendeckung dieser Wasserdienstleistungen ist anzustreben, wo dies gerecht und angemessen erscheint.
- ▶ Wasser ist als Gemeingut zu betrachten, das nicht ausschliesslich marktwirtschaftlichen Überlegungen unterliegt. Es ist ein Bestandteil von Natur und Landschaft. In der verstärkten Schweiz trägt Wasser zunehmend zur psychischen Regeneration bei.
- ▶ Die gerechte Verteilung des Wassers und der gerechte Zugang zu Wasser sind ein grundlegendes Merkmal der Gemeingutgouvernanz und damit der Nachhaltigkeit im Bereich Wasser. Partizipation und Kooperation fördern die Gemeinschaft und besitzen einen wichtigen sozialen und kulturellen Wert.

Wasser ist die Grundlage für vielfältige Lebensräume und lebenswerte Kulturlandschaften. Diese sind ein hohes Gut. In der Wertschätzung für diese Aspekte liegt ein Potenzial für die Zukunft. Vor allem in Gebieten mit Siedlungs-

Das Forschungsprogramm erarbeitete Begriffe und Prinzipien zur nachhaltigen Wassernutzung. Im Vordergrund steht «integriertes Wassermanagement» (IWM), insbesondere die Stärkung der Wassergouvernanz. Hier geht es um Regelstrukturen und Handlungen unter staatlichen Akteuren.

Die Thematische Synthese 4 (TS 4) «Nachhaltige Wassergouvernanz» wendet sich – ergänzend – an Fachleute aus der Praxis.





und Nutzungsdruck könnten solche immaterielle Aspekte in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

### Integriertes Wassermanagement (IWM)

Die Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen den verantwortlichen staatlichen Einheiten und den Akteuren der Wasserwirtschaft wird in Zukunft wichtiger. Dazu braucht es Fortschritte auf zwei Ebenen: Gouvernanz und Wassermanagement. Beide sind wichtig, um die Nachhaltigkeit der Wassernutzung zu gewährleisten und Verbesserungen zu erzielen.

Gouvernanz bezieht sich auf Regelstrukturen und Handlungen unter staatlichen Akteuren, die das Wassermanagement prägen: Rechtsgrundlagen, Strategien, Strukturen, Kooperations- und Koordinationsprozesse, informelle und formelle Absprachen und Instrumente der Verwaltung. Wassermanagement bezieht sich auf den Prozess von Planung, Projektierung und Realisierung von organisatorischen, technischen oder betrieblichen Massnahmen. Der Managementzyklus steht im Vordergrund. Ein Beispiel ist die Planung von Wasserinfrastruktur.

**Links:** In der Wassergouvernanz geht es auch um Politik und Gesetzgebung. IWAGO

**Mitte:** IWAGO entwickelte Praxiswerkzeuge. Sie befinden sich auf der Website der Wasser-Agenda 21. IWAGO

**Rechts:** Das Projekt IWAGO untersuchte mehr als 20 regionale Fallbeispiele von integriertem Wassermanagement. IWAGO



**Abb. 30:** Zwei Ebenen von integriertem Wassermanagement (IWM) – Gouvernanz und Wassermanagement. Thematische Synthese TS 4

«Das Wasserproblem ist kein Ressourcenproblem, sondern ein Managementproblem. Es braucht vor allem auch institutionelle Reformen.»

Flurina Schneider, MONTANAQUA, Universität Bern.

Mehr dazu siehe DVD.

Bei IWM stehen das Wasser und die es direkt beeinflussenden Faktoren im Zentrum. Sobald der Blick auf Gewässer und ihre Funktionen in der Landschaft geweitet wird, erhöht sich die Komplexität. Beispiele sind der Schutz und die Pflege der aquatischen Ökosysteme und der Landschaften im gewässernahen Bereich oder der Hochwasserschutz.

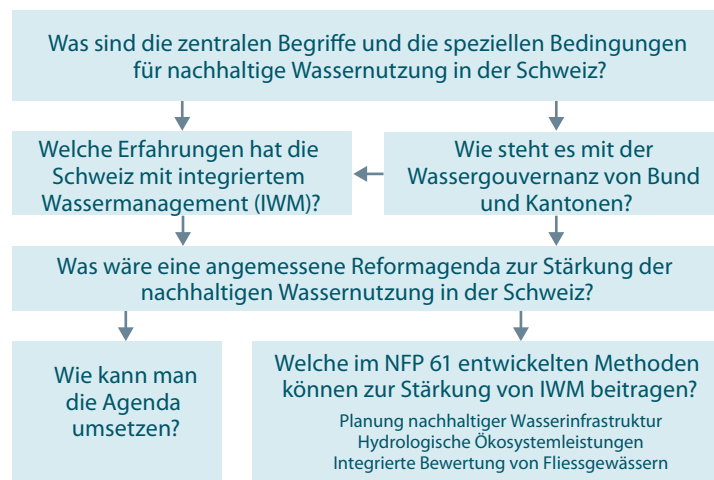
#### Wo schärft das NFP 61 Ihren Blick?

Die Projekte machten eine umfassende Analyse des Istzustandes von IWM und Wassergouvernanz in der Schweiz. Sie zeigen, wo den oben beschriebenen Prinzipien einer nachhaltigen Wassernutzung heute schon Rechnung getragen wird. Thematische Synthesen (TS) machen Vorschläge für die Stärkung der Nachhaltigkeit in der Siedlungswasserwirtschaft (TS 3) und der Wassergouvernanz (TS 4).

Das Projekt IWAGO untersuchte zahlreiche regionale Fallbeispiele. Es beschreibt den Ist-Zustand bei Bund, Kantonen und Gemeinden. Seine Erkenntnisse sind im Buch «Auf dem Weg zu einer integrierten Wasserwirtschaft» (2013) zu lesen. Das Projekt MONTANAQUA entwickelte

einen Ansatz für wissensbasiertes, regionales IWM in der Region Crans-Montana-Sierre. Hier könnte das Wasser in Zukunft knapper werden. Der zusammen mit lokalen Akteuren entwickelte Ansatz zeigt einen Weg, wie Regionen mit ähnlichen Problemen vorgehen können. Viele Projekte erarbeiteten Methoden und Instrumente. Diese haben das Potenzial, die Umsetzung von IWM in Gebieten, die unter Siedlungs- und Nutzungsdruck leiden, zu stärken: Planung von Infrastruktur (SWIP), Berechnung von hydrologischen Ökosystemleistungen (HYDROSERV) und integrierte Bewertung von Fliessgewässern (IWAQA). Die Methoden sind noch nicht überall bis zur Praxisreife entwickelt.

Abb. 31: Integriertes Wassermanagement (IWM) – Fragen, die das NFP 61 beantwortet.



## Schweizer Eigenarten

**Die föderalistische Staatsstruktur ist eine Grundfeste der Schweiz. Dies führt zu speziellen Bedingungen. Die Wassernutzungen, der Schutz des Wassers und aquatischer Ökosysteme oder der Schutz vor Wasser werden auf verschiedenen Ebenen gesteuert und koordiniert.**

### Föderalistische Staatsstruktur

Die Zuständigkeiten sind in der Bundesverfassung geregelt. Der Bund sorgt für eine haushälterische Nutzung und den Schutz der Wasservorkommen sowie für die Abwehr schädigender Einwirkungen auf das Wasser (BV, Art. 76). Er formuliert entsprechende Grundsätze und erlässt Vorschriften. Beispiele sind der Gewässerschutz, der Wasserbau und Bestimmungen für Restwassermengen.

Die Kantone sind die zentrale Scharnierstelle. Sie üben einen Grossteil der Hoheit über die Wasservorkommen aus. Sie können demnach Bewilligungen, Lizenzen und Konzessionen für Wassernutzungen erteilen. Sie sind für den Hochwasserschutz und den Vollzug im Gewässerschutz verantwortlich. Sie können ihre wasserwirtschaftlichen Aufgaben und die Verfügungshoheit auch an die Gemeinden delegieren. Es gibt grosse Unterschiede zwischen den Kantonen.

Die Verantwortung für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung liegt in der Regel bei den Gemeinden. Diese können die Aufgaben jedoch auch an Dritte – zum Beispiel an Gemeinde- und Zweckverbände oder an kommunale Betriebe – weitergeben.

### Wie wirkt sich das auf den Wassersektor aus?

Diese historisch gewachsene Kompetenzordnung hat ihre Stärken, führt aber auch zu Problemen:

- ▶ Die Aufgabenverteilung und die Finanzzuständigkeiten sind komplex und je nach Sektor und Kanton unterschiedlich geregelt.
- ▶ Kantone und Gemeinden haben eine hohe

Autonomie. Sie handeln oft für sich alleine und ohne Beachtung der Wirkungen ihres Handelns auf Dritte.

- ▶ Wasserinfrastrukturen sind kleinräumig organisiert. Dies erschwert strategische Planungen, die in Zukunft wichtiger werden.
- ▶ Das ohnehin komplexe Ineinandergreifen von Bundes-, Kantons- und Gemeinderecht wird vielerorts durch traditionelle Nutzungsrechte in seiner Komplexität noch erhöht.

Wegen der komplexen Kompetenzordnung gibt es kaum übergeordnete und aufeinander abgestimmte Visionen und Strategien. Selbst wo es kantonale Planungen gibt, wird die Umsetzung meist an die Gemeinden delegiert. Bei übergeordneten, politischen Fragen sind meist viele Ämterstellen oder Personen beteiligt, respektive durch Entscheide betroffen. Neben staatlichen Stellen sind dies auch Umweltorganisationen, Berufsverbände der Wasserwirtschaft, private Nutzervereinigungen (Bewässerung), öffentliche und private Unternehmen (Kraftwerksgesellschaften, Tourismus) oder öffentlich-rechtliche Körperschaften (Schwellenkorporationen, Burgen gemeinden).

### Strukturen sind fragmentiert

Der Föderalismus hat seine Stärken, zum Beispiel beim Vollzug oder wegen der Bürgernähe. Er erschwert aber die Steuerung im Hinblick auf übergeordnete Zielsetzungen. Diese gewinnen in Zukunft an Bedeutung. Ein Beispiel ist die Abstimmung von Wassernutzungen auf regionaler Ebene.

SWIP und MONTANAQUA haben die Fragmentierung der Wassergouvernanz für Bereiche der Siedlungswasserwirtschaft und der kommunalen Infrastruktursysteme untersucht. In beiden Gebieten – Mönchaltorfer Aa (ZH), Crans-Montana-Sierre (VS) – gibt es eine feingliedrige Struktur politisch eigenständiger Gemeinden. Diese lagern die Infrastrukturplanung meist an spezialisierte Ingenieurbüros aus. Die enge Verbindung mit der Lokalpolitik erschwert eine längerfristige und effektive Planung auf regionaler Ebene.

Crans-Montana-Sierre (VS) ist ein gutes Beispiel. Die Trinkwasserversorgung liegt in den Händen von 11 Gemeinden. Die Wasserversorgungen kooperieren untereinander je nach Bedarf und meist fallbezogen. Die Entscheidungskompetenz liegt weiterhin bei den Gemeinden. In den letzten Jahren wurden zwar zwei Wasserverbände geschaffen. Diese ändern aber nichts an strukturellen Ungleichgewichten: Die Wassernutzungsrechte sind weiterhin ungleich verteilt, und die Gemeinden berechnen die Wasserpreise nach wie vor nach verschiedenen Methoden. IWAGO zeigt, dass strukturelle Fragmentierung auch auf Ebene Kanton ein Problem ist. Planungen, die Erteilung von Bewilligungen oder die Vertretung von Schutzinteressen laufen auf verschiedenen Ebenen. Dem Politikbereich Wasser fehlt es damit an Kohärenz. In den Kantonen Aargau, Luzern, Neuenburg und Zürich ist zwar eine Direktion für Wasser zuständig. Wassernutzung, Gewässerschutz und Hochwasserschutz sind aber auf verschiedene Abteilungen verteilt.

#### **Komplexität im Wasserrecht**

Das Nebeneinander verschiedener Rechte führt zu einem komplexen und zum Teil widersprüchlichen Rechtssystem. Dies erschwert die Koordination im Hinblick auf übergeordnete Ziele, wie es IWM erfordert.

Neben der öffentlichen Schutz- und Nutzungspolitik, die in der Bundesverfassung und gesetzlichen Grundlagen verankert ist, regeln auch private Wasserrechte den Umgang mit der Ressource Wasser. Das Schweizerische Zivilgesetzbuch unterscheidet dabei zwischen Wasser als öffentlichem Gut, das unter Staatshoheit steht (zum Beispiel Flüsse und Seen), und dem Privateigentum (zum Beispiel kleine Quellen, die keinen Bach bilden).

Daneben gibt es auch «wohlerworbene Rechte». Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie schwer änderbar sind. Sie spielen insbesondere bei der landwirtschaftlichen Bewässerung und der Wasserkraftnutzung eine Rolle.

Das Wasserrechtsgesetz (Art. 43) bestimmt, dass die Konzession dem Konzessionär ein wohler-

worbenes Recht auf die Benutzung der Gewässer verschafft. Das Recht kann nur aus Gründen des öffentlichen Wohls und gegen volle Entschädigung zurückgezogen oder geschmälert werden. Die Konzessionen gelten für maximal 80 Jahre.

Bis 2055 werden rund 280 Wasserkraftkonzessionen ablaufen. Gemeinden werden sich die Frage stellen müssen, ob sie das ihnen – je nach Konzessionsinhalt – zustehende Heimfallrecht ausüben wollen. Diese Frage ist vor allem auch für Gemeinden in Bergregionen, in denen das Wasser mit dem Klimawandel in Zukunft möglicherweise knapper wird, relevant.

Wassernutzungsrechte ohne zeitliche Begrenzung sind «ehehafte Rechte». Sie beruhen auf Rechtsordnungen aus historischer Zeit und können nach moderner Rechtsordnung nicht mehr begründet werden, sind aber weiterhin gültig. Ihre Bestandeskraft leitet sich vor allem daraus ab, dass Staat und Gesellschaft diese Rechte während sehr langer Zeit respektiert haben.

#### **Kaum Anreize für regionale Visionen!**

Wassergouvernanz ist vielerorts kleinräumig, und dies ist eine Folge der sektoriellen Behandlung der Wasserthemen in den gesetzlichen Grundlagen sowie der föderalistischen Staatsstruktur der Schweiz. Viele Aufgaben werden durch Gemeinden wahrgenommen. Diese verfügen jedoch oft – vor allem in ländlichen Gebieten – nur über beschränkte personelle Ressourcen, Fachwissen oder finanzielle Mittel.

Folgt man den Empfehlungen des NFP 61, werden regionale und integrierte Lösungen in Zukunft wichtiger. Beispiele sind der Schutz und die Bewirtschaftung von Fliessgewässern in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck, die Sicherung der Trinkwasserversorgung oder die Zusammenarbeit von Gemeinden bei der Abwasserentsorgung oder der Renaturierung von Gewässern.



## Erfahrungen mit IWM in der Schweiz

**Die Forschenden analysierten die bisherigen Erfahrungen der Schweiz mit IWM im Kontext der internationalen Diskussionen. Sechs Fallbeispiele wurden vertieft untersucht. Drei sind in diesem Buch dargestellt. Es gibt Faktoren, die den Erfolg von IWM-Projekten fördern, und solche, die ihn hemmen.**

### Einzugsgebietsmanagement

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) machte 2011 eine länderübergreifende Studie über Erfahrungen mit IWM. Sie zeigt, dass die meisten föderalistisch aufgebauten Länder auf ein Wassermanagement nach Einzugsgebieten setzen. Sie bauen dazu neue Strukturen und Plattformen auf. Beispiele sind Australien, Belgien, Italien, Mexiko, USA und Spanien.

Die internationalen Erfahrungen zeigen, dass die Ausrichtung auf Einzugsgebiete die Umsetzung von IWM in der Regel erleichtert. Es gibt aber auch Nachteile: Die Zahl der administrativen Einheiten, die mitreden, erhöht sich. Wo sich hydrologische (Einzugsgebiet) und administrative (politische) Grenzen nicht decken, entsteht neuer Abstimmungsbedarf. Es gibt auch Gräben in Information und Wissen zwischen den Akteuren aus Politik, Administration und Gremien des Einzugsgebietsmanagements. Diese können die Zusammenarbeit und den Aufbau von Vertrauen zwischen den Akteuren behindern.

### Europäische Wasserrahmenrichtlinie

Einzugsgebietsmanagement – IWM nach Einzugsgebieten – ist auch in den Ländern der Europäischen Union (EU) das Kernstück einer grundlegenden Neuordnung im Wassermanagement. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie wurde 2002 in Kraft gesetzt. Sie ermöglicht, gemeinsame Strategien und Zielsetzungen für die Wasserpolitiken der Mitgliedstaaten festzulegen. Sie enthält Grundsätze einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung. Im Vordergrund stehen die Bewirtschaftung nach Einzugsgebieten, das

Verursacherprinzip, die Beachtung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses bei Massnahmen sowie der Einbezug der Öffentlichkeit.

Die EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, sich auf einen Bewirtschaftungsplan für ein hydrologisches Einzugsgebiet zu einigen. Dies gilt auch, wenn dieses teilweise in das Hoheitsgebiet eines Nichtmitglieds der EU reicht. Wo Pläne von EU-Mitgliedstaaten unser Land betreffen, braucht es eine Abstimmung mit der Schweiz. Es geht um Inn, Rhein, Rhone und Tessin.

### Politik des Bundes zu IWM

Die Schweiz setzt IWM nach Einzugsgebieten nicht mit der gleichen Konsequenz um wie die Länder der Europäischen Union. Der Bund fördert zwar das Denken in Funktionsräumen. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Verband der Schweizer Abwasserfachleute (VSA) und verschiedene Kantone beschäftigen sich mit dem Thema.

Die verschiedenen Initiativen werden durch die Wasser-Agenda 21, einen privaten Verein, koordiniert. Sie vertritt den Standpunkt, dass die Grundsätze von Einzugsgebietsmanagement bereits heute in Eigenverantwortung anwendbar sind. Das «Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz» (2011) gibt Anweisungen. Die Wasser-Agenda 21 ist der Ansicht, dass gute Beispiele nötig sind, um IWM in der Schweiz weiter zu verankern.

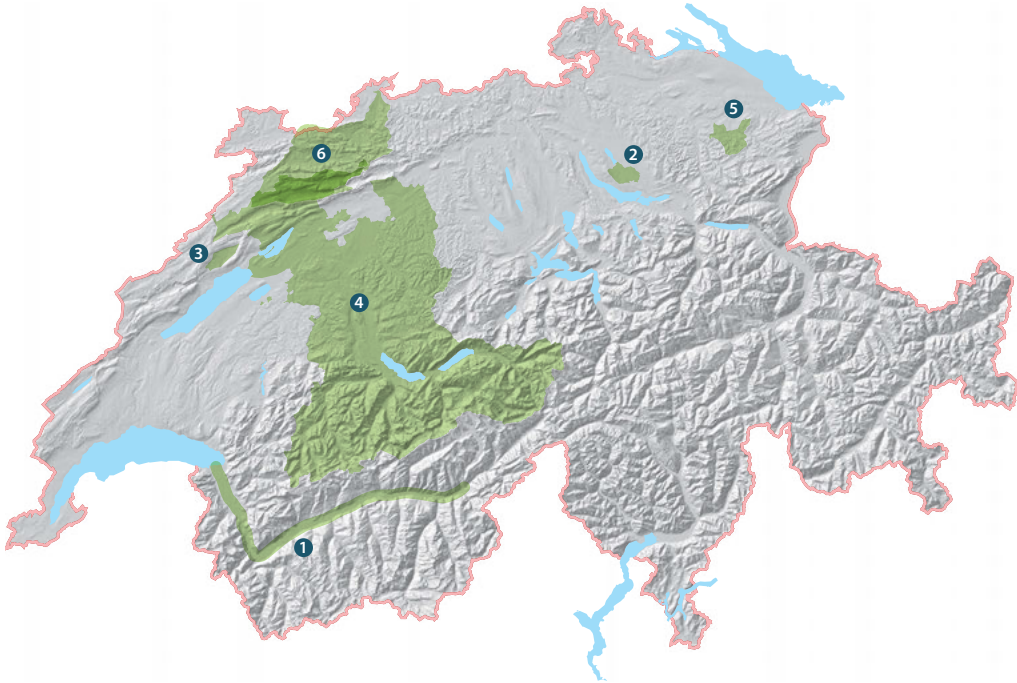
Entsprechend dem Grundsatz der Freiwilligkeit gibt es bisher in der Schweiz kaum Gesetze oder Verordnungen, die Kantone oder Gemeinden zu einem umfassenden IWM in Einzugsgebieten verpflichten. Eine der Ausnahmen ist der Gewässerschutz. Im Rahmen der Revision des Gesetzes und der Verordnung zum Gewässerschutz (2011) wurde Folgendes verankert:

- ▶ Abstimmung der Massnahmen in Einzugsgebieten (GSchV, Art. 2 und 3)
- ▶ Verpflichtung der Kantone zu einer Abstimmung der Massnahmen zum Schutz der Gewässer untereinander und mit Massnahmen aus anderen Bereichen (GSchV, Art. 46)

**«Das Wassermanagement in der Schweiz blickt in der Zukunft grossen Herausforderungen entgegen. Es zeigt sich, dass die bestehenden Strukturen nicht genügen werden.»**

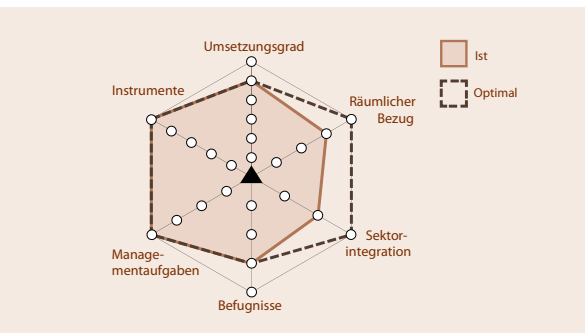
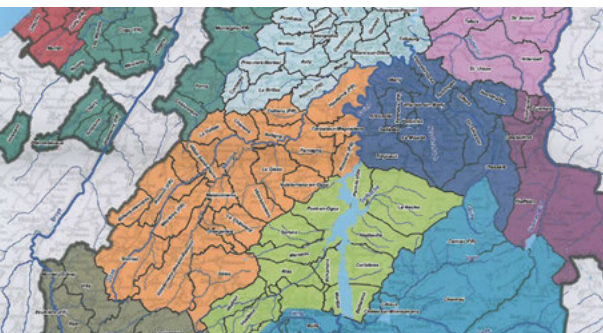
*Bernhard Truffer, IWAGO, Eawag.  
Mehr dazu siehe DVD.*

Abb. 32: Schweizer IWM-Fallbeispiele, die im NFP 61 vertieft untersucht wurden. Siehe auch Tab. 7.



Tab. 7: Charakterisierung der im Rahmen von IWAGO untersuchten Fallbeispiele.

Fallbeispiel	Kurzbeschreibung
1 Dritte Rhonekorrektur (VS)	Hochwasserschutz im Rhonetal (VS); Seitengewässer sind nicht Teil des IWM-Planungsgebietes
2 Greifensee (ZH)	Ganzheitliche und umfassende Gewässerplanung; Massnahmenplan Wasser
3 Regionalverband MultiRuz (NE)	Steigerung der Effizienz in Wasser- und Infrastrukturmanagement; alle Gemeindeaufgaben im Wasserbereich wurden an einen Gemeindeverband übergeben, inklusive Besitz der kommunalen und privaten Infrastrukturen; nicht alle Gemeinden haben sich entschieden, dem Verband beizutreten
4 Wasserstrategie des Kantons Bern	Verwaltung erarbeitete eine gemeinsame Position; Präzisierung des juristischen Handlungsspielraums und Festlegung der Prioritäten; IWM-Planungsgebiet durch Kantonsgrenze definiert; aus Sicht des IWM wäre es zweckmässig gewesen, Gebiete der Kantone Freiburg und Solothurn einzubeziehen
5 Glatt-Kommission (ZH)	Verbesserung der Gewässerqualität
6 Birs-Kommission (BE, BL, BS, JU, SO)	Förderung des IWM im Einzugsgebiet der Birs (BL); die Kommission ist für die Birs und die fünf Hauptzuflüsse zuständig, nicht aber für kleinere Zuflüsse



Der Bund und seine Partner arbeiten auch mit Vollzugshilfen. Jene zur Renaturierung der Gewässer ist eine Grundlage für die Gewährung finanzieller Hilfe an Projekte. Sie verlangt die Koordination wasserwirtschaftlicher Massnahmen und die Durchführung strategischer Planungen bei der Renaturierung von Fliessgewässern.

Die Förderung von IWM ist auch eines der Ziele der Anpassungsstrategie des Bundesrates an den Klimawandel. Zentrale Botschaften zu IWM werden bisher mittels Fachtagungen und Broschüren an die Fachleute verbreitet.

#### Wo die Schweiz mit IWM Erfahrungen hat

IWAGO identifizierte 38 Beispiele von IWM-Projekten in der Schweiz. Davon wurden sechs vertieft untersucht. Inhaltlich sind die Beispiele ganz unterschiedlich gelagert. Dies erlaubte den Forschenden, die verschiedenen Formen, die IWM in der föderalistisch organisierten Schweiz annimmt, kennenzulernen.

Alle sechs Fallbeispiele orientieren sich an Einzugsgebieten. Die von IWAGO befragten Fachleute finden diesen Punkt wichtig. Er kann zu einer effektiveren Bewirtschaftung des Wassers beitragen und die Akzeptanz für Massnahmen, die dem IWM dienen, bei Politik und Bevölkerung erhöhen. Sie verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen und sprechen ganz verschiedene Themen an. Wasserqualität, Gewässerbiologie und Abwasserreinigung sind in allen Fallbei-

spielen ein Thema. Demgegenüber sind Grundwasser, Bewässerung und Freizeitnutzung nur ausnahmsweise Teil der Überlegungen zu IWM. Beim Regionalverband MultiRuz geht es vor allem um die Wasserinfrastruktur.

#### Methode zur Bewertung der Erfahrungen

Es wurden Interviews mit Promotoren, Beteiligten und Betroffenen geführt. Die Ergebnisse der Bewertungen sind Spinnennetzdarstellungen. Die Forschenden bewerteten dabei sechs Punkte:

- ▶ Umsetzungsgrad (Skala 1–6): Gab es schon politische Entscheide? Wie lange ist die Umsetzungserfahrung?
- ▶ Räumlicher Bezug (Skala 1–4): Inwieweit handelt es sich um ein hydrologisches Einzugsgebiet?
- ▶ Sektorintegration (Skala 1–3): Wie umfassend ist die Integration der Sektoren in den Prozess?
- ▶ Befugnisse (Skala 1–4): Wie gross sind Befugnisse und Mittel, um Massnahmen zum IWM umzusetzen?
- ▶ Managementaufgaben (Skala 1–3): Welche Aufgaben deckt das Projekt ab?
- ▶ Instrumente (1–5): Wer wird wie einbezogen? Welche Instrumente werden eingesetzt?

Die Auslöser für die Projekte sind sehr verschieden. Das optimale IWM gibt es nicht. Es zeigt sich vielmehr, dass je nach Zielsetzung und regionalem Kontext ganz unterschiedliche Formen von

**Links:** Alle sechs Fallbeispiele, die im Projekt IWAGO vertieft untersucht wurden, orientierten sich an Einzugsgebieten. IWAGO

**Mitte:** Die Ergebnisse der Bewertungen des Wassermanagements wurden mit Spinnennetzdiagrammen dargestellt. IWAGO

**Rechts:** Zentrale Botschaften zu IWM werden mittels Fachtagungen und Broschüren an die Fachleute verbreitet. SWIP

**Die Spinnendiagramme (oben und auf S. 85) zeigen das theoretisch erreichbare Maximum der Integration in den sechs Bereichen (durchgezogene Linie) und das lokale Optimum, das nach Ansicht der Fachleute erreichbar ist (gestrichelte Linie). Je mehr die ausgefüllte Fläche die Spinne ausfüllt, desto höher ist der Grad der Integration.**



**Links:** Die Erfahrungen des Projektes MultiRuz (NE) sind für viele ländliche Gebiete wegweisend. IWAGO

**Mitte:** Die Wasserstrategie des Kantons Bern wurde von 2008 bis 2010 ausgearbeitet. IWAGO

**Rechts:** Bei der Birs-Kommission (BE, BL, BS, SO, JU) nutzen die Kantone ihren Handlungsspielraum. Die Gemeinden sind noch zu wenig eingebunden. Renaturierte Birs bei Grellingen (BL). Foto Regionaler Entwässerungsplan Birs, AUE BL

**Die Probleme des Wassermanagements im Val de Ruz (NE) sind typisch für viele ländliche Gebiete der Schweiz: zersplitterte Rollen, hohe Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft, schlecht funktionierende Siedlungsentwässerungen, Übernutzung des Grundwassers und Probleme beim Gewässerunterhalt.**

IWM infrage kommen. Die Ergebnisse sind im Folgenden an drei Beispielen dargestellt.

#### Regionalverband MultiRuz (NE)

Dieses Projekt erfüllt die Kriterien von IWM weitgehend (siehe Spinnennetz). Es ist ein Pilotprojekt, das für viele ländliche Gebiete in der Schweiz wegweisend sein könnte. Diese weisen oft eine hohe strukturelle Fragmentierung auf. Die Verantwortlichkeiten für die Wasserversorgung und die Abwasserentsorgung sind im Val de Ruz auf 22 Organisationen verteilt.

Aufgrund der schlechten Wasserqualität des Flusses Seyon und Problemen mit Niedrigwasser liess der Kanton Neuenburg 2005 einen regionalen Entwässerungsplan für die 16 Gemeinden des Val de Ruz erarbeiten. Der Bericht schlug einen integralen Ansatz zur Lösung der Probleme vor. Die Gemeinden entschlossen sich, neue Visionen und Ziele für eine Regionalisierung der Wasserwirtschaft zu erarbeiten und diese gemeinsam umzusetzen. Einer der Trink- und Abwasserverbände übernahm die Federführung. Es wurde eine Arbeitsgruppe gebildet. Eine Lenkungsgruppe mit Vertretern der Gemeinden, der kantonalen Fachstellen und des Bundes begleitete das Projekt (2007–2010).

In einem intensiven Dialog mit allen Beteiligten wurde eine neue Vision für die künftige Organisation der Wasserwirtschaft erarbeitet. Sie sollte einer einzigen öffentlichen Trägerschaft übertragen werden, die alle Gemeinden umfasst.

Die Trägerschaft sollte Eigentümerin aller Trink-, Abwasser- und Drainagenetze werden. Sie sollte über ein Team von Fachleuten verfügen und die Gebühren erheben. Die Prioritäten für Investitionen sollten in einer langfristigen gesamtschwarzen Planung festgelegt werden.

Für die neue Trägerschaft mussten bestehende Zweckverbände aufgelöst werden. Dazu brauchte es Abstimmungen in den Gemeinden. Im Sommer 2010 stimmten 12 Gemeinden der neuen Organisation zu. Drei Gemeinden stimmten gegen einen Beitritt, und eine Gemeinde wollte nicht abstimmen lassen. Die neue Trägerschaft nahm 2011 ihre Tätigkeit auf. Nun gelten für alle Gemeinden die gleichen Gebühren.

#### Wasserstrategie Kanton Bern

Der Kanton Bern verzichtete auf ein Wassergesetz. Er wählte einen anderen, mehr partizipativen Weg. Die Wasserstrategie wurde von 2008 bis 2010 ausgearbeitet. Der breite Einbezug von Beteiligten und Betroffenen gilt als eine der Stärken dieses Projektes. Eine Begleitgruppe mit 35 Fachleuten aus Politik, Wirtschaft, Umweltorganisationen, Planungsregionen, Gemeinden, Betreibern von Kraftwerken, Wasserversorgungen, Abwasseranlagen, Fischerei und Tourismus begleitete den Prozess. Sie konnte Anliegen einbringen und sich zu inhaltlichen Entscheiden äussern.

Unter der Federführung des Amtes für Wasser und Abfall und je einer Arbeitsgruppe wurden



drei Teilstrategien entwickelt: Wassernutzung, Wasserversorgung und Siedlungsentwässerung. Die Entwürfe der Teilstrategien wurden 2010 für eine öffentliche Mitwirkung freigegeben, die rege genutzt wurde. Sie orientieren sich an IWM. Die kantonale Wasserstrategie enthält eine Liste von Massnahmen, die bis 2015 zu realisieren sind. Es wurden Instrumente zur Priorisierung von Massnahmen entwickelt. Beispiele sind die Nachhaltigkeitsbewertung von Wassernutzungen oder die Gewässerkarte «Nutzungskategorien Wasserkraft». Diese zeigt, an welchen Gewässerabschnitten im Kanton eine Wasserkraftnutzung möglich ist.

#### Birs-Kommission (BE, BL, BS, JU, SO)

Die Regionalkonferenz der Regierungen der Nordwestschweiz beauftragte 2000 Ämter und Fachstellen, einen regionalen Entwässerungsplan für die Birs zu erarbeiten. Die fünf betroffenen Kantone – Bern, Jura, Solothurn, Baselland, Basel-Stadt – schlossen sich in einer Kommission zusammen. Der Leitungsausschuss wurde mit den Leitern der kantonalen Ämter besetzt. Das Beispiel zeigt, wie einzelne Akteure – Kantone, kantonale Ämter – den Handlungsspielraum ausnutzen und so das IWM umsetzen. Es zeigt aber auch, dass dem IWM Grenzen gesetzt sind, wenn nicht alle Betroffenen einbezogen sind. Aushandlungsprozesse finden nämlich primär zwischen kantonalen Verwaltungen in der Pla-

nungsphase statt. Sie stützen sich auf die gesetzlich vorgesehenen Aufgaben und Gefässe wie zum Beispiel den regionalen Entwässerungsplan. Die Gemeinden sind nicht in die Kommission eingebunden. Sie sind aber für die Finanzierung und die Realisierung der Massnahmen verantwortlich. Sie unterstützen die Kommission nicht überall vorbehaltlos.

#### Schlüsselfaktoren für Erfolg bei IWM

IWAGO ermittelte Erfolgsfaktoren und Herausforderungen im Zusammenhang mit IWM-Projekten in der Schweiz. Kommunikation, Partizipation und das Engagement von Einzelpersonen sind zentral für das Gelingen. Sie brauchen viel Zeit, garantieren letztlich aber noch keinen Erfolg gegen Gruppen, die solche Projekte verhindern wollen. Die Befürworter von IWM brauchen einen langen Atem, da die Zeiträume von der Planung der Projekte bis zur Umsetzung oft lang sind.

Problem- und Leidensdruck helfen. Politiker und das Stimmvolk müssen den Nutzen von zusätzlichen Strukturen und Massnahmen für die Stärkung von IWM erkennen. Dies fällt einfacher, wenn die Probleme brennen. Je kleiner ein Einzugsgebiet ist, desto mehr identifiziert sich die Bevölkerung mit solchen Projekten. In sehr grossen Einzugsgebieten fühlen sich Oberlieger kaum dafür verantwortlich, was im Unterlauf passiert. Die räumliche Distanz zwischen anfal-

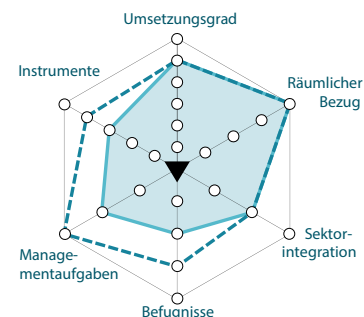
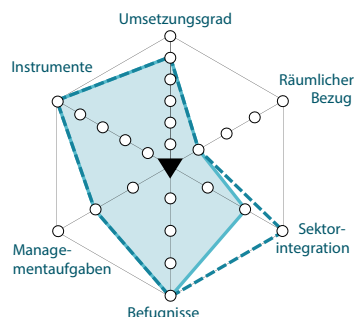
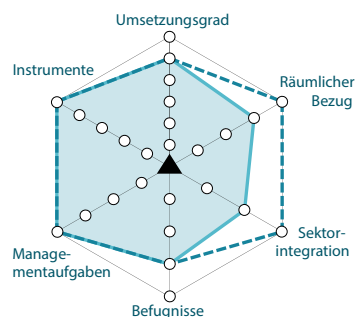
**«Dank MultiRuz kann die Planung mit einem Blick auf das Ganze erfolgen. Das vereinfacht die Planung stark, auch weil wir Besitzer all dieser Bauwerke sind.»**

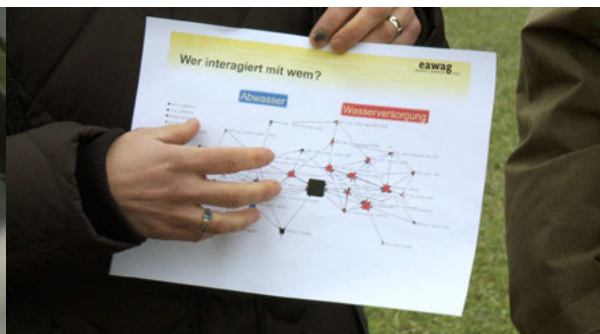
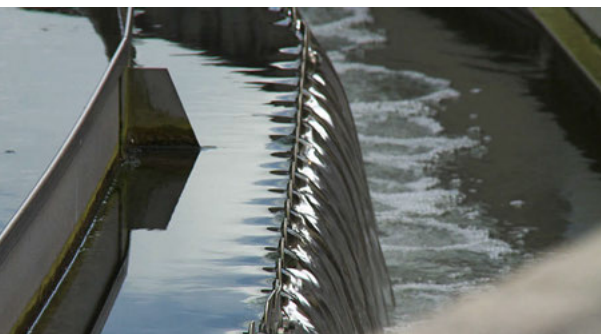
*Jonas Graf, MultiRuz.  
Mehr dazu siehe DVD.*

**Abb. 33 (links):** MultiRuz – Bewertung durch IWAGO.

**Abb. 34 (Mitte):** Wasserstrategie Kanton Bern – Bewertung durch IWAGO.

**Abb. 35 (rechts):** Birs-Kommission – Bewertung durch IWAGO.





**Links:** Im IWM geht es um Wasser und Wasserinfrastruktur. SWIP

**Mitte:** Zu viel Fragmentierung in der Verwaltung ist Gift. Sie wirkt sich nachteilig auf die Zusammenarbeit mit den Gemeinden aus. SWIP

**Rechts:** Gute Projekte brauchen eine professionelle Kommunikation und Information. IWAGO

lenden Kosten und dem Nutzen von IWM wird zu gross.

IWM braucht finanzielle Mittel und Zeit sowie eine Trägerschaft mit ausreichenden Umsetzungskompetenzen. Die Integration von Fachleuten über Ämtergrenzen hinweg erzeugt Kosten. Beispiele sind die Information, der Einbezug von Beteiligten und Betroffenen und Kosten für politische Prozesse wie Abstimmungen. Diese Kosten sind insbesondere dort hoch, wo die Zusammenarbeit für alle Beteiligten neu ist.

#### Fazit und Bilanz

IWAGO analysierte über Interviews mit Beteiligten Vor- und Nachteile der Stärkung der Integration im Wassermanagement.

Vorteile sind:

- ▶ Effektivere und nachhaltigere Lösungen.
- ▶ Kosteneffizienz und sparsamer Mitteleinsatz durch Nutzung von Synergien und Skaleneffekten.
- ▶ Höhere Akzeptanz bei Beteiligten und Betroffenen.

Nachteile sind:

- ▶ Erhöhter Aufwand für Koordination und Entscheidungsfindung.
- ▶ Schwierigkeiten beim Übergang von der Planung zur Umsetzung, insbesondere wenn neue Entscheidungsebenen geschaffen wer-

den, die bestehende Kompetenzordnungen (Gemeindeautonomie) ergänzen.

- ▶ Unterschiedliche Investitionszyklen und Finanzierungsformen erschweren die Umsetzung der Vorhaben.

#### Empfehlungen

Es braucht noch mehr Anstrengungen und Impulse, um das IWM nach Einzugsgebieten in der Schweiz zu stärken.

Die Vor- und Nachteile einer stärkeren Integration sind im Einzelfall unter Einbezug der jeweiligen Problemlage und des institutionellen oder regionalen Kontexts zu ermitteln. Es gibt kaum Faustregeln.

## Wassergouvernanz von Bund und Kantonen

**Neben Desintegration und der Fragmentierung von Aufgabenverantwortung, Umsetzung und Finanzierung gibt es bei Bund und Kantonen auch starke Kräfte und Initiativen in Richtung Integration im Wassersektor. Jeder Kanton geht seinen Weg.**

### Gute Voraussetzungen

Die Schweiz hat eine lange Tradition von Vernehmlassungen, konsensorientierter Politik und Entscheidungsfindung. Es gibt schon viele Plattformen, auch der verwaltungsinternen Koordination. Dies schafft gute Voraussetzungen für eine integrierte Wassergouvernanz im Sinne von IWM. Bund und Kantone sind es gewohnt, Aufgaben zusammen mit Dritten wahrzunehmen oder zu delegieren. Ein Beispiel ist die Wasser-Agenda 21, ein Verein, auch zur Stärkung von IWM. Fachverbände und Organisationen aus der Zivilgesellschaft sind wichtige Partner in der Wassergouvernanz.

### Projekt einer nationalen Wasserstrategie

Der Bundesrat stellte 2011 in Antworten auf parlamentarische Vorstösse die Ausarbeitung einer nationalen Wasserstrategie in Aussicht. Dies wäre eine Möglichkeit, Wassergouvernanz in der Schweiz zu stärken und die Prinzipien von IWM in der Schweiz zu verankern. Dieses Projekt erhält von den Ergebnissen des NFP 61 Rückenwind. Zur Umsetzung fehlt bisher noch die politische Unterstützung.

Kantone und Verbände sind sich einig, dass eine nationale Wasserstrategie das Rad nicht neu erfinden müsste. Es gibt schon viele Teilstrategien, auf die man sich abstützen kann. Es geht darum, Lücken zu schliessen und Querbezüge herzustellen. Kantonale Fachstellen sowie die Verbände der Wasserwirtschaft und des Umweltschutzes unterstützen das Projekt weitgehend. Sie erkennen folgende Chancen:

- ▶ Eine nationale Wasserstrategie ermöglicht die Nutzung von Synergien und minimiert Konflikte um das Wasser.
- ▶ Sie stärkt der Umsetzung der Teilstrategien des Bundes sowie von kantonalen und regionalen Initiativen zum IWM den Rücken.
- ▶ Sie ermöglicht ein einheitlicheres Auftreten sowie eine stärkere Positionierung des Wassersektors gegenüber anderen Politikbereichen.

### Wo stehen die Kantone?

IWAGO machte eine Bestandsaufnahme der Fortschritte in der Wassergouvernanz in neun Kantonen. Es bewertete die Fortschritte nach folgenden Kriterien:

- ▶ Stand der Entwicklung von Normen und Rechtsgrundlagen (z.B. Gesetze oder Verordnungen).
- ▶ Fortschritte bei Strategien (z.B. Leitbilder, Sachpläne).
- ▶ Verbesserung institutioneller Strukturen, insbesondere der Integration der Wasserthemen in der öffentlichen Verwaltung.
- ▶ Praktische Erfahrungen mit Zusammenarbeit (z.B. Projekte und Programme).

Die Untersuchung zeigt, dass die Kantone sehr unterschiedliche Prioritäten setzen. Es gibt eine grosse Vielfalt von Ansätzen, Methoden und Instrumenten. Die kantonalen Gesetze werden auch sehr unterschiedlich an das Bundesrecht angepasst. Eine Gruppe der Kantone setzt auf Normen und Rechtsgrundlagen (normative Vorreiter). Andere suchen den Fortschritt über Strategien und Leitbilder (strategische Vorreiter). Eine dritte Gruppe setzt IWM über konkrete Projekte um (operative Vorreiter). Wieder andere lassen sich nicht eindeutig zuordnen.

Für die Stärkung der Wassergouvernanz gibt es nicht bloss einen Weg. Sowohl Gesetzesänderungen als auch Strategien oder Grossprojekte können Impulse geben. Vielerorts erweisen sich kantonale Arbeitsgruppen und Koordinationsplattformen als wichtige Promotoren der nachhaltigen Wassernutzung. Im Kanton Bern gibt es Arbeitsgruppen zu den Themen Naturgefahren

**Kompetenzen zu Wasser sind oft auf verschiedene Verwaltungseinheiten verteilt. Daraus entstehen Schnittstellen. Es braucht Abstimmungsprozesse in verwaltungsinternen Koordinationsplattformen. Zusammenarbeit ist meist freiwillig.**

**Wasser-Agenda 21 ist ein Netzwerk von Akteuren der Schweizer Wasserwirtschaft. Sie befasst sich mit Nutzung und Schutz des Wassers sowie mit Hochwasserschutz. Mitglieder sind juristische Personen sowie öffentlich-rechtliche Körperschaften.**

Tab. 8: Typologie der Kantone. IWAGO

Typ	Merkmale	Beispiele
Normative Vorreiter	ausgezeichnet durch moderne, integrale Gesetzgebung im Bereich Wasser und Gewässer	AG, FR, NE
Strategische Vorreiter	ausgezeichnet durch ein oder mehrere integrale Instrumente wie Wasserstrategien	BE, LU, ZH
Operative Vorreiter	ausgezeichnet durch die Umsetzung von IWM-Vorhaben	UR, VS
Keine eindeutige Zuordnung möglich		TI

und Trockenheit. Sie wurden vom Regierungsrat eingesetzt. Im Kanton Freiburg spielt die Koordinationsgruppe Gewässer eine wichtige Rolle. Sie hat sich von einer Austausch- zu einer Arbeitsplattform entwickelt, die auch Politiken und Strategien für den Kanton entwickelt.

**Beispiel: Wassergesetz im Kanton Freiburg**

Dieser Kanton hatte bis 2010 eine veraltete Gesetzgebung in den Bereichen Gewässerschutz und Wasserbau. Dies entpuppte sich als Chance für eine umfassende Revision. Das neue Wassergesetz trat 2011 in Kraft. Es orientiert sich an einer integrierten Gewässerbewirtschaftung auf regionaler Ebene. Ziel ist eine effektive, kostengünstige Bewirtschaftung, welche die Gewässer und die Lebensräume langfristig schützt. Hochwasserschutz, Gewässerschutz und Revitalisierung der Wasserläufe sind heute nicht mehr kommunale, sondern regionale Aufgaben. Für das regionale Management bezeichnet das Gesetz die Einzugsgebiete als adäquate geographische Einheit. Der Kanton schlägt 12 Einzugsgebiete vor. Er legt die Grundzüge der Wasserpolitik über Sachpläne zu Themen wie Gewässerschutz, Wasserbau, Abwasserreinigung oder Wasserentnahmen fest. Der Prozess sollte 2014 abgeschlossen sein. Eine kantonale Kommission hat eine beratende und koordinierende Funktion. Die grössten Auswirkungen hat das neue Gesetz für die Gemeinden. Sie sind verpflichtet, sich zusammenzuschliessen und innerhalb von 5

Jahren Richtpläne für die Einzugsgebiete auszuarbeiten. Der Zusammenschluss wird durch Vereinbarungen oder die Gründung eines Gemeindeverbandes bekräftigt.

**Welche Politikinstrumente werden eingesetzt?**

Die Ziele der nachhaltigen Wassernutzung lassen sich mit ganz verschiedenen Methoden und Instrumenten erreichen. Jedes Instrument hat seine spezifischen Vor- und Nachteile. IWAGO machte eine umfassende Analyse, wie Bund und die untersuchten Kantone diese Instrumente nutzen. Zur Auswahl stehen:

- ▶ Gebote und Verbote: Grenzwerte für Verschmutzungen, planungsrechtliche Vorschriften.
- ▶ Marktwirtschaftliche und finanzielle Instrumente: Subventionen, Gebühren oder Steuern.
- ▶ Service- und Infrastrukturinstrumente: Vollzugshilfen, Infrastrukturen.
- ▶ Vereinbarungen: Verträge, Qualitätslabels.
- ▶ Kommunikationsinstrumente: Broschüren, Ausbildungen.

Gebote und Verbote spielen in allen untersuchten Kantonen eine wichtige Rolle. Marktwirtschaftliche und finanzielle Instrumente oder Vereinbarungen werden hingegen noch wenig genutzt. In Zukunft braucht es einen besseren Mix an Instrumenten. Die Instrumente müssen aufeinander abgestimmt sein. Die Erarbeitung

**«Unser kantonales Gewässerschutzgesetz war sehr veraltet. Wir packten die Chance für eine weitreichende Überarbeitung. Das neue Gesetz fördert die Zusammenarbeit zwischen den Gemeinden im Wassermanagement.»**  
*Marc Chardonens, Kanton Freiburg. Mehr dazu siehe DVD.*



einer kantonalen Wasserstrategie ist ein guter Schritt, um dies zu erreichen. Der Kanton Bern hat mit seiner Wasserstrategie (2010) wertvolle Erfahrungen gesammelt.

#### Fazit und Bilanz

Mit dem sozioökonomischen Wandel und den Folgen des Klimawandels erhöhen sich die Anforderungen an Wassergouvernanz und -management. Es braucht zunehmend eine bessere Abstimmung zwischen Ober- und Unterliegern. Zu viel Fragmentierung in der Verwaltung ist Gift. Sie wirkt sich nachteilig auf die Zusammenarbeit mit den Gemeinden aus, da es keine einheitliche Politik und Anlaufstelle gibt. Wo Nutzung und Schutz auf mehrere kantonale Direktionen verteilt sind oder die «organisatorische Distanz» gross ist, müssen Konfliktfälle auf Ebene Regierung gelöst werden.

Auf Ebene Bund ist das «Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers» (2011) bei allen Akteuren breit abgestützt. Leider gibt es noch keine nationale Wasserstrategie. Vorstösse im Bereich Wasser bleiben so oft sektoriell und auf Einzelprobleme fokussiert. Kantone, die in ihre Wassergouvernanz investieren, sind anpassungsfähiger an die zu erwartenden Veränderungen im Wasserhaushalt. In vielen Kantonen können hier noch Fortschritte gemacht werden. Es gibt noch relativ wenig Erfahrung mit sektorübergreifender Planung und Strategien.

#### Empfehlungen

Die Kantone können ihren Spielraum in der Verfügungshoheit über die Wasservorkommen noch besser nutzen. Sie können die Bedeutung der Wassersektoren in ihrem Gebiet analysieren und den Mix an Instrumenten zur Stärkung ihrer Wassergouvernanz entsprechend auswählen. Es braucht eine Zusammenarbeit über den Wassersektor hinaus. Die Erarbeitung von Wasserstrategien könnte diese Zusammenarbeit festigen, sowohl auf Ebene Bund als auch auf kantonomer Ebene.

**Links:** Der Kanton Freiburg hat seit 2011 ein modernes Wassergesetz. IWAGO

**Mitte:** Marktwirtschaftliche und finanzielle Instrumente werden in der Schweiz noch wenig genutzt.

Foto Esther Schreier

**Rechts:** Die Schweiz braucht eine nationale Wasserstrategie. Vorstösse im Bereich Wasser bleiben sonst oft sektoriell und auf Einzelprobleme fokussiert.

Foto [www.swissworld.org](http://www.swissworld.org)



**«IWAGO hat Wege aufgezeigt, wie man das Wassermanagement der Schweiz in kleinen Schritten verbessern kann.»**

*Olivier Chaix, IWAGO.  
Mehr dazu siehe DVD.*

## Eine sanfte Reform für mehr IWM

**Das NFP 61 entwickelte zusammen mit Fachleuten eine Agenda zur Stärkung der Nachhaltigkeitsprojekte.**

### Schweizer Weg

Zur Bewältigung der Wasserprobleme der Zukunft genügt es nicht, nur Managementprozesse zu optimieren. Es sind auch grundlegende Anpassungen in der Gouvernanz nötig. Dazu braucht es einen Impuls auf Bundesebene. Dieser soll den Kantonen genügend Freiheiten lassen. Folgt man den Ergebnissen der Thematischen Synthese TS 4 (Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft) braucht es Fortschritte bei:

- Integration: horizontale und vertikale Abstimmung über räumliche Grenzen, Sektoren und Staatsebenen hinweg.
- Klarheit und Funktionsfähigkeit der Strukturen und Prozesse, insbesondere auch Mechanismen zur Konfliktlösung.
- Partizipation: aktive und transparente Beteiligung relevanter Akteure.
- Anpassungsfähigkeit: genügende Ausstattung mit Ressourcen; Fähigkeit, neues Wissen zu verbreiten und umzusetzen.

Fortschritte werden sowohl über staatliche Vorgaben als auch über Lern- und Aushandlungsprozesse erzielt. Dabei ist es wichtig, gute Voraussetzungen zu schaffen, dass solche Prozesse gestartet und erfolgreich umgesetzt werden können. Es braucht Vorgaben, Anreize und Programme. Es macht aber keinen Sinn, in der föderalistisch geprägten Schweiz integriertes Wassermanagement (IWM) in Einzugsgebieten flächendeckend umzusetzen. Eine Analyse, wo ein IWM in Einzugsgebieten erforderlich und sinnvoll ist, ist aber zielführend.

IWM und insbesondere die Wassergouvernanz können in der Schweiz ohne die Schaffung zusätzlicher Institutionen gestärkt werden. Parallel dazu ist aufzuzeigen, wie Entscheide in anderen Politikbereichen die Wassernutzung sowie Mög-

lichkeiten zur Anpassung an mögliche Folgen des Klimawandels beeinflussen.

### Zielsystem

Die Thematische Synthese (TS) 4 macht dazu einen Vorschlag: Sie spricht alle Ebenen der Nachhaltigkeit an. Dieser Blick auf das Ganze ist in der Praxis noch wenig verankert (siehe Tab. 9). Beteiligte und Betroffene können mit diesem Zielsystem ein gemeinsames Verständnis für die Probleme und eine Vision für die Zukunft entwickeln. MONTANAQUA hat dazu die Methode des Nachhaltigkeitsrades entwickelt. Die Akteure einigen sich auf konkrete Ziele.

### Stärkung der Wasserpolitik des Bundes

Neben dem Projekt einer nationalen Wasserstrategie geht es auch um die materielle Harmonisierung der Wassergesetzgebung, die Förderung des Wissensaustausches und die Prüfung der Vereinbarkeit von Subventionen und Fördermechanismen mit Prinzipien der nachhaltigen Wassernutzung. Mit einer nationalen Strategie können bestehende Teilstrategien des Bundes verbunden und ergänzt werden. Zudem gibt sie Impulse für die Verbesserung der Zusammenarbeit unter den Akteuren. Eine solche Strategie kann Wege zur Lösung der Konflikte aufzeigen. Die Alternative wäre ein Wasser- oder Wasserrahmengesetz. Aufwand und Risiken eines solchen politischen Prozesses sind aber erheblich. Folgt man den befragten Fachleuten, sind im Moment materielle Verbesserungen wichtiger. Eine Wasserstrategie ebnet den Weg für solche Verbesserungen. Diese lassen sich auch über Gesetzesanpassungen herbeiführen:

- Die Einführung einer Pflicht zur kantonsübergreifenden integralen Planung in Einzugsgebieten, wenn es die Probleme erfordern
- Finanzielle Beiträge an Projekte werden an die Bedingung gekoppelt, dass es integrale Planungen und Trägerschaften auf Ebene Einzugsgebiet gibt

Weiter soll – wie bis anhin – in Praxisanleitungen, Vollzugshilfen oder Pilot- und Modellpro-

jekte investiert werden. Über Ausbildung und Wissensaustausch lässt sich im föderalistischen Staat oft mehr erreichen als über Vorschriften.

**Kantonale Wassergesetze oder –strategien**

Zur Bewältigung der künftigen Herausforderungen der nachhaltigen Wassernutzung braucht es die Kantone. Wasser steht zu grossen Teilen unter ihrer Hoheit. Alle von IWAGO untersuchten IWM-Projekte, die Erfolg hatten, wurden von Kantonen geplant und umgesetzt. Die NFP 61-Projekte haben eine Reihe von neuen Aufgaben identifiziert, welche die Kantone zur Sicherung der Nachhaltigkeit in der Wassernutzung unter Umständen übernehmen müssen (siehe Tab. 10). Kantone können zur Stärkung der Wassergouvernanz verschiedene Wege gehen. Ein kantonales Wassergesetz, eine Wasserstrategie oder Planungen aufgrund der jüngsten Revision des Gewässerschutzgesetzes (2011) sind gute Beispiele. Der Kanton Freiburg setzte auf ein neues Wassergesetz, der Kanton Bern auf eine kantonale Wasser-

strategie. Die Kantone sind auf die Kooperation und die Initiative der Gemeinden angewiesen. Sinnvolle, übergeordnete Lösungen wie zum Beispiel regionale IWM-Projekte werden heute noch zu oft durch den Widerstand Einzelner oder Weniger blockiert. Der frühzeitige Einbezug der Betroffenen kann ein erster Schritt sein, um diese für Lösungen zu gewinnen. Erfolgreiche IWM-Projekte haben eine gute Kommunikation. Letztlich gibt es aber nur wenige Möglichkeiten, das Mitmachen von Akteuren im öffentlichen Interesse im Wassersektor behördlich durchzusetzen. Kantonale Finanzierungsinstrumente sind so auszurichten, dass Anreize für integrale Betrachtung bestehen. Die Kantone sollten bei allen Vorhaben und Projekten eine Betrachtung im Einzugsgebiet verlangen. Sektorale – allenfalls gar widersprüchliche – Subventionen sollten abgeschafft werden.

**Tab. 9:** Zielsystem. Thematische Synthese TS 4.

Nachhaltigkeitsdimension		Kriterium	Beschreibung
Wirtschaftliche Leistungsfähigkeit	W1	Wassernutzen optimieren	Die wirtschaftlichen Bedürfnisse der Wassernutzer sind befriedigt
	W2	Wassernutzungen effizient und kostengünstig gestalten	Die Wassernutzungen weisen langfristig tiefe Kosten aus (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten)
	W3	Siedlungsgebiete und Infrastrukturen vor Hochwasser schützen	Schäden sind minimiert
Ökologische Verantwortung	U1	Naturräume und Artenvielfalt im und am Gewässer erhalten	Die Natur im und am Gewässer kann sich vielfältig und natürlich entwickeln
	U2	Wasserquantität	Keine Übernutzung; Restwassermengen müssen ausreichen
	U3	Wasser- und Gewässerqualität sicherstellen	Grund- und Oberflächengewässer werden nicht durch chemische und biologische Verunreinigungen oder zu hohe oder zu tiefe Temperaturen belastet
Gesellschaftliche Solidarität	S1	Gerechtigkeit und Solidarität gewährleistet	Kosten, Nutzen und Risiken sind unter den Beteiligten fair verteilt; regional, sozial, zwischen den Interessen und Generationen
	S2	Soziokulturelle Werte erhalten	Bedeutung der Gewässer für Seele, Kultur, Erholung und Tourismus bleibt erhalten
	S3	Gesundheit der Menschen fördern und schützen	Gesundes Trinkwasser und hygienische Entsorgung sind gewährleistet

**Tab. 10:** Mögliche neue Aufgaben für die Kantone, auf der Basis der Ergebnisse der Projekte des NFP 61.

Thema	Aufgaben für die Kantone
Schwindende Gletscher	Monitoring der Veränderungen und laufende Beurteilung des Gefahrenpotenzials Untersuchungen zur Einschätzung des Potenzials (Energie, Tourismus) und der Risiken der neuen Seen Anpassung der Schutzperimeter des Natur- und Landschaftsschutzes an Veränderungen im Hochgebirge Berücksichtigung der Veränderungen in Landschaft und Umwelt in Politik, Recht und Verfügungen (z.B. Konzessionen)
Starkniederschläge, Hochwasser und Geschiebe	Kartierung der Speicherkapazität von Einzugsgebieten, die für die Bildung von Hochwasser «kritisch» sind Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Geschiebehaushalt in Gewässern, in denen der Klimawandel Veränderungen bewirkt Schutz naturnaher Gewässerabschnitte als Rückzugsgebiete für Fische, insbesondere in Gewässern, in denen Niedrigwasser häufiger werden
Wasserressourcen der Zukunft	Systematische Erfassung und Analyse der Karstwassersysteme Monitoring zur Früherkennung von Situationen, in denen eine Übernutzung der Wasserreserven droht Schutz der wichtigen Grundwasserleiter, zum Beispiel durch raumplanerische Massnahmen
Sommertrockenheit und Niedrigwasser	Mitarbeit beim Aufbau neuer Messnetze für Bodenfeuchte, Grundwasser und Verdunstung IWM-Projekte in Gebieten, die von Trockenheit und Niedrigwasser bedroht sind Dispositive für extreme Trockenperioden
Wo die Landwirtschaft mehr Wasser braucht	Regionale Studien und Dialogprozesse zur Stärkung der Klimaanpassung in der Landwirtschaft Regulatorische Massnahmen in Regionen, in denen eine Übernutzung des Wassers droht (Wasserkontingente)
Flurbewässerung und alpine Kulturlandschaft	Projekte zur nachhaltigen Sicherung und zur Modernisierung traditioneller Bewässerungssysteme Abgeltung der ökologischen Mehrleistungen, die die Landwirtschaft mit der Bewässerung erbringt
Wachsender Siedlungs- und Nutzungsdruck	IWM-Projekte in Gebieten unter Siedlungs- und Nutzungsdruck Förderung von regionalem IWM in den Einzugsgebieten durch Impulse, Anreize, Planungs- und Fördermassnahmen Ökologische Begleitforschung von Massnahmen an stark belasteten Gewässern Regionale Planungen der Abwasserentsorgung Berücksichtigung der Interessen der nachhaltigen Wassernutzung bei raumwirksamen Massnahmen (z.B. Richtplanung)
Trinkwasser aus Grundwasser	Förderung von Untersuchungen möglicher Auswirkungen des Klimawandels bei Trinkwasserversorgungen, die mehrheitlich aus Flussinfiltrat gespeist werden Förderung der regionalen Zusammenarbeit unter Wasserversorgern



### Förderung regionaler IWM-Projekte

Mit einer stärkeren Regionalisierung und einem IWM in Einzugsgebieten können die Probleme, die sich in Zukunft stellen, besser gelöst werden. Bund und Kantone können Regionalisierungen durch finanzielle Anreize stärken. Beispiele sind:

- ▶ Regionalisierung nach bestehenden politischen Einheiten oder Zweckverbänden (Kantone, Planungsregionen, Gemeinden)
- ▶ Zweckgebundene Regionalisierungen, ausgerichtet auf Probleme im Wassersektor

Die Regionalisierung nach politischen Einheiten oder Zweckverbänden ist nicht überall geeignet. Es stellt sich das Problem, dass die Gewässer oft nicht den Grenzen zwischen den Einheiten folgen. Deshalb sind zur Lösung der Probleme mehrere politische Einheiten anzusprechen. Zweckgebundene Regionalisierungen (Funktionsräume) haben Vorteile. Diese können sich nach dem Wasserproblem, das zu lösen ist, richten. Viele IWM-Projekte arbeiten in Perimetern von 300–500 km<sup>2</sup>. Unter Umständen können sich nach diesem dritten Ansatz (Funktionsräume) Perimeter für IWM-Projekte auch überlagern. Es gibt kein Standardmodell, keine überall anwendbare Lösung. Die Probleme sollen nach ihrer Dringlichkeit angepackt werden. IWAGO diskutierte mit Wasserfachleuten Erfolgsfaktoren und Massnahmen zur Stärkung von IWM in der Schweiz. Ein Förderprogramm könnte wie folgt aussehen:

- ▶ Eine nationale Wasserstrategie unterstützt die Anstrengungen der Kantone. Sie verpflichtet diese, ein flächendeckendes Grobscreening für IWM in Einzugsgebieten durchzuführen und dem Bund Bericht zu erstatten.
- ▶ Nach erfolgtem Grobscreening ist die Umsetzung des IWM – dort wo sinnvoll – Sache der Kantone. Der Bund unterstützt und begleitet mit Leitbild und Praxisanleitungen.
- ▶ Der Bund zahlt den Kantonen Subventionen für die Mehrkosten für solche integrierte Planungen. Er prüft weitere finanzielle Anreize zur Förderung von regionalen IWM-Projekten. Er überprüft sektorielle Finanzierungsinstrumente auf mögliche Fehlanreize und Konflikte.
- ▶ Der Bund ist verantwortlich für die Erfolgskontrolle der Planung und Umsetzung von IWM in der Schweiz.

Die Fachleute sehen keinen Bedarf für weitere Anpassungen im Bundesrecht. Sie diskutierten auch weiterführende Vorschläge:

- ▶ Etablierung von Einzugsgebietsräten, nach dem Modell der Regionalkonferenz.
- ▶ Den Mehrwert, der für Akteursgruppen und die Gemeinschaft entsteht, mehr in den Vordergrund rücken.
- ▶ Investitionen in verlässliche Daten, die auch saisonale Schwankungen im Wasserhaushalt und beim Wasserbedarf abbilden.

**Links:** Der frühzeitige Einbezug der Betroffenen kann ein erster Schritt sein, um diese für Lösungen zu gewinnen.

Foto Emmanuel Rey

**Mitte:** Integriertes Wassermanagement über zweckgebundene Regionalisierungen funktioniert dort, wo ein echtes Problem zu lösen ist. Ein Beispiel ist der Sempachersee (LU). Er wurde innert 30 Jahren wieder sauber.

Foto Ueli Raz

**Rechts:** Partizipation ist wichtig. Sie fördert die Unterstützung für Projekte bei Akteuren und in der Bevölkerung. So kann Erfahrungswissen aus der Region einfließen. Foto Max Maurer

**«Die Behörden des Kantons Wallis haben realisiert, dass die Ressource Wasser knapp wird und dass es ein integriertes Management braucht.»**

*Martin Funk, FUGE, ETH Zürich*

### **Ist diese sanfte Reform für mehr IWM realistisch?**

Der Vorschlag des NFP 61 – Bundespolitik, kantonale Gesetze oder Strategien, regionale IWM-Projekte – erlaubt differenzierte Lösungen. Er ist effektiv und kann ohne grosse Kosten umgesetzt werden. Die Akzeptanz bei Beteiligten und Betroffenen ist gross. Bei der Umsetzung können folgende Widerstände auftreten:

- Verwaltungseinheiten arbeiten in der Regel nur dann zusammen, wenn ihre politischen Zielsetzungen übereinstimmen.
- Gemeindeautonomie und Eigentumsrechte sind ein hohes Gut.
- Die Zusammenarbeit zwischen Raumplanung und Wassermanagement steckt noch in Kinderschuhen.
- Es gibt noch wenig Erfahrungen mit einem Finanzausgleich oder Geldtransfer zwischen Gemeinden oder Sektoren (zum Beispiel ARAs).
- Auf kantonaler Ebene fehlt es vielerorts noch an gesetzlichen Grundlagen für den Vollzug eines regionalen IWM.

### **Nachhaltige Wassernutzung als Lernprozess**

Das NFP 61 entwickelte auch eine sozialwissenschaftliche Perspektive zur Wassergouvernanz. Partizipation ist wichtig. Sie fördert die Unterstützung für Projekte bei Akteuren und in der Bevölkerung. So kann Erfahrungswissen aus der Region einfließen. Anpassungsfähigkeit ist ebenso wichtig. Sie setzt Fähigkeit zum Lernen voraus. Dies braucht Vertrauen untereinander. Es braucht die Fähigkeit der Akteure, Werte, die hinter Routinen und Abläufen stehen, kritisch und bezüglich ihres Beitrages an die Nachhaltigkeit der Wassernutzungen zu hinterfragen. Zudem braucht es funktionsfähige Strukturen. Nur wenn klar ist, wer welche Rechte und Pflichten hat, können Konflikte gelöst werden.

### **Wie kann IWM finanziert werden?**

Das Beispiel des Agglomerationsverkehrs zeigt, wie die Finanzierung auf Basis eines integralen Konzepts funktionieren könnte. In der Wasserwirtschaft gibt es kaum solche Ansätze. Die zer-

stückelten Finanzierungs- und Subventionsmechanismen bei Bund und den Kantonen erweisen sich als ein Hindernis für integrierte Betrachtungen. Gebühren (z.B. Abwassergebühren) dürfen nicht zweckentfremdet werden. Querfinanzierungen sind nicht erlaubt. Es ist wichtig, dass die Finanzierungsinstrumente so ausgerichtet werden, dass Anreize für integrale Herangehensweisen bestehen. Sektorale Subventionen sollten wenn möglich abgeschafft werden.

### **Empfehlung**

Die Vorschläge in diesem Kapitel bilden eine realistische Agenda für die Stärkung der Nachhaltigkeit der Wassernutzung in der Schweiz. Sie verdienen eine weitergehende Diskussion.



## Planung nachhaltiger Wasserinfrastruktur

**Zweckgebundene Regionalisierungen (Funktionsräume) für IWM-Projekte entstehen oft mit der Planung oder der Lösung von Problemen rund um Wasserinfrastruktur. Das NFP 61 erarbeitete dazu Methoden.**

### Planungen als Auslöser

Regionale Zusammenarbeit wird im Wassersektor immer wichtiger. Beispiele sind der Hochwasserschutz oder Projekte zur Bereinigung von Strukturen (Regionalisierung) bei der Abwasserreinigung, Bewässerung oder Trinkwasserversorgungen. Der Kanton Aargau (AG) setzt zum Beispiel seit 1985 auf die Regionalisierung der Abwasserreinigung. Zurzeit (2013) sind 10 ARA-Zusammenschlüsse in der Studien-, Planungs- oder Realisierungsphase.

Die Ergebnisse des NFP 61 zeigen, dass das System Wasserinfrastruktur den ganzen Gewässerraum und die Landnutzung im Einzugsgebiet umfasst. Es geht nicht nur um Bauten. Landnutzung und Siedlungsentwicklung sind Teil des Systems. Zudem wird Wasserinfrastruktur meist für lange Zeiträume geplant. Es braucht deshalb gemeinsame Visionen sowie eine Harmonisierung der Ziele und Strategien unter Beteiligten und Betroffenen. Dies ist der Ausgangspunkt für IWM-Projekte.

Heute richtet sich jeder Akteur bei der Planung seiner Infrastrukturanlagen nach spezifischen, in der Regel kurzfristigen Zielen. Von Trinkwasserversorgungen wird erwartet, dass sie jederzeit genügend Wasser in bester Qualität produzieren. Die Bewässerung hingegen ist Sache der Landwirtschaft. Wenn die Ressourcen knapper werden, wird diese Fragmentierung zum Hindernis. Dies zeigt sich heute insbesondere in Ballungsräumen mit Siedlungs- und Nutzungsdruck.

### Schritte im Planungsprozess

Das Projekt SWIP entwickelte und testete neue Instrumente für die Planung der Infrastrukturen der Siedlungswasserwirtschaft. Das Problem

der unsicheren Rahmenbedingungen für die Zukunft (Betrachtungszeitraum 2010 bis 2050) wurde angepackt. Die Fachleute entwickelten Szenarien für die künftige sozioökonomische Entwicklung. Sie legten Optionen für technische und organisatorische Massnahmen fest, die im Planungsprozess zu prüfen waren. Diese flossen direkt in die Simulation des Investitionsbedarfs bei der Infrastruktur ein.

Solche Planungen brauchen auch Expertenwissen zur Bewertung der bestehenden Infrastruktur. SWIP beschäftigte sich mit dem Alterungsprozess und den zukünftigen Leistungen des Leitungsnetzes. SEDRIVER machte Untersuchungen zur Stabilität von Uferverbauungen im Hochwasserschutz. Der Klimawandel im Hochgebirge hat einen Einfluss auf den Geschiebehaushalt in den Flüssen und damit auf die Stabilität der Verbauungen.

### Multikriterielle Entscheidungsanalyse (MCDA)

SWIP und IWAQA arbeiteten in einem Gebiet mit erheblichem Siedlungs- und Nutzungsdruck. Sie prüften die Anwendbarkeit dieser Methode (MCDA) für die Bewertung von Handlungsoptionen. Die Methode könnte in Zukunft andere Methoden wie Nutzwertanalyse oder Kosten-Nutzen-Analyse ergänzen.

Die MCDA sieht vor, dass Ziele definiert werden, die für die Nachhaltigkeit der Infrastrukturen von Bedeutung sind. Gleichzeitig werden verschiedene Handlungsoptionen entwickelt. Bei SWIP waren dies unterschiedliche technische und organisatorische Ausgestaltungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. MCDA ist noch neu für die Schweiz. Es braucht Ausbildungen für Ingenieur- und Beratungsbüros, um sie bekannter zu machen. Sie kann insbesondere dort, wo die Entscheide stark konfliktträchtig sind, zur Versachlichung beitragen. Die Handlungsoptionen werden nicht nur monetär bewertet, sondern über das Erreichen der verschiedenen Ziele analysiert.

**Tab. 11:** Beiträge der NFP 61-Projekte zur Planung von Wasserinfrastruktur.

Infrastruktur	NFP 61-Projekt	Grundlagen	Planungsmethoden
Bewässerung	AGWAM	×	×
	DROUGHT-CH	×	
	WATERCHANNELS	×	
	MONTANAQUA	×	×
Energie	FUGE	×	×
	NELAK	×	
Trinkwasser	SWIP	×	×
	GW-TREND	×	
	SWISSKARST	×	×
	RIBACLIM	×	
	GW-TEMP	×	
Abwasser	MONTANAQUA	×	
	SWIP	×	×
	IWAQA	×	
Hochwasserschutz	HYDROSERV		×
	SACFLOOD	×	×

**Die Methoden sind in der Thematischen Synthese 3 (TS 3) «Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz: Herausforderungen und Handlungsoptionen» praxisnah beschrieben. Die Eawag stellt auch Onlineressourcen zur Verfügung.**

Die Präferenzen der Akteure für die Ziele werden erhoben. Die einzelnen Schritte sind:

- ▶ Das Problem, zu dem Entscheidungen anstehen, und die Systemgrenzen definieren. Eine Akteursanalyse hilft, zu bestimmen, wer in den Planungsprozess einzubeziehen ist.
- ▶ Ziele definieren und durch die Wahl von Attributen sicherstellen, dass sie messbar sind. Das SWIP-Team empfiehlt, das Zielsystem in einem Workshop mit den Beteiligten zu diskutieren.
- ▶ Alternative Lösungen entwickeln. Es ist wichtig, in einem kreativen Prozess zusammen mit den Akteuren ein breites Spektrum von Alternativen (Handlungsoptionen) zu entwickeln.
- ▶ Prognosen für jede Alternative machen. Für jede Handlungsoption wird berechnet, wie gut das jeweilige Ziel respektive Attribut erreicht wird. Dazu braucht es Experteneinschätzungen oder Modelle. Zukünftig könnte diese Arbeit durch Ingenieurbüros übernommen werden.
- ▶ Präferenzen der Akteure erheben. Dieser Schritt ist zentral in der MCDA. Die Akteure werden gefragt, wie wichtig es ihnen ist, dass

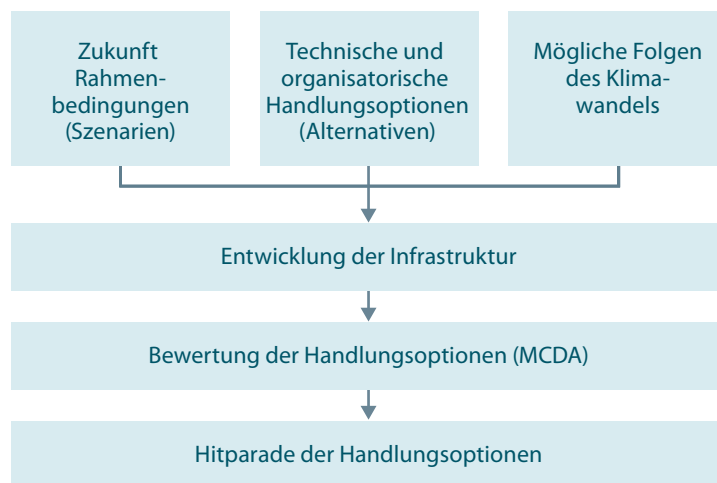
ein Ziel erreicht wird. MCDA-Fachleute erheben sogenannte Wertefunktionen. Diese übersetzen die Attribute – zum Beispiel Kosten, Grad der Gewässerverschmutzung – auf eine neutrale Skala zwischen 0 und 1.

- ▶ Trade-offs abschätzen und Alternativen auswählen. In diesem Schritt werden die «objektiven» Vorhersagen aus Schritt 4 mit den «subjektiven» Präferenzen der Akteure (Schritt 5) verknüpft. Handlungsoptionen, die mit den Akteuren vertieft diskutiert werden sollen, werden identifiziert.
- ▶ Umsetzung, Monitoring, Überprüfung.

#### **Zielsystem für nachhaltige Wasserinfrastruktur**

SWIP entwickelte zusammen mit Akteuren aus der Siedlungswasserwirtschaft ein Zielsystem, das für andere Planungen nützlich ist. Jedes Ziel wurde mit Attributen beschrieben und so messbar gemacht. Zudem gewichtete jede Person die Bedeutung der Ziele. Die Erfahrungen von SWIP stehen für weitere Anwendungen von MCDA in der Siedlungswasserwirtschaft zur Verfügung.

**Abb. 36:** Langfristige Planung nachhaltiger Wasserinfrastrukturen. SWIP



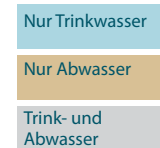
### Was braucht es zum Gelingen?

Die Erfahrungen aus SWIP erlauben eine Einschätzung, welche Faktoren zum Gelingen von MCDA-gestützten Verfahren beitragen:

- ▶ Es muss sich um ein wirkliches, nicht triviales Entscheidungsproblem handeln. Es braucht das Interesse der Akteure an einer konsensorientierten, nachhaltigen Lösung.
- ▶ Es ist wichtig, dass Schlüsselakteure den Einsatz dieser relativ komplexen Methode unterstützen.
- ▶ Die Beteiligung der Akteure an den Workshops und in Interviews ist klar und verbindlich zu regeln.



**Abb. 37:** Zielsystem für nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft für Bewertungen (Wie gut wird jedes Ziel erreicht? Wie wichtig sind die Ziele für die Akteure?). SWIP



## Hydrologische Ökosystemleistungen berechnen

In regionalen IWM-Projekten kann die Frage auftauchen, wie hydrologische Ökosystemleistungen (HESS), die Oberlieger erbringen, quantifiziert und von den Unterliegern abgegolten werden können. Das NFP 61 entwickelte dazu Methoden. Es zeigt auch, dass die Anwendungsmöglichkeiten in der Schweiz weniger gross sind als erwartet.

### Regionale Analysen

Hydrologische Ökosystemleistungen (HESS) sind alle mit Wasser in Zusammenhang stehenden Leistungen, die Ökosysteme – zum Beispiel das Einzugsgebiet eines Flusses – erbringen. Es geht um Leistungen in den Bereichen Trinkwasser, Hochwasserschutz oder Abwasser. Der Ansatz ist in Ländern, in denen tropische Starkniederschläge den Wasserhaushalt bestimmen oder in denen die Landnutzung weniger stark reguliert ist, bereits vielerorts verankert. HYDROSERV prüfte die Anwendbarkeit dieses Ansatzes in der Schweiz. Es analysierte die Zusammenhänge zwischen Landnutzung und HESS. Mit

diesen Daten können Politik und Verwaltung bei der Entwicklung von regionalen Massnahmen unterstützt werden. Denkbar wären Massnahmen wie finanzielle Anreizsysteme zur Änderung der Landnutzung am Oberlauf eines Flusses, sofern dies Ergebnisse für die Unterlieger zeitigt.

### Systemansatz

HYDROSERV deckte mit seinen Untersuchungen den Zeithorizont bis 2030 ab. Die Landnutzung und deren mögliche Veränderung wurden regional erfasst und modelliert. Der methodische Ansatz erlaubt, die Auswirkungen verschiedener Szenarien zur Siedlungs- und Agrarpolitik auf die Landnutzung zu berücksichtigen.

Die Landnutzungsmodelle wurden mit hydrologischen Modellen verbunden. Die Forschenden untersuchten, wie sich Klima- und Landnutzungsänderungen auf HESS auswirken. Sie stellten sich die Frage, ob mit dem Wert der HESS Anreize zu Landnutzungsänderungen gegeben werden können. Das Projekt führte die Teiluntersuchungen in einem Bayesschen Netzwerk zusammen. So gelang eine Verknüpfung zwischen den natürlichen und den sozialen Systemen. Die Ergebnisse der Modellrechnungen wur-

Für die Ermittlung und Bewertung der hydrologischen Ökosystemleistungen braucht es eine Umfrage. Die Fragen müssen einfach und verständlich sein.

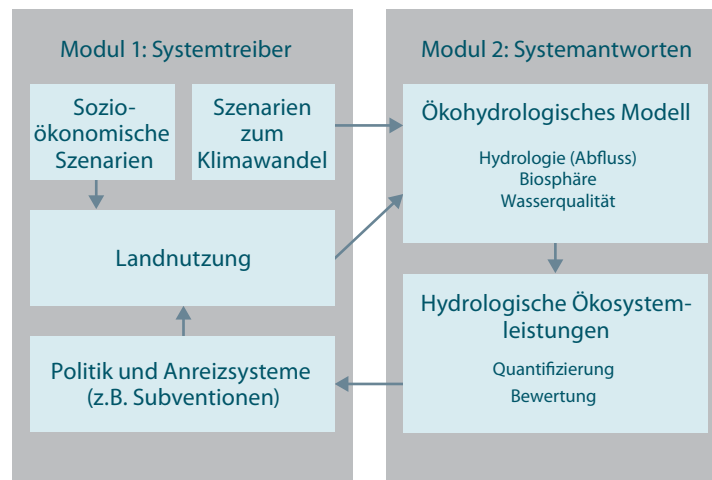
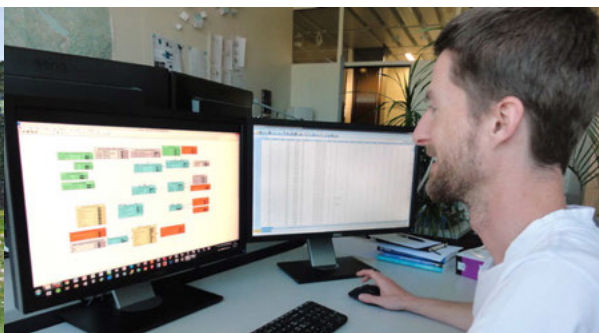


Abb. 38: Systemansatz zur Quantifizierung von hydrologischen Ökosystemleistungen.



den mit Betroffenen und Beteiligten besprochen. Es zeigte sich, dass die Kopplung dieser Systeme im Schweizer Kontext noch schwierig ist.

### Befragung der Präferenzen

Ein wichtiges Element für die Inwertsetzung der HESS sind Informationen über die Präferenzen und die Zahlungsbereitschaft in der Bevölkerung. HYDROSERV führte dazu eine Befragung mit der Methode «Choice Experiment» durch: Die befragten Personen mussten sich zwischen zwei alternativen Szenarien oder Massnahmen, die unterschiedliche Kosten nach sich ziehen, entscheiden. Die Zahlungsbereitschaft für Massnahmen wurde mithilfe dieser Präferenzen berechnet.

Das Projekt beschränkte sich bei der Umfrage auf HESS im Hochwasserschutz. Zur Diskussion standen Alternativen bezüglich Waldfläche, Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung. Im Entlebuch (LU) wurde die Umfrage durch den Umstand beeinflusst, dass die stärkste Partei in der Region ihrer Wählerschaft empfahl, im Fragebogen konsequent den Status quo zu bevorzugen. Dazu machte sie sogar einen Aufruf in der Tagespresse.

### Welchen Mehrwert schaffen solche Untersuchungen?

Sie können zeigen, wo Trade-offs zwischen verschiedenen Nutzungsansprüchen wichtig sind. Ober- und Unterlieger denken über gemeinsame Verantwortlichkeiten und Kostenträgerschaften nach. Im Idealfall liesse sich mit solchen Untersuchungen bestimmen, wie sich Trends oder Politikentscheide im Agrar-/Forstsektor oder in der Raumplanung auf den Wasserhaushalt auswirken. Sie können helfen, Schwellenwerte in der Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für HESS zu erkennen.

Politikinstrumente wie Anreizzahlungen für HESS haben in Ländern wie der Schweiz nur einen beschränkten Einfluss auf das Entscheidungsverhalten der Akteure. Damit sie wirken, müssen sie mit anderen Instrumenten und Massnahmen abgestimmt werden. Zudem scheint die Wirkung der Landnutzung auf HESS wie die Entstehung von Hochwasser in einem Gebiet wie dem Entlebuch eher klein zu sein.

**Links:** 3-D-Visualisierungen von Landschaften erlauben es der Bevölkerung, Auswirkungen von Massnahmen zu beurteilen. HYDROSERV

**Mitte:** Solche Analysen basieren auf komplexen Modellen. Foto Andrea Ryffel

**Rechts:** HYDROSERV untersuchte, unter welchen Umständen Entscheidungsträger bereit sind, Flächen verwalten zu lassen. HYDROSERV



## Integrierte Bewertung von Fließgewässern

Zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Fließgewässern muss eine erhebliche Anzahl gesellschaftlich legitimer Ansprüche gleichzeitig berücksichtigt werden. Das Projekt IWAQA stellt eine Methodik zur Verfügung, um komplexe Zielkonflikte anzugehen.

### Worum geht es?

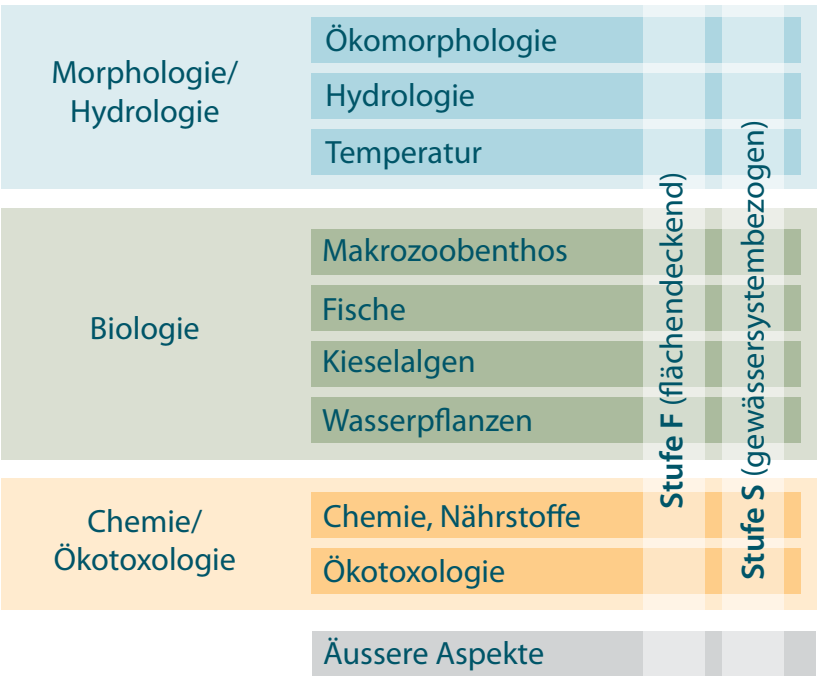
Verfahren zur Bewertung sind ein wichtiges Element des Flussmanagements und des IWM. Durch die Bewertung spezifischer Indikatoren werden der Zustand sowie die Dynamik eines Flussabschnitts ermittelt. Es werden Defizite aufgedeckt und ein möglicher Handlungsbedarf abgeleitet. Bewertungen sind weiter eine Grundlage für ein Monitoring von Veränderungen, auch über längere Zeiträume. Sie geben

Aufschluss über die Veränderung des Zustandes eines Fließgewässers vor und nach der Umsetzung von Massnahmen. Fragen sind:

- ▶ Wie wirkt sich die Aufgabe einer ARA im Rahmen eines Programms zur Regionalisierung von Anlagen aus?
- ▶ Was sind die Wirkungen der Renaturierungen von Gewässerabschnitten nach revidiertem Gewässerschutzgesetz?
- ▶ Hat die Eliminierung der Mikroverunreinigungen in 100 ARAs die geplante Wirkung auf die Gewässerqualität?

### Fortschritte im Modulstufenkonzept

Das BAFU, die Eawag und kantonale Fachstellen entwickeln Bewertungsmethoden, die eine einheitliche Beurteilung des Zustands der Schweizer Flüsse ermöglichen. Das Modulstufenkonzept (MSK) wurde bereits Mitte der 1990er-Jahre lanciert. Es ist eine Vollzugshilfe für die Überprü-





fung gesetzlicher Vorgaben im Gewässerschutz. Die Methodik umfasst hydrologische, morphologische, chemisch-physikalische, ökotoxikologische und biologische Elemente der Gewässerqualität. Sie unterscheidet zwischen zwei Stufen:

- ▶ Stufe F ist durch ihren geringen Bearbeitungsaufwand für flächendeckende Untersuchungen geeignet.
- ▶ Stufe S erlaubt eine detailliertere und daher aufwendigere Beurteilung ausgewählter Gewässersysteme. Sie unterstützt die Ableitung von Massnahmenplänen.

IWAQA erweiterte diese Methode. Es gelang, bestehende MSK-Module mithilfe von Methoden aus der Entscheidungstheorie als Wertfunktionen darzustellen und neue Module zu entwickeln.

#### Mehrwert für IWM

Der Einsatz solcher Bewertungen unterstützt IWM-Projekte entlang von stark belasteten Gewässern, vor allem in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck. Sie helfen, die Wirkungen von Massnahmen, die zum Beispiel zum Gewässerschutz getroffen werden, zu erfassen. Die Ergebnisse von IWAQA erweitern den Anwendungsbereich des MSK. Entscheidungen über Optionen zum Management der Fliessgewässer werden besser unterstützt. Es gibt mehr Flexibilität.

**Links:** Bewertungsverfahren sind ein wichtiges Element des Managements stark beanspruchter Flüsse. IWAQA

**Mitte:** Die Wasserchemie ist ein wichtiger Teil der Gewässerbeurteilung. RIBACLIM

**Rechts:** Uferbestockung kann helfen, die klimabedingte Erwärmung der Gewässer zu dämpfen. AGWAM

Die Lancierung von IWM und die Modellierung der Wasserzukunft sind in dieser Region, die bezüglich Wasserhaushalt und Wassernutzungen komplex ist, eine Herausforderung. MONTANAQUA zeigt, wie Forschung und Praxis zusammenarbeiten müssen.

## NFP 61 zeigt regionales Wassermanagement

Besonders wo Wasser knapp wird, ist regionales, integriertes Wassermanagement (IWM) wichtig. Das Projekt MONTANAQUA entwickelte einen methodischen Ansatz für die Region Crans-Montana-Sierre (VS). Forschende und Akteure aus der Region arbeiten eng zusammen. Der Ansatz ist für künftige IWM-Projekte in anderen Regionen interessant.

### Systematischer, wissenschaftlicher Ansatz

#### Warum diese Region?

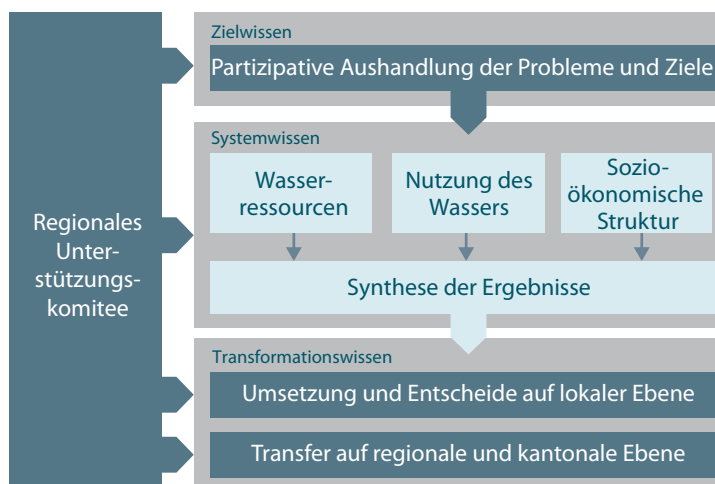
Das rund 100 km<sup>2</sup> grosse Gebiet ist ein Raum mit vielen Wassernutzern, die unterschiedliche Interessen vertreten: Skigebiete, Rebbau, Landwirtschaft, Wasserversorgungen oder Kraftwerke. Es gibt viele sich konkurrenzierende Wassernutzungen und Akteure, verteilt auf 11 Gemeinden. Die Wassergouvernanz ist entsprechend komplex. Traditionelle Rechte spielen eine Rolle. Das Gebiet ist zudem eines der trockensten der Schweiz. Der Jahresniederschlag im Talboden

(Rhonetal, VS) beträgt weniger als 600 mm. Auf den Bergen (2500 m ü.M.) steigt er auf 2500 mm. Hier fällt er aber meist als Schnee.

Bereits heute übersteigt die Nachfrage nach Wasser zuweilen das verfügbare Angebot, vor allem im Winter. Auf dem Plateau von Montana (VS) leben rund 15 000 Personen. In der Hochsaison wächst die Bevölkerung – zusammen mit den Touristen – auf 50 000 Personen. Die Tourismuswirtschaft braucht Wasser zur Beschneigung von Skipisten, für den Unterhalt des Golfplatzes, als Trinkwasser für die Gäste oder zur Bewässerung von Rasen und Gärten. In Zukunft könnte Wasser noch knapper werden. Ein wichtiger Wasserspeicher, der Plaine-Morte-Gletscher im Gebiet des Wildstrubels (BE), schmilzt. Der mittelgrosse Gletscher wird mit der klimabedingten Erwärmung nach 2050 mehrheitlich verschwunden sein. Dies bereitet der Bevölkerung Sorgen. Die Leute fragen sich, ob ihre Quellen versiegen, wenn der Gletscher nicht mehr da ist.

Der Gletscher speist auch den Lac de Tseuzier (VS), einen Stausee auf rund 1800 Metern. Die Electricité de Lienne hat hier 1958 von den Gemeinden Icogne, Ayent, St-Léonard und Sion

Abb. 40: Ein Forschungsansatz für IWM.  
MONTANAQUA





(VS) die Konzession zur Nutzung des Wassers erhalten. Wenn das Wasser im Winter knapp wird, sind die Gemeinden schon heute gezwungen, Wasser vom Kraftwerk zurückzukaufen.

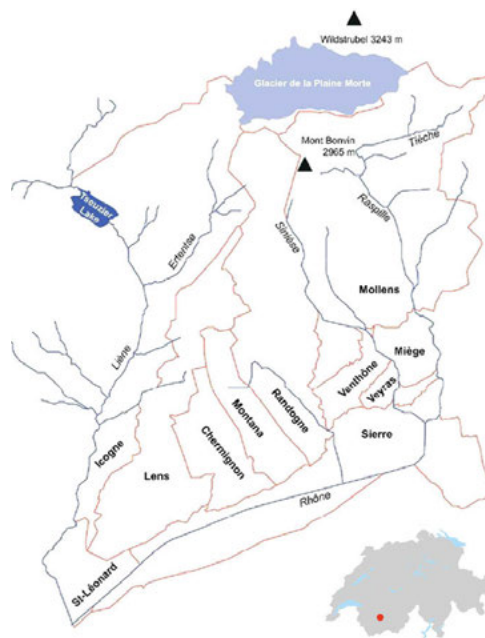
#### Forschung gibt Impuls zu IWM

MONTANAQUA zeigt, dass es für IWM in einer solchen Region einen systematischen, wissenschaftsbasierten Ansatz braucht. Die Zusammenarbeit von Natur- und Sozialwissenschaften sowie der Einbezug der Praxis sind Schlüsselfaktoren für das Gelingen.

Die Visionen und Optionen der Beteiligten und Betroffenen sind im Zielwissen enthalten. MONTANAQUA konnte hier auf die Unterstützung eines regionalen Komitees (RegiEau) zählen. Die Wissenschaft widmete sich der Frage, wie das betrachtete System heute funktioniert und wie es durch die Klimaänderung und unter Annahme verschiedener sozioökonomischer Szenarien verändert wird. Damit erarbeitete sie Systemwissen. Den Forschenden stellten sich spezielle Fragen, zu denen sie neue Methoden entwickeln mussten:

- ▶ Wie verbindet und bewertet man verschiedene Datentypen, zum Beispiel zur Bevölkerungsentwicklung und zum Wasserhaushalt?
- ▶ Was sind realistische Szenarien für die Entwicklung in der Region? Wie können Akteure dazu bewegt werden, diese zu konkretisieren?

Transformationswissen lieferte schliesslich die Grundlagen für die Strategie- und die Massnahmenplanung für die Umsetzung des IWM. Es zeigte Optionen auf, mit denen die Akteure in der Region ein System in eine gewünschte Richtung verändern können.



**Links:** Die Region Crans-Montana-Sierre (VS) ist bezüglich Wasserhaushalt und Wassernutzungen sehr vielfältig. MONTANAQUA

**Mitte:** Stausee Lac de Tseuzier. Foto Hanspeter Liniger

**Rechts:** Region und Wasserwerke Sierre machten in der Begleitgruppe (RegiEau) mit. MONTANAQUA

**Abb. 41:** Region Crans-Montana-Sierre (VS): das Untersuchungsgebiet von MONTANAQUA (100 km²).





**Links:** Die Vertreter aus der Region einigten sich auf vier Szenarien. MONTANAQUA

**Mitte:** Die Entwicklung des Tourismus hat einen Einfluss auf den zukünftigen Wasserbedarf der Region. MONTANAQUA

**Rechts:** Folgt die Entwicklung den Überlegungen von RegiEau, wird das wirtschaftliche Wachstum durch soziale und ökologische Überlegungen abgefedert. Foto Emmanuel Rey

**«Solche Projekte helfen, Sinn und Blick für das Gemeinsame in der Region zu stärken.»**

*Maria-Pia Tschopp-Bessero,  
Präfektin, Sierre.  
Mehr dazu siehe DVD.*

## Zielwissen der Akteure

**Für das Gelingen von MONTANAQUA war entscheidend, Beteiligte und Betroffene aus der Region von Anfang an miteinzubeziehen. In solchen Regionen kann IWM nicht allein auf die staatlichen Akteure beschränkt werden. Es geht um die Konsensbildung aller Akteure in der Region.**

Diese Form aktionsorientierter Forschung war auch ein Wagnis für das Gelingen des Projektes. Zum Beispiel zogen sich einzelne Gemeinden vom Projekt zurück, da sie nicht alle Schlussfolgerungen teilten. Die Forschenden liessen sich aber auf das Experiment ein. Sie gingen in die Gemeindegremien und nahmen an Versammlungen teil.

### Szenarien für die Zukunft

Der Dialog mit Akteuren aus der Praxis über Zukunftsvisionen erlaubte es, die Spannweite möglicher Entwicklungen in der Region aufzuzeigen. Damit wurden entscheidende Grundlagen gelegt, um Strategien im Bereich Wassernutzung und Wasserinfrastruktur zu bewerten. Es wurden vier Szenarien für 2050 entwickelt:

- 1 «Wachstum»: Wirtschaft, Bevölkerung und Siedlungen wachsen. Die Landwirtschaft verliert an Bedeutung. Im Wassermanagement gibt es keine Verbesserungen. Teilszenario 1a rechnet mit einem starken, Teilszenario 1b mit einem schwachen Wachstum.
- 2 «Stabilisierung»: Das Wachstum ist moderat. Die Landwirtschaft bleibt wichtig. Die Wasserbewirtschaftung wird verbessert. Wegen des Klimawandels braucht es mehr Wasser für die Bewässerung.
- 3 «Mässigung»: Im Vordergrund stehen die Lebensqualität und qualitatives Wachstum, nicht nur für Bewohner, sondern auch für die Entwicklung des Tourismus.
- 4 «Ausgleich»: Das wirtschaftliche Wachstum wird durch soziale und ökologische Überlegungen abgefedert. Der soziale Ausgleich zwischen Akteuren und Gemeinden gewinnt an Bedeutung.

Das vierte Szenario wurde von RegiEau entwickelt. Die Akteure waren sich weitgehend einig, dass die Entwicklung in der Region Crans-Montana-Sierre (VS) in diese Richtung gehen könnte.



## Wissenschaft erarbeitet Systemwissen

**Die Forschenden stellten sich der Aufgabe, die Probleme zu versachlichen. Dies war ein wichtiger Beitrag an das Gelingen dieses IWM-Projektes. Die Forschungsaufgaben waren komplex. Es brauchte beides: Natur- und Sozialwissenschaften.**

### Reichhaltige Forschungsagenda

MONTANAQUA arbeitete interdisziplinär. Die Forschenden trafen sich regelmässig. Sie tauschten Ergebnisse aus und evaluierten die Nachhaltigkeit des Wassermanagements in der Region. Es gab folgende Meilensteine in der Agenda:

- ▶ Erarbeitung der hydrologischen Grundlagen: hydrologische und meteorologische Feldmessungen, glaziologische Untersuchungen am Plaine-Morte-Gletscher (BE).
- ▶ Dokumentation der Wassernutzungen: Untersuchungen in den 11 Gemeinden, Kartierung der Nutzungen, Quantifizierung der Wassernutzungen.
- ▶ Prognose zur Zukunft: Prognosen zum Wasserdargebot, Berechnung des Einflusses des Klimawandels, Entwicklung von Szenarien der sozioökonomischen Entwicklung, Berechnung des Wasserbedarfs für alle.

### Natürlicher Wasserhaushalt

Die Bewertung des Wasserhaushaltes und seiner Entwicklung bis 2050 brauchte glaziologische, hydrogeologische und hydrometeorologische Messungen und Modellierungen. Bereits die Abgrenzung des Einzugsgebietes bereitete wegen der komplexen Geologie (Karst) Probleme. Sie konnten in Zusammenarbeit mit SWISSKARST, einem anderen NFP 61-Projekt, gelöst werden. Da die Datenlage eingeschränkt und das Untersuchungsgebiet nicht mit klassischen hydrologischen Einzugsgebieten identisch waren, brauchte es den Einsatz eines hydrologischen Modelles der neusten Generation. Einzuschätzen, wie sich das Schmelzen des Plaine-Morte-Gletschers (BE) in Zukunft auf den

Wasserhaushalt und die Wasserversorgungen in der Region auswirken wird, war für die Forschenden ebenfalls eine grosse Herausforderung. Der mittelgrosse Gletscher hat eine Dicke von 200 Metern und ein Eisvolumen von 0,8 km<sup>3</sup>. Er liegt auf einer Karstebene mit komplexen unterirdischen Fliesswegen. Folgende Untersuchungen waren nötig:

- ▶ Die Massenbilanz des Plaine-Morte-Gletschers – heute und in Zukunft (Entwicklung bis 2100) – wurde modelliert.
- ▶ Ein hydrologisches Modell des Gletscherabflusses beschrieb, wie viel Schmelzwasser heute und in Zukunft vom Gletscher geliefert wird.
- ▶ Ein hydrogeologisches Modell des Untergrundes aus dem Projekt SWISSKARST lieferte Hypothesen für Versuche mit «Tracern» (Markierstoffen).
- ▶ Die Markierversuche wurden durchgeführt.

Die Modellrechnungen zeigten, dass der Gletscher bis 2080 verschwinden wird. Der Abfluss wird bis 2050 steigen. Anschliessend kommt es zu dramatischen Einbrüchen im Sommerabfluss und einer Abnahme des Jahresabflusses. Die drei Grossversuche mit fluoreszierenden Markierungsstoffen zeigten, dass vor allem der Oberflächenabfluss des Gletschers nicht nach Crans-Montana-Sierre (VS), sondern zu grossen Teilen in die Lenk im Berner Oberland abfließt.

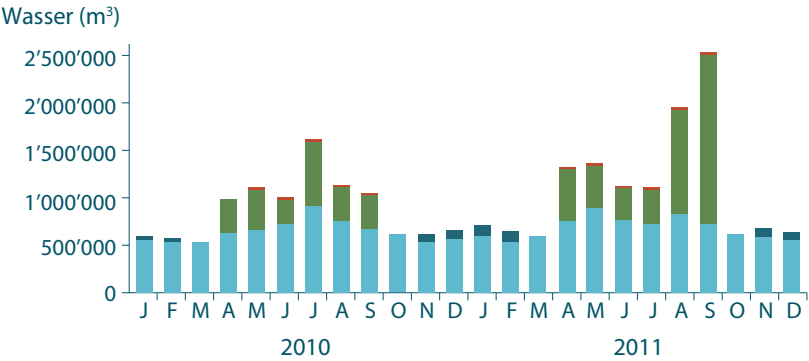
Die Auswirkungen der Gletscherschmelze auf den Wasserhaushalt werden durch die erwarteten klimabedingten Verschiebungen der Niederschläge und das Steigen der Schneegrenze teilweise aufgefangen. Ab 2080 kommt es im Einzugsgebiet des Tseuzier-Stausees im Sommer aber zu einem Rückgang des verfügbaren Wassers um rund 15% (20–30% im Mai).

### Wasserverbrauch und -management

MONTANAQUA machte eine umfassende Kartierung und Erhebung der Wassernutzungen in der ganzen Region. Es unterschied vier Systeme: Wasserkraft, Trinkwasser, Bewässerung und touristische Nutzungen. Die Studie zeigt:

Abb. 42: Wassernutzungen in der Region Crans-Montana-Sierre. 2010 war ein vergleichsweise feuchtes, 2011 ein trockenes Jahr. MONTANAQUA

- Trinkwasser
- Bewässerung
- Beschneigungsanlagen
- Golfplatzbewässerung



Tab. 12: Heutiger und künftiger Wasserbedarf, nach den vier Entwicklungsszenarien. Abweichung in % von Normaljahren; in Klammern: Maximalbedarf in trockenen Jahren. MONTANAQUA

Wasserverbrauch (in Mio. m³)	Trinkwasser	Bewässerung	Golfplatz	Beschneigung	Total (maximaler Bedarf in Klammern)	Energie- produktion
2010 (normales Jahr)	7,7	2,4	0,08	0,3	10,5	67,5
2011 (trockenes Jahr)	8,2	4,8	0,09	0,45	13,6	61,2
Änderung Wasserverbrauch (in %)						
Szenario 1a: Wachstum, stark	+33,5%	-18,7%	+7,8%	+77%	+24% (+59%)	offen
Szenario 1b: Wachstum, schwach	+23,1%	-24,8%	+7,8%	+77%	+24% (+48%)	offen
Szenario 2: Stabilisierung	+7,6%	+32,6%	+24,5%	-19%	+19% (+60%)	offen
Szenario 3: Mässigung	-9,6%	-34%	+6,8%	-100%	-13% (+18%)	offen
Szenario 4: Ausgleich	+7,6%	-0,2%	+5,8%	-19%	-3% (+49%)	offen



- Eine grosse Fragmentierung der Systeme nach 11 Gemeinden. Die politischen Grenzen stimmen nicht mit den Grenzen der hydrologischen Einzugsgebiete in der Region überein.
- Die Wasserinfrastruktur ist historisch und ohne übergeordnete Planung gewachsen. Sie folgte der Entwicklung des Tourismus.
- Der Tourismus führt zu Spitzen in der Nutzung.
- Die Bewässerung ist ebenfalls historisch gewachsen. Es gibt viele traditionelle Rechte.
- Wasserkraftnutzung (Tseuzier-Stausee) spielt eine grosse Rolle in der Region.

Die Wasserkraft braucht heute rund 88% des Wassers (2010). Die anderen Nutzungen beanspruchen weniger als 10–10,5 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2010, respektive 13,6 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2011. Dieser übrige Wasserverbrauch ist unübersichtlich. Er beruht teilweise auf alten Wasserrechten der Gemeinden. Das Wasser wird noch oft gratis abgegeben. Viele Häuser haben nicht einmal einen Wasserzähler.

Die Landwirtschaft braucht viel Wasser für die Bewässerung. Zusätzlich werden rund 12,5% des Trinkwassers für die Bewässerung von Gärten und Rasen verwendet. Dieser Verbrauch schwankt mit den klimatischen Bedingungen. Die Bedürfnisse sind dann am höchsten (Sommer), wenn es am wenigsten Wasser hat. Der Wasserverbrauch für den Betrieb von touris-

schen Anlagen (Golf, Pistenbeschneigung) ist im Vergleich zu diesen Nutzungen unerheblich.

#### Wie wird sich der Wasserbedarf verändern?

Für die Berechnungen des Wasserbedarfs 2050 wurden die von den Akteuren entwickelten sozioökonomischen Szenarien mit Klimamodellen kombiniert. Dies erlaubte, den künftigen Wasserbedarf für die Bewässerung abzuschätzen. Zudem wurden die Szenarien in Landnutzungskarten übertragen. Damit konnten Maximal- und Minimalbedarf berechnet werden. Unter Szenario 1 und 2 erhöht sich der Wasserbedarf bis 2050 erheblich. Bei Szenarien 3 und 4 nimmt er ab. Technische Neuerungen bei der Bewässerung und die Verbesserung des Wassermanagements sowie das Bekenntnis zum sanften Tourismus wirken sich positiv aus.

#### Gibt es 2050 Wasserstress in der Region?

Aus der Gegenüberstellung von Dargebot und Nachfrage konnten die Forschenden kritische Zeitpunkte erkennen, bei denen das Dargebot ungenügend oder nur knapp genügend ist. In diesen Perioden entsteht Wasserstress. Modellrechnungen bis 2050 erwiesen sich dabei als brauchbare Grundlage. Bis 2050 wird der Wasserstress nur unmerklich zunehmen, selbst wenn man weiterfährt wie bisher. Wegen der Gletscherschmelze gibt es mehr Wasser. Zudem wird relativ wenig Wasser verbraucht. Über 2050 hinaus sind Abschätzungen zum Verbrauch sehr

**Links:** Der Färbversuch am Plaine-Morte-Gletscher zeigte, dass ein Teil des Gletscherwassers ins Berner Oberland abfließt. Foto Flurina

Schneider

**Mitte:** Der Wasserbedarf für touristische Anlagen ist kleiner als erwartet. MONTANAQUA

**Rechts:** Der Bedarf nach Wasser für die Bewässerung wird in Trockenjahren zunehmen. WATERCHANNELS

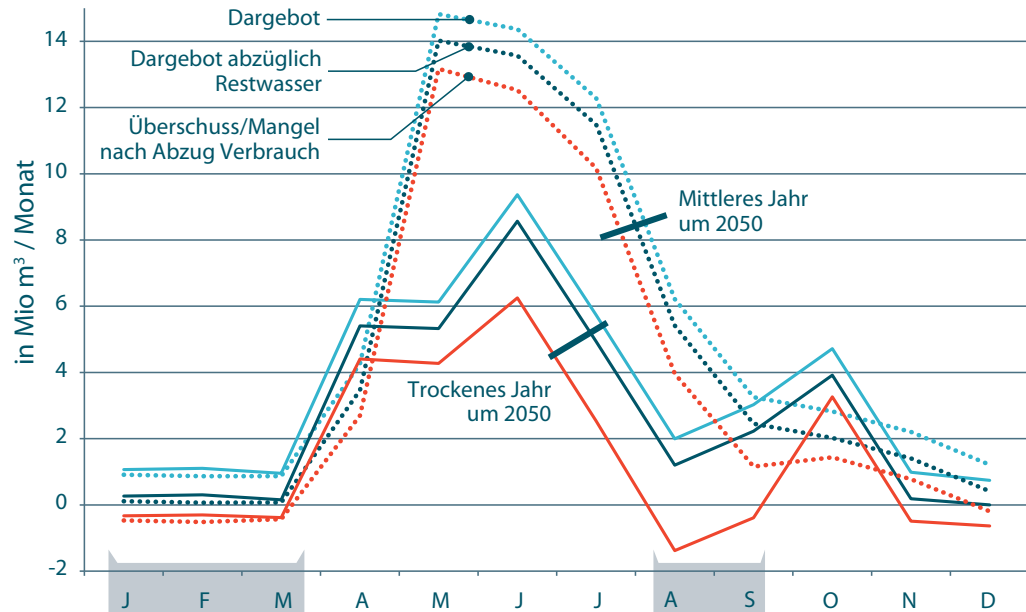
schwierig. Dann wird sich auch die hydrologische Situation markant verändern, weil der Gletscher geschmolzen ist.

In Jahren oder Monaten mit Trockenheit kann es Wasserstress geben. Der Wasserbedarf in der Region wird wegen der Bewässerung stark ansteigen (18–60%, je nach Szenario). Zugleich gibt es weniger Wasser, wenn der Gletscher geschmolzen sein wird (ab 2050). Es gibt vor allem zwei Perioden, in denen der Wasserstress regelmässig zunehmen dürfte: im Winter (Januar bis März)

und im Sommer (August, September). Bei der zweiten handelt es sich um einen neuen Trend. In allen Szenarien wirken sich die sozioökonomische Entwicklung und das System der Wassernutzungen stärker auf die Wasserbilanz aus als der Klimawandel. Dies gilt zumindest bis 2050. Danach ändern sich die Verhältnisse. Der Wasserstress könnte in Zukunft durch eine multifunktionale Nutzung des Tseuzier-Stausees abgefedert werden.

**Abb. 43:** Das für die Nutzung verfügbare Wasserdargebot (hellblau) und die Bilanz zwischen verfügbarem Dargebot und Wasserverbrauch (rot) für ein mittleres und ein trockenes Jahr um 2050, unter Annahme von Szenario 4.

MONTANAQUA



### Was die Forschenden überraschte

MONTANAQUA startete mit der Hypothese, dass die Pistenbeschneigung (Winter) und die Bewässerung der Golfanlagen (Sommer) sehr viel Wasser verbrauchen. Das Projekt zeigte aber, dass dieser Wasserverbrauch vernachlässigbar ist. Im Winter leben 10-mal mehr Leute in Montana als im Sommer. Das meiste Wasser wird aber nicht im Winter, sondern im Sommer verbraucht, insbesondere für die Bewässerung der Gärten und in der Landwirtschaft.

Im Einzugsgebiet des Tseuzier-Stausees besteht ein grosses Wasserpotenzial. Hier liegt der Schlüssel zur sicheren Wasserversorgung der Region Montana, auch nach 2050. Mit dem Auslaufen der aktuellen Konzession (2048) bieten sich hier interessante Möglichkeiten zur Neuordnung.

### Fünf zentrale Botschaften

- ▶ Die sozioökonomische Entwicklung ist der Haupttreiber. Er beeinflusst bis 2050 das System mehr als der Klimawandel.
- ▶ Es gibt heute und auch 2050 genügend Wasser. Es kann aber zu örtlichen und saisonalen Engpässen kommen.
- ▶ Ob das Wasser reicht, ist letztlich ein Managementproblem. Lokales Wassermanagement muss mit einer regionalen Plattform ergänzt werden.
- ▶ Eine gemeindeübergreifende Planung der Wasserinfrastruktur kann helfen, die Wassernachhaltigkeit zu sichern. Parallel dazu braucht es aber Reformen in der Wassergovernanz.
- ▶ Nachhaltiges, regionales Wassermanagement braucht ein besseres Management der Daten und mehr Transparenz.

**«Für uns war es speziell, dass in der Region eine gemeinsame Einschätzung von Nachhaltigkeit möglich wurde. Die Beteiligten konnten Nachhaltigkeit zusammen definieren, operationalisieren und Daten dazu generieren.»**

*Franziska Schmid, RisikoWissen Bern, Autorin Thematische Synthese TS 4.*



**«Die Autonomie der Gemeinden ist heute noch sehr wichtig. In Zukunft braucht es aber einen stärkeren Fokus auf das Gemeinwohl.»**

*Rolf Weingartner, MONTANAQUA, Universität Bern.*

*Mehr dazu siehe DVD.*

## Transformationswissen entscheidet

**Die vermeintlichen Probleme, die in der Region «gefühlten» Bedrohungen, liegen ganz anders als die realen Bedrohungen, die die Forschenden gemessen haben. Dies öffnet ein Spannungsfeld, dem sich dieses IWM-Projekt zu stellen hat.**

### Einschätzungen und Realität

MONTANAQUA verbreitete seine fünf zentralen Botschaften über regionale und nationale Medien. Die regionalen Akteure hörten aber meist nur eine dieser Botschaften: Es hat genügend Wasser! Dies ist aber nur zusammen mit den Botschaften 3 und 4 ganz korrekt. Sie stimmt im Jahresdurchschnitt. Zwischen den Jahren oder in Jahreszeiten kann es durchaus zu Wasserknappheit kommen. Vielen liegt zudem der Zeitpunkt 2050 in ferner Zukunft. In Realität ist er aber schon nahe, wenn man bedenkt, dass die Planung und Umsetzung von Massnahmen viel Zeit brauchen. Damit stellt sich die Frage, wie der Wissenstransfer und das Lernen bei den Akteuren gestärkt werden kann. Workshops zur Bildung von Szenarien oder zur Bewertung der Nachhaltigkeit hatten zum Beispiel einen positiven Einfluss auf die Lernprozesse. Sie halfen, Massnahmen anzudenken und zu diskutieren. Die Forschenden hatten aber den Eindruck, dass für das Verhalten der Akteursgruppen Traditionen oft eine grössere Rolle spielen als ökonomische Überlegungen.

### Bewertung der Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeitsbewertung der Wassermanagementsituation – unter gleichwertiger Berücksichtigung von natur- und sozialwissenschaftlichem Wissen – war ein grosser methodischer Schritt, um den Konsens unter den Akteuren zu stärken. MONTANAQUA entwickelte dazu ein Instrument: das Nachhaltigkeitsrad. Es zeigt die Bewertung der Szenarien durch die Akteure. Positive Bewertungen zeigen sich in Grün, negative in Rot. Die Ergebnisse wurden mit den Akteuren diskutiert. Sie lösten Entscheidungen aus.

Solche Bewertungen waren ein wichtiges Instrument zur Kommunikation der Forschenden mit Menschen aus der Region.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Workshops:

- ▶ Das gegenwärtige System für Wassermanagement erlaubt es den Akteuren nicht, die Region in die gewünschte Richtung zu entwickeln.
- ▶ Transparenz und Gerechtigkeit in der Verteilung des Wassers ist ein Problem, das zu beachten ist.
- ▶ Szenario 1 (Wachstum) mindert die Wassernachhaltigkeit.
- ▶ Szenarien 2, 3 und 4 führen zu einer Stärkung der Wassernachhaltigkeit.

### Erkenntnisse für die Zukunft

Diese IWM-Erfahrung zeigt, dass Wasserprobleme in dieser Region weniger ein Ressourcen- als ein Gouvernanz- und Managementproblem sind. Es stellen sich neue Herausforderungen an die Zusammenarbeit der Gemeinden und der Akteure. Es braucht eine Ausrichtung am Gemeinwohl aller Bewohner und eine entsprechende Neuverhandlung von Prinzipien und Zugangsrechten zu Wasser. Gemeinsame Bauprojekte können zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung beitragen, allerdings nur, wenn sie von Reformen in der Wassergouvernanz begleitet sind.

Die Wasserversorgungen müssen allmählich von einem Dargebotsmanagement – «man nimmt, was man hat» – zu einem Versorgungsmanagement – «man regelt die Wasserversorgung insbesondere auch für Notzeiten» – übergehen. Zudem ist es eine grosse Frage, ob und wie der Tseuzier-Stausee als multifunktionaler Wasserspeicher genutzt werden kann. Verteilschlüssel und Infrastrukturen sind wichtig. Letztlich geht es um politische Entscheide. In diesem Zusammenhang überraschte die Forschenden, dass Wassernutzungsrechte und -konflikte in dieser Region noch weitgehend informell ausgehandelt respektive gelöst werden.

Das Projekt belegt, dass es einen interdisziplinären Ansatz braucht. Eine rein naturwissenschaftliche Betrachtung – «Wie viel Wasser ist



verfügbar?» – greift zu kurz. Solche Projekte sind komplex und teuer. Wegen Beschränkungen im Budget konnten wichtige Themen wie zum Beispiel die Analyse der rechtlichen Situation nicht abgedeckt werden.

**Links:** Nachhaltigkeitsrad zur Bewertung der Szenarien. MONTANAQUA

**Mitte:** Die Mitarbeitenden des Projekts investierten viel, um die Ergebnisse mit den Akteuren aus der Region zu diskutieren. MONTANAQUA

**Rechts:** Zusammenarbeit ist entscheidend. Zur Lösung der Probleme braucht es ein regionales Bewusstsein. MONTANAQUA

# Zum Schluss des NFP 61

Das Forschungsprogramm wagte einen Blick in die Zukunft (2050, 2100). Dieser erlaubt Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur langfristigen Sicherung der Nachhaltigkeit in der Wassernutzung in der Schweiz. Die Empfehlungen richten sich an Akteure von Bund, Kantonen und Gemeinden, aber auch an Verbände und die Forschungsförderung.

## Für Wasserfachleute

Die finanziellen Aufwendungen für Massnahmen sind auf jeden Fall wesentlich günstiger als die spätere Behebung der Schäden.

**Bergkantone mit Anteilen an Hochgebirgen müssen handeln. Der Klimawandel führt vor allem im Hochgebirge zu grossen Veränderungen.**

Das NFP 61 hat erstmals Grundlagen zu den klimabedingten Landschaftsveränderungen im Hochgebirge erarbeitet. Die neuen Seen sind interessant für Tourismus und Energie. Sie enthalten aber auch ein beachtliches Gefahrenpotenzial. Die Arbeit an raumplanerischen, organisatorischen und baulichen Massnahmen zur Anpassung an die neue Situation wird Zeit brauchen. Ein Monitoring der Veränderungen und fallspezifische Beurteilungen zu Gefahren- und Nutzungspotenzial sind nötig. Die natürlichen Prozesse müssen noch besser verstanden werden.

**Bei der Vergabe von Konzessionen zur Wassernutzung sind Fragen rund um die langfristige Sicherung der Nachhaltigkeit im Bereich Wasser vermehrt zu berücksichtigen.**

In Gebieten, in denen Wasserknappheit oder Hochwasser drohen, können multifunktionale Nutzungen von Stauseen unter Umständen Lösungen bieten. Neue Phänomene wie Gletscherseen bieten ein wirtschaftliches Potenzial, auch für die Wasserkraftnutzung. Bei der Aushandlung von Konzessionsverträgen sind solche Fragen in umfassenden Interessenabwägungen zu klären und zu regeln.

**Wo in Jura, Mittelland und Voralpen Sommertrockenheit und Niedrigwasser drohen, braucht es Grundlagen und Mut zu griffigen raumplanerischen und ökonomischen Massnahmen.**

Der sozioökonomische Wandel ist in diesen Gebieten wichtiger für den Wasserhaushalt als der Klimawandel. Zur Minimierung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt braucht es eine zweckmässige Raumordnung, Anpassungen bei der Landnutzung oder ökonomische Anreize. Je nach Situation braucht es einen anderen Massnahmenmix. Das NFP 61 stellt dazu Ansätze, Methoden und Instrumente zur Verfügung.

**Die Erwärmung der Gewässer sowie Sommertrockenheit und Niedrigwasser können zum Problem werden, insbesondere für den Gewässerschutz. Zur Abschätzung der Risiken und für die Planung von Massnahmen braucht es Untersuchungen am Einzelfall.**

Das NFP 61 liefert dazu Grundlagen und Methoden. Die klimabedingte Erwärmung des Wassers kann zum Stressor werden, besonders auch in Gebieten mit Siedlungs- und Nutzungsdruck. Schäden an Trinkwasserfassungen, die durch Flussinfiltrat gespeist werden, dürften dagegen eher die Ausnahme bleiben.

**In Regionen, die intensiv landwirtschaftlich genutzt werden und in denen das Wasser im Sommer knapp wird, ist die Landwirtschaft schrittweise auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten.**

Das Thema muss über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Massnahmen sind zusammen mit den Landwirten zu planen. Änderungen in der Bodenbearbeitung oder in der Fruchtfolge können rasch umgesetzt werden. Investitionen in die Infrastruktur zur Bewässerung sind nach Möglichkeit mit regulativen Massnahmen, technischen Verbesserungen und Weiterbildung für Landwirte zu verbinden. Falls diese Massnah-

men nicht genügen, müssen Änderungen in der Organisation der Landnutzung diskutiert werden.

**Planende Ingenieure brauchen ein neues Denken in Szenarien möglicher Entwicklungen. Dieses muss von Akteuren aus der Praxis und Forschenden gemeinsam entwickelt werden.**

Wasserbezogene Infrastrukturen sind teuer und langlebig. Dies gilt insbesondere auch für die Siedlungswasserwirtschaft. Das NFP 61 liefert neue methodische Ansätze und Instrumente. Diese können die Planung von nachhaltiger Wasserinfrastruktur verbessern, insbesondere auch in Gebieten unter Siedlungs- und Nutzungsdruck.

## Für die Politik

**Die Zukunft braucht integriertes Wassermanagement (IWM). Dazu müssen in der Schweiz keine neuen Institutionen geschaffen werden. Eine sanfte Reform genügt.**

IWM nach Einzugsgebieten flächendeckend umzusetzen, ist in der Schweiz wegen der föderalistischen Staatsstruktur nicht realistisch. Zur Lösung vieler Wasserprobleme braucht es aber eine ganzheitliche Betrachtung auf regionaler Ebene: zum Beispiel zur Sanierung von Gewässern, für die Planung von Wasserinfrastruktur, im Hochwasserschutz, zur Renaturierung von Gewässern oder im Umgang mit Wasserknappheit. Die Projekte des NFP 61 geben methodische Impulse.

**Der Bund muss seine Wasserpolitik stärken. Dazu braucht es eine nationale Wasserstrategie.**

Diese Strategie hilft, bestehende Teilstrategien zu verbinden und zu ergänzen. Es entstehen Impulse für die Zusammenarbeit unter den Akteuren, auch verschiedener Politikbereiche. Damit wird der Rahmen zur Harmonisierung der Wassergesetzgebung und zur Förderung von IWM festgelegt.

**Die Kantone brauchen kantonale Wasserstrategien oder integrale Wassergesetze. Diese sollen den Rahmen für die nachhaltige Wassernutzung definieren und integrale Ansätze fördern.**

Hier geht es sowohl um staatliche Vorgaben als auch um Lern- und Aushandlungsprozesse, die regionale und überregionale Akteure einschliessen. Marktwirtschaftliche Instrumente können vermehrt eingesetzt werden. Erste Erfahrungen aus der Praxis sind vorhanden.

**Bund und Kantone sollen ihren Spielraum nutzen und Verbesserungen zur Stärkung der Nachhaltigkeit im Bereich Wasser rasch umsetzen.**

Ein Beispiel ist die Einführung einer Pflicht zur kantonsübergreifenden integralen Planung in Einzugsgebieten, wo es die Probleme erfordern. Der Bund kann auch vermehrt finanzielle Beiträge an die Bedingung knüpfen, dass es integrale Planungen und Trägerschaften in Einzugsgebieten oder Funktionsräumen gibt. Aber auch über Ausbildung, Wissensaustausch, Praxisanleitungen und Modellprojekte lässt sich in einem föderalistischen Staat viel erreichen.

**Es braucht ein Impulsprogramm für IWM. Die Kantone sind zu verpflichten, ein flächendeckendes Grobscreening durchzuführen und dem Bund Bericht zu erstatten, wo es IWM-Projekte braucht.**

Nach erfolgtem Grobscreening soll die Umsetzung des IWM Sache der Kantone sein. Diese sollen dafür durch den Bund unterstützt und begleitet werden. Es macht Sinn, Fördermittel für Pilotprojekte zu sprechen, die Zukunftsthemen aufgreifen. Der Bund soll die Erfolgskontrolle übernehmen. Es ist wichtig, IWM-Projekte mit Forschung zu unterstützen.

**Staatliche Anreize und Instrumente sind zunehmend auf die Ziele der nachhaltigen Wassernutzung abzustimmen respektive dafür zu nutzen.**

Es geht um die langfristige Vorsorge. Die Subventionierung von Bewässerungsanlagen ist auf bestmögliche Technologien zu beschränken. Wasserkontingente können – analog zu Phosphor- und Nitratvorschriften – im Rahmen des ökologischen Leistungsnachweises geregelt werden.

**Wo traditionelle Flurbewässerung die ökologische und landschaftliche Vielfalt sichert, können Bewirtschaftungsverträge und Ausgleichszahlungen Anreize zur Sicherung dieser Werte bieten.**

Mehrleistungen sollen im Rahmen der neuen Landwirtschaftspolitik abgegolten werden. Verträge und Zahlungen sind an einen den ganzen Bewässerungsperimeter umfassenden Rahmenvertrag zu binden.

**IWM-Projekte brauchen verlässliche Daten zu Hydrologie, Wassernutzungen und Nutzungsrechten. Lücken sind zu schliessen und die Nachführung sicherzustellen.**

Die Arbeiten im NFP 61 haben gezeigt, dass nicht alle für IWM benötigten Daten standardmässig vorliegen. Eine Bestandsaufnahme sollte identifizieren, welche Lücken bestehen und Prioritäten für das Schliessen der Lücken ausarbeiten. Aus hydrologischer Sicht interessieren neben Wasserstand und Abfluss auch Daten zu Temperatur, Schüttung oder Leitfähigkeit und chemischen Komponenten.

## Für künftige Forschung

**Es braucht noch ein besseres Verständnis der hydrologischen Prozesse. Dazu sind Beobachtungen über lange Zeiträume nötig.**

Das Beobachtungsfenster des NFP 61 war relativ kurz, um die Prozesse, mit denen in Zukunft bei der Wassernachhaltigkeit zu rechnen ist, vollständig zu verstehen. Insbesondere gab es zwischen 2010 und 2013 – mit Ausnahme der Trockenperiode 2011 – keine Extremereignisse. Es braucht Langzeitbeobachtungen (>20 Jahre)

in experimentellen Einzugsgebieten, die unterschiedliche Themen der Zukunft abbilden. Dank dem NFP 61 können diese Themen benannt werden.

**Hydrologische und ökologische Begleitforschung hilft, T und Projekte zum Hochwasser- oder Gewässerschutz zu optimieren.**

Im Zusammenhang mit den Anpassungen am Gewässerschutzgesetz werden in der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten Kläranlagen ausgebaut und Gewässerstrecken renaturiert. Forschung über die Reaktion der Gewässer auf solche und andere Massnahmen hilft, Projekte und Programme zu optimieren und neue Herausforderungen zur Nachhaltigkeit der Wassernutzung zu identifizieren.

**Im Zusammenhang mit der vom Bundesrat 2011 beschlossenen Energiewende rücken Themen in die Öffentlichkeit, zu denen das NFP 61 wenig aussagt. Es braucht weitere Forschung.**

Das gilt vor allem für die Suche nach alternativen Energiequellen. Beispiele sind das Fracking, der Ausbau der Geothermie und die Nutzung von See- und Grundwasser für thermische Energiegewinnung.

**Transdisziplinäre Forschung braucht ein neues Verständnis und grössere Anerkennung.**

Akteure und Entscheidungsträger müssen gewonnen und in die Projekte eingebunden werden. Dazu brauchen Forschende spezifische Talente: Moderation von Austauschprozessen und Reflexion unterschiedlicher Sichtweisen. Diesen Fähigkeiten und dem zusätzlichen Organisationsaufwand ist in der Ausbildung und in der Forschungsförderung Rechnung zu tragen. Es braucht zudem Mittel, um Prototypen wie Informationsplattformen oder Computermodelle, die Forschende erarbeiten, zu anwenderfreundlichen Produkten weiterzuentwickeln – beispielsweise im Rahmen von Ressortforschung.



**Die Erkenntnisse des NFP 61 zur transdisziplinären Forschung sind in künftigen Nationalen Forschungsprogrammen zu berücksichtigen.**

Die Begleitforschung befragte die Teilnehmenden der NFP 61-Projekte zu ihren Erfahrungen mit Transdisziplinarität:

- ▶ Es braucht gemeinsame Interessen an einem Resultat. Der Praxiseinbezug wurde besonders dort erfolgreich erlebt, wo Forschende und Praxisakteure an einem gemeinsamen Produkt arbeiteten.
- ▶ Es braucht Zeit und Kontinuität, um tragfähige Kontakte aufzubauen.
- ▶ Transdisziplinäre Forschung stellt hohe Anforderungen an Praxiswissen. Es braucht Forschende mit entsprechenden Erfahrungen.
- ▶ Die Forschenden müssen bereit sein, Fragen und Rückmeldungen aus der Praxis aufzunehmen und ihre Konzepte und Produkte anzupassen. Abgabefristen für wissenschaftliche Arbeiten können hinderlich sein.
- ▶ Der Leitungsgruppe des NFP 61 war Transdisziplinarität eine Priorität. Daraus folgte eine hohe Wertschätzung für praxisorientierte Produkte und Resultate.

# Anhang

## Was ist das NFP 61

**Die Nationalen Forschungsprogramme NFP sollen wissenschaftlich fundierte Beiträge zur Lösung dringender Probleme von nationaler Bedeutung leisten. Sie erfolgen im Auftrag des Bundesrates und werden vom Schweizerischen Nationalfonds durchgeführt. Die NFP sind in der Abteilung IV «Programme» angesiedelt ([www.snf.ch](http://www.snf.ch)).**

Das NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» stellt wissenschaftlich fundierte Grundlagen sowie Werkzeuge, Methoden und Strategien zur Bewältigung der künftigen Herausforderungen in der Wasserwirtschaft bereit. Es verfügte über einen Finanzrahmen von 12 Millionen Franken und die Forschung dauerte von 2010 bis 2013. Sowohl in seinen Vorgaben wie auch bei der Projektevaluation und -durchführung wurden Praxisrelevanz und Einbezug der Akteure stark gewichtet. Nach einem zweistufigen Eingabeverfahren mit internationaler Expertisierung wurden 16 Projekte bewilligt ([www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)).

## Die 16 Forschungsprojekte des NFP 61

In den Forschungsprojekten wurden die Auswirkungen der zu erwartenden Änderungen des Klimas, der Gesellschaft und der Ökonomie auf den Wasserhaushalt, die hydrologischen Extreme, die Wasserqualität und die Gewässerbiologie mit den damit verbundenen Fragen der Wassernutzung untersucht.

### **AGWAM: Wasser wird auch für die Schweizer Landwirtschaft knapp**

Prof. Dr. Jürg Fuhrer

Steigende Temperaturen und sinkende Niederschläge im Sommer werden dazu führen, dass die Landwirtschaft vermehrt auf Bewässerung angewiesen ist, gleichzeitig aber weniger Wasser zur Verfügung steht. Ausgehend von verschiedenen Szenarien für Klima, Preise und Politik wurde mithilfe von Modellen der Handlungsspielraum der Landwirtschaft ausgeleuchtet. Das Projekt liefert Empfehlungen und Anpassungsstrategien, um negative Umweltfolgen zu vermindern und Konflikte zu vermeiden.

### **DROUGHT-CH: Sind wir auf Trockenperioden vorbereitet?**

Prof. Dr. Sonia Seneviratne

In Zukunft ist mit häufigeren Trockenperioden und Hitzewellen zu rechnen. Das Projekt untersuchte die Risiken von Trockenperioden in der Schweiz und wie man diese vorhersagen kann. Als Basis für Anpassungsstrategien wurde ein Prototyp für eine Informationsplattform «Trockenheit» entwickelt.

### **FUGE: Gletscherrückgang – noch genügend Wasser für die Wasserkraftproduktion?**

Prof. Dr. Martin Funk

Mit verbesserten Methoden wurde das Schmelzen von 50 Schweizer Gletschern untersucht und modelliert. Die bis ins Jahr 2100 prognostizierten Abflüsse sind für Kraftwerke relevant. Zusammen

mit Wasserkraftfirmen wurden Anpassungsstrategien für den Betrieb von Wasserkraftwerken entwickelt.

#### **GW-TEMP: Einfluss des Klimawandels auf das Grundwasser**

Dr. David M. Livingstone

Durch höhere Wassertemperaturen kann die Grundwasserqualität beeinträchtigt werden. Historische Daten wurden analysiert, um den Einfluss des Temperaturanstiegs auf die Grundwasserqualität abzuschätzen. Mit statistischen Modellen wurden die zukünftigen Grundwassertemperaturen prognostiziert.

#### **GW-TREND: Grundwasserknappheit durch Klimawandel?**

Prof. Dr. Daniel Hunkeler

Bei zunehmender Trockenheit kann sich die Menge des vorhandenen Grundwassers verringern. Die Resultate helfen, besonders empfindlich auf Klimaänderung reagierende Grundwasserleiter zu identifizieren, Massnahmen zu planen und Überwachungsprogramme zu entwickeln.

#### **HYDROSERV: Nachhaltige Sicherung von Wasserressourcen**

Prof. Dr. Adrienne Grêt-Regamey

Hydrologische Ökosystemleistungen wie Trinkwasserversorgung, Hochwasserregulierung, Erholung und Wasserkraftnutzung können durch den Klimawandel unter Druck geraten. Auf der Basis eines verbesserten Verständnisses zu den hydrologischen Ökosystemleistungen wurden Massnahmen für die Politik formuliert.

#### **IWAGO: Auf dem Weg zu einer integrativen Wasserpolitik**

Prof. Dr. Bernhard Truffer

An Beispielen von verschiedenen Regionen und Kantonen wird gezeigt, welche Regelungsstrukturen und Prozesse eine ganzheitlichere

und partnerschaftlichere Vorgehensweise in der Schweizer Wasserwirtschaft und Synergiepotenziale zwischen den Sektoren fördern. Diese Synergiepotenziale wurden in Zusammenarbeit mit Stakeholdern identifiziert. Daraus wurden Strategien für die künftige Entwicklung des Wassermanagements in der Schweiz abgeleitet.

#### **IWAQA: Integriertes Management der Wasserqualität von Fliessgewässern**

Dr. Christian Stamm

Gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen sowie Änderungen des Klimas wirken sich auf die Gewässerqualität unserer Fliessgewässer aus. Das Projekt bietet Entscheidungshilfen, die negative Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der Fliessgewässer abschätzen und minimieren helfen.

#### **MONTANAQUA: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel**

Prof. Dr. Rolf Weingartner

Durch die Veränderungen des Wasserangebots und des Wasserverbrauchs durch den Klimawandel und den sozioökonomischen Wandel wird eine konfliktfreie Wasserverteilung insbesondere in trockenen Regionen schwieriger. Das Projekt zeigt am Beispiel der Region Crans-Montana-Sierre im Wallis, wie in Zusammenarbeit mit den lokalen Verantwortlichen und interessierten Personen Lösungen für eine optimale und ausgewogene Bewirtschaftung und Verteilung der Wasserressourcen ermittelt werden können.

#### **NELAK: Seen als Folge schmelzender Gletscher: Chancen und Risiken**

Prof. Dr. Wilfried Haeberli

Wenn Gletscher schmelzen, können neue Seen entstehen. Um Chancen und Risiken im Umgang mit neuen Seen abzuschätzen, wurden relevante Aspekte der Naturgefahren, der Wasserkraft, des Tourismus und des Rechts untersucht und mit Stakeholdern diskutiert.

### **RIBACLIM: Von Flüssen gespeistes Trinkwasser: noch sauber genug?**

Prof. Dr. Urs von Gunten

Trinkwasser stammt zu einem Drittel aus Flusswasser, das über die Flusssufer ins Grundwasser versickert. Die Prozesse in diesen Uferzonen sind für sauberes Trinkwasser sehr wichtig. Untersucht wurden klimabedingte Veränderungen dieser Infiltrationsprozesse und der Einfluss auf die Grundwasserqualität mithilfe von Feld- und Laborexperimenten.

### **SACFLOOD: Wie verändert sich die Hochwassergefahr in den Alpen?**

Dr. Felix Naef

Durch stärkere Niederschläge dürften Hochwasser zukünftig häufiger auftreten und stärker ausfallen. Damit die Hochwassergefahr besser abgeschätzt und zielgerichtete Massnahmen ergriffen werden können, wurden Zusammenhänge zwischen Niederschlag, der Speicherkapazität des Bodens und dem Abflussverhalten untersucht.

### **SEDRIVER: Mehr Hochwasser – mehr Sedimenttransport – weniger Fische?**

Dr. Dieter Rickenmann

Klimaänderungen verändern den Transport von Sedimenten in Gebirgsbächen. Die Forschenden entwickelten ein Modell, das den Geschiebetransport in Gebirgsflüssen simuliert. Es wurde auch untersucht, welche Auswirkungen die vom Fluss transportierten Sedimente auf die Entwicklung von Bachforellen haben.

### **SWIP: Langfristige Planung nachhaltiger Wasserinfrastrukturen**

Dr. Judit Lienert und Prof. Dr. Max Maurer

Beim Planen der Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung spielen ökonomische, ökologische und soziale Aspekte eine Rolle. SWIP entwickelte zusammen mit Stakeholdern Entscheidungshilfen für die langfristige Planung von

Infrastrukturen für verschiedene Zukunftsszenarien.

### **SWISSKARST: Karstwasser, eine Wasserresource für die Zukunft?**

Dr. Pierre-Yves Jeannin

In der Schweiz stammen 18% des Trinkwassers aus Karstgrundwasserleitern. Diese wurden mit der im Projekt entwickelten Methode KARSYS auf einem Drittel der Landesfläche charakterisiert. Behörden und Wassernutzer nutzen diese Methode, wenn es um die Nutzung und Bewirtschaftung von Karstgrundwasser geht.

### **WATERCHANNELS: Bewässerungskanäle für die Artenvielfalt und den Tourismus**

Dr. Raimund Rodewald

Wasserkanäle bewässern Wiesen in trockenen Alpentälern schon seit vielen Jahrhunderten. Untersucht wurde der Nutzen der Wasserkanäle für die Biodiversität und das Nutzungssystem. In Zukunft muss häufiger mit Trockenheit und Wasserkonkurrenz gerechnet werden. Das Projekt hilft Wasserverteilungsfragen anzugehen, die mit der Nutzung von Wasserkanälen verbunden sind.

## Produkte des NFP 61

Es wurden **fünf Synthesen** erstellt: vier Thematische Synthesen und eine Gesamtsynthese. Erstere richten sich an Fachleute bei Bund, Kantonen, Gemeinden, Verbänden, NGOs und privaten Büros. Sie bündeln die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus den einzelnen Projekten des NFP 61 und anderen Studien mit Blick auf zentrale Fragestellungen des NFP 61, verbinden die praxisrelevanten Ergebnisse der einzelnen Projekte und ziehen praxistaugliche Folgerungen für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser.

### Thematische Synthese 1 (TS 1)

Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen  
Astrid Bjørnsen Gurung und Manfred Stähli

### Thematische Synthese 2 (TS 2)

Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck  
Klaus Lanz, Eric Rahn, Rosi Siber, Christian Stamm

### Thematische Synthese 3 (TS 3)

Nachhaltige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in der Schweiz: Herausforderungen und Handlungsoptionen  
Sabine Hoffmann, Daniel Hunkeler, Max Maurer

### Thematische Synthese 4 (TS 4)

Nachhaltige Wassergouvernanz: Herausforderungen und Wege in die Zukunft  
Franziska Schmid, Felix Walter, Flurina Schneider, Stephan Rist

Mit dem Gesamtsynthesebuch spricht die Leitungsgruppe die links genannten Fachkräfte, Medien, Politik und die interessierte Bevölkerung an. Die Gesamtsynthese baut auf den 16 Projekten des NFP 61 sowie den vier Thematischen Synthesen auf. Sie fasst die wichtigsten Ergebnisse des NFP 61 in einer leicht lesbaren Form zusammen.

### Gesamtsynthese

Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP 61 weist Wege in die Zukunft.  
Leitungsgruppe NFP 61

### Projektpublikationen

Bis im Sommer 2014 entstanden mindestens 160 wissenschaftliche Publikationen, Dissertationen, eine Interview- und Artikelreihe in «Aqua & Gas», Fachberichte in «Wasser, Energie, Luft», zahlreiche Berichte und andere Veröffentlichungen aus den 16 Projekten (<http://p3.snf.ch/>).

### Videos

Die Videos des NFP 61 helfen Brücken zwischen verschiedenen Disziplinen und zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu bauen (siehe [www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch), DVD im Gesamtsynthesebuch). Am Anfang des Programmes wurde für alle Forschungsprojekte je ein kurzer Videoclip «Einblick» gedreht. Die Projektleitenden erzählen, was sie wie untersuchen und weshalb diese Forschung wichtig ist für unsere Gesellschaft. Zum Abschluss des Programmes wurden 10 Videomodule «Ausblick» zu den Themen «Schwindende Gletscher», «Wasserressourcen der Zukunft», «Zunehmende Trockenheit», «Wachsende Siedlungen» und «Wassermanagement» gedreht. Forschende berichten, welche Erkenntnisse sie überrascht haben, wie sie mit Akteuren aus der Praxis zusammengearbeitet haben und welche Umsetzungstools nun zur Verfügung stehen. Akteure aus der Praxis erzählen, wie sie die Forschungsergebnisse einschätzen und was sie in ihrem Umfeld nun umsetzen können.





### Ausstellungsmodul

Kurze Videoausschnitte zeigen wichtige Erkenntnisse aus dem NFP 61. Mithilfe eines Ausstellungsmoduls in Messen, Museen und Amtsgebäuden können die wichtigsten Botschaften interaktiv vermittelt werden (Bestellung beim SNF: [nfp@snf.ch](mailto:nfp@snf.ch)).



### Begleitforschung

Die Projekte des NFP 61 arbeiteten interdisziplinär und setzten transdisziplinäre Methoden ein. Auf Programm- und Projektebene wurden vielfältige Umsetzungsaktivitäten durchgeführt. Der Syntheseprozess begann noch während der Forschungsarbeiten. Zwei Begleitforschungsprojekte untersuchten, welche Methoden wie und mit welchem Erfolg angewendet wurden.

#### *Potenziale und Limitationen transdisziplinärer Wissensproduktion in Forschungsprojekten des NFP 61*

Tobias Buser, Flurina Schneider, Stephan Rist

Die Begleitforschung der Universität Bern untersuchte die transdisziplinären Ansätze in den 16 Projekten.

#### *Methoden der inter- und transdisziplinären Wissensintegration im NFP 61-Syntheseprozess*

Sabine Hoffmann, Christian Pohl, Janet Hering

Die Begleitforschung von Eawag/td-net untersuchte die Methoden der Wissensintegration in den vier Thematischen Synthesen.

Weitere Informationen: [www.nfp61.ch](http://www.nfp61.ch)



### Impressum NFP 61-Videos

#### Projektleitung, Konzept und Produktion:

Dr. Patricia Fry, Leiterin Wissensaustausch NFP 61, Wissensmanagement Umwelt

**Filmische Umsetzung:** Halbbild Halbton, Video- und Audioproduktionen,

Filmkonzept, Kamera, Schnitt, Ton: Renata Grünenfelder; Musik, Ton: Hipp Mathis

**Untertitel** (Spotting und Koordination): Corinne Ammann, SNF

**Französischübersetzung:** Nathalie Cottet, Simon Breitenmoser, Franck Manara

**Englischübersetzung:** Corinne Ammann, Omar Solanki

**Titelgrafik:** Sophia Murer, peakfein

**Farblichtbestimmung:** Paul Avondet, peakfein

**Layout Label:** Esther Schreier, electronic publishing

**DVD Master und Kopien:** ATL-Videofactory

**Bestellung:** [nfp@snf.ch](mailto:nfp@snf.ch)

**Finanzierung und Copyright:** Schweizerischer Nationalfonds

**Besten Dank an alle im Video auftretenden Fachleute aus Forschung und Praxis!**

**Folgende Personen und Institutionen haben Fotos für die Videos zur Verfügung gestellt.**

#### Besten Dank!

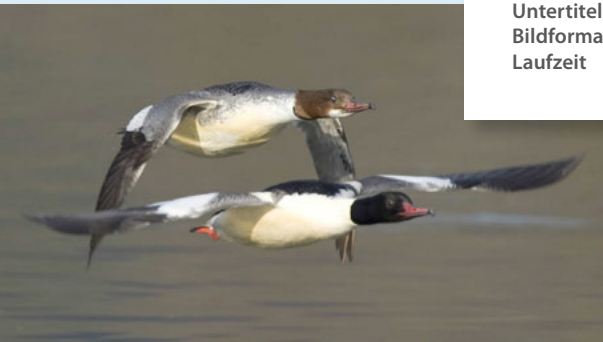
Adriano Ross, Andrea Ryffel, Andreas Bauder, Andreas Scholtis, Armin Peter, BAFU, Daniel Hunkeler, Darja Aepli, Eawag, Emmanuel Rey, Ernst Meili, Essence Design, Felix Luder, Felix Naef, Florian Widmer, Gilbert Jöhr, Hansruedi Burgener, Jan Béguin, Jürg Fuhrer, Kanton Aargau, Amt für Verbraucherschutz, Katrin Simonett, Lisa Rigendinger, Marco Cortesi, Matthias Künzler, Max Maurer, Michael Bütler, Michael Gerber, Nico Moelg, Patricia Fry, Res Chervet, Reto Oeschger, Robert Stocker, Sabine Rock, VBS, Walter Baumann, Wilfried Haeberli, Wolfgang Sturny, WSL.

**Originalsprache** Schweizerdeutsch oder Französisch

**Untertitel** Deutsch

**Bildformat** 16:9

**Laufzeit** 180 Minuten





Im Nationalen Forschungsprogramm NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» wagten 16 inter- und transdisziplinär zusammengesetzte Projektteams einen ganzheitlichen Blick in die Wasserzukunft der Schweiz im 21. Jahrhundert. Gemeinsam mit der Praxis haben Forschende aus verschiedenen Disziplinen wissenschaftliche Grundlagen und Methoden für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen erarbeitet und erste Umsetzungsprozesse eingeleitet.

Die Rahmenbedingungen für die Wasserwirtschaft werden sich mit der sozioökonomischen Entwicklung und dem Klimawandel

ändern. Im Jahr 2050 werden viele Gletscher geschmolzen sein, mit mannigfachen Auswirkungen. Die Ressource Wasser wird vermehrt unter Druck stehen und Nutzungskonflikte werden zunehmen.

Buch und DVD fassen die Ergebnisse der Forschungsprojekte zusammen. Sie zeigen Wege zur Stärkung der Nachhaltigkeit bei der Wassernutzung. Der Bund kann seine Wasserpolitik mit einer nationalen Wasserstrategie stärken. Es braucht vermehrt eine ganzheitliche Betrachtung und regionale Zusammenarbeit. Die Kantone spielen dabei eine Schlüsselrolle.

Dieses Buch ist auf Deutsch und Französisch erhältlich.  
Cet ouvrage est disponible en allemand et en français.

 inklusive DVD

**vdf**

ISBN 978-3-7281-3611-4 (Printausgabe), ISBN 978-3-7281-3612-1 (E-Book)  
[www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch) | [verlag@vdf.ethz.ch](mailto:verlag@vdf.ethz.ch)