

2.4 Wasser

Der Klimawandel wird zu markanten Veränderungen im Wasserkreislauf führen – mit weitreichenden Folgen wie Wassermangel in Sommer und der Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen durch Hochwasser. Der Wissensstand ermöglicht es in der Schweiz, auch im Bereich des Wassers mit einem integrativen Ansatz auf den Klimawandel zu reagieren. Nebst Massnahmen zur Minderung des Klimawandels sollten auch solche zur Anpassung an seine Folgen geplant werden. Da die Grundzüge der zukünftigen hydrologischen Verhältnisse bereits mit relativ grosser Sicherheit abgeschätzt werden können, kann bereits jetzt gehandelt werden. Dabei muss auch der sozioökonomische Wandel mitberücksichtigt werden, der die zukünftige Nachfrage nach Wasser stark beeinflussen wird. Es braucht ein Wassermanagement sowie regionale Planungsinstrumente, die alle Aspekte berücksichtigen.

Rolf Weingartner (Universität Bern), Ole Rössler (Universität Bern)

«Wasser ist Leben»: Die Verfügbarkeit von Wasser spielt eine zentrale Rolle bei der Trinkwasserversorgung, der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion und der Energieerzeugung. Zu viel Wasser kann aber auch Leben gefährden und Schäden verursachen, zum Beispiel durch Hochwasser oder Murgänge. Jede Veränderung des Wasserkreislaufs durch den Klimawandel hat deshalb direkte Folgen für Mensch und Umwelt. Die Prozesse im Wasserkreislauf sind allerdings komplex und nicht nur vom Klimawandel beeinflusst.

Vereinfacht lässt sich das System Wasser als Balance zwischen den verfügbaren Wasserressourcen und dem Wasserverbrauch beschreiben (Abb. 2.5). Das Klima, die sozioökonomischen Verhältnisse sowie das politische Handeln sind dabei entscheidende Rahmenbedingungen, die beim Wassermanagement berücksichtigt werden müssen. Idealerweise wird nicht nur durch Anpassungsmassnahmen auf eingetretene oder erwartete Änderungen reagiert, sondern auch durch Massnahmen zur Minderung des Klimawandels versucht, diese Änderungen zu minimieren.

Globale Situation

Laut dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC ist es *wahrscheinlich*, dass sich der globale Wasserkreislauf in den letzten 50 Jahren durch eine vom Menschen verursachte Erwärmung des Klimasystems verändert hat (IPCC 2014/SYR/SPM). Beobachtet wurden unter anderem eine Erhöhung des atmosphärischen Wasserdampfes, eine Verschiebung der räumlichen Niederschlagsmuster sowie eine Intensivierung der Starkniederschläge. Gleichzeitig haben niederschlagsarme Perioden und Hitzewellen zugenommen. In Gebirgsregionen und in den hohen Breiten schmelzen die Gletscher und die Bedeutung des Schnees im Wasserkreislauf nimmt ab.

Die Entwicklung des Niederschlags ist ausschlaggebend für die zukünftige Ausprägung des Wasserkreislaufs. Bei den Jahresniederschlagssummen geht man von einer Zunahme in den hohen und den mittleren humiden¹ Breiten aus und von einer Abnahme in trockeneren Regionen der mittleren Breiten sowie in den subtropischen Trockengebieten. Diese Veränderungen werden sich vor allem in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts akzentuieren, was bedeutet, dass sich die räumlichen und saisonalen Gegen-

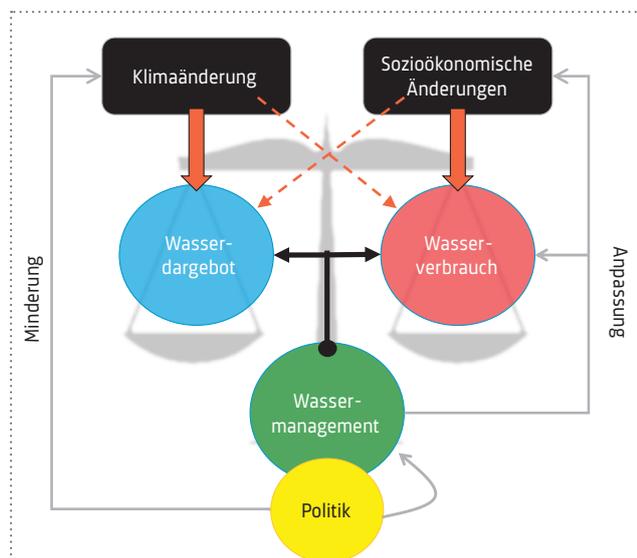
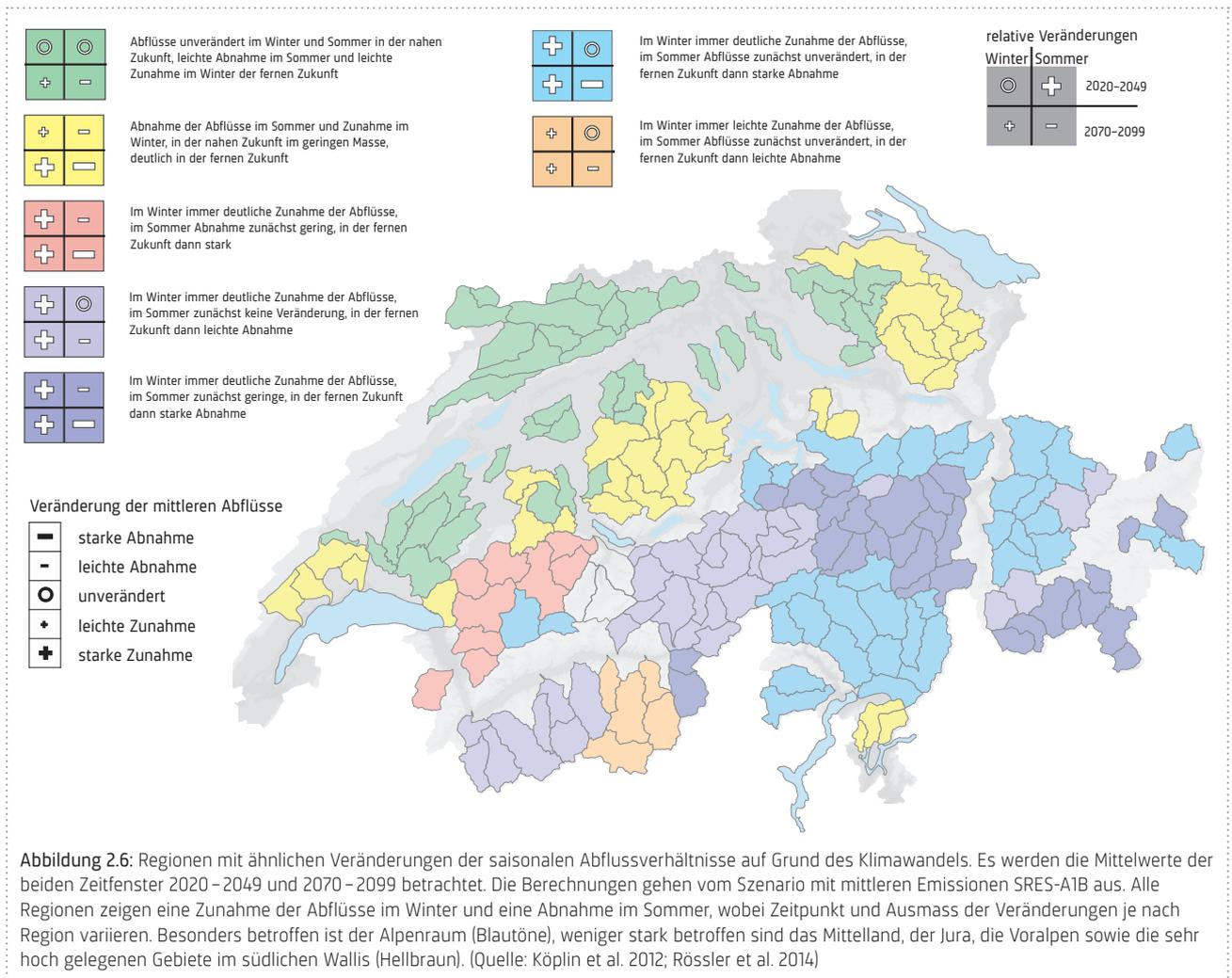


Abbildung 2.5: Ein regionales Wassermanagement ist der Schlüssel zu einer optimalen Nutzung des Wassers. Ziel des Wassermanagements ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Das heisst, dass die Nachfrage auf das Dargebot abgestimmt werden muss. Eine Veränderung der klimatischen und/oder der sozioökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst sowohl Nachfrage wie Dargebot, was politisch angestossene Massnahmen zur Anpassung nötig macht. Eine vorausschauende Politik setzt aber immer auch auf die Minderung der Treibhausgasemissionen. (Quelle: Eigene Darstellung)

¹ Reich an Niederschlag



sätze zwischen «nass» und «trocken» weiter verstärken werden. Zu- oder abnehmende Niederschlagsmengen haben direkte Auswirkungen auf die Abflüsse und die Grundwasserneubildung und somit auf die verfügbaren Wasserressourcen. Die Folgen dieser Veränderungen sind vielfältig. Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht nennt unter anderem folgende Aspekte:

- Schwere Beeinträchtigung oder gar Zerstörung der Lebensgrundlagen durch zunehmende Hochwasser.
- Engpässe bei der Nahrungsversorgung durch höhere Niederschlagsvariabilität und zunehmende Naturgefahren.
- Beeinträchtigung der Lebensbedingungen und der ökonomischen Situation durch einen erschwerten Zugang zu sicherem Trinkwasser und eine abnehmende Verfügbarkeit von Bewässerungswasser.
- Verlust an (Wasser-)Ökosystemen mit negativen Auswirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen.

Viele dieser Risiken betreffen städtische Regionen, in denen heute rund 50 Prozent der Weltbevölkerung leben und Mitte des Jahrhunderts rund 65 Prozent leben werden (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung 2016).

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird das globale Gletschervolumen zwischen 15 und 85 Prozent abnehmen, je nach Grad der Erwärmung. Zudem besteht die Gewissheit, dass in der Nordhemisphäre die Ausdehnung der frühjährlichen Schneedecke zurückgeht (IPCC 2014/SYR/SPM; Kap. 1.9 Ozean und Kryosphäre, S. 60, Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80). In diesem Kontext ist hervorzuheben, dass vielerorts Veränderungen der Schneebedeckung grössere Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben als das Abschmelzen der Gletscher.

Schweiz – Konturen der hydrologischen Zukunft

Nach aktuellem Kenntnisstand werden sich die künftigen Jahresniederschlagssummen in der Schweiz gegenüber heute nicht signifikant verändern. Grund dafür ist, dass sich die Schweiz im Übergangsbereich zwischen Nord-europa mit einer Niederschlagszunahme und Südeuropa mit einer Niederschlagsabnahme befindet. Saisonal hingegen sind teilweise grosse Verschiebungen zu erwarten: Die Klimaprojektionen zeigen eine Abnahme der Niederschlagsmenge im Sommer sowie einen leichten Anstieg der Winterniederschläge vor allem im Süden der Schweiz (Fischer et al. 2014). Die sommerliche Abnahme – hier sind sich alle Klimaprojektionen einig – wird zu längeren Trockenphasen führen, die durch intensivere Niederschläge unterbrochen werden.

Während bei den saisonalen Veränderungen des Niederschlags noch grosse Unsicherheiten bestehen, ist die Zunahme der Lufttemperatur *sehr wahrscheinlich*. Dies hat grosse Auswirkungen auf Schnee und Gletscher und damit auch auf den Wasserhaushalt. Die folgende Überlegung verdeutlicht dies: Der Anteil des Schmelzwassers an der jährlichen Abflussmenge beträgt in der Schweiz rund 40 Prozent, wird jedoch auf rund 24 Prozent zurückgehen – mit weitreichenden Folgen für das saisonale Abflussverhalten (s. a. Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46).

Saisonale Umverteilung der Abflüsse

Bei Modellsimulationen zu den Auswirkungen veränderter Temperaturen und Niederschläge auf die Abflussverhältnisse konnten in der Schweiz sieben nicht zusammenhängende Regionen identifiziert werden, innerhalb derer die Auswirkungen ähnlich sind (Abb. 2.6). In allen Regionen ist eine mehr oder weniger starke Abnahme der Abflüsse im Sommer und eine Zunahme der Abflüsse im Winter erkennbar. Es ergibt sich damit eine saisonale Umverteilung der Abflüsse bei nahezu gleichbleibenden jährlichen Abflussmengen. Die Veränderungen werden vermutlich im Alpenraum und in der fernen Zukunft (nach 2050) am grössten sein. Verallgemeinernd können die sieben Regionen wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Mittelland und das Südtessin sind vor allem niederschlagsgesteuert: In der nahen Zukunft werden die mittleren Abflüsse praktisch unverändert bleiben, während es in der fernen Zukunft zu einer saisonalen Umverteilung kommen wird. Das Abflussverhalten folgt damit der projizierten Niederschlagsveränderung (s. oben). Die leichte Zunahme der Abflüsse im Winter ist auch auf die Temperaturerhöhung zurückzuführen, die zu einer Abnahme der Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee führt.

- Die Abflüsse in den saisonal schneebedeckten und teilweise vergletscherten alpinen Einzugsgebieten sind vor allem temperaturgesteuert, was bedeutet, dass Schnee- und Gletscherschmelze den Abfluss dominieren: Die Erhöhung der Lufttemperatur führt zur Erhöhung der Nullgradgrenze und damit zu einem höheren Anteil an Regen. Dies hat wiederum eine Erhöhung der Abflüsse im Winterhalbjahr zur Folge. Zudem apert die unteren und mittleren Höhenlagen früher aus, und es kommt zu einer früheren Schneeschmelze. Damit nehmen die Abflüsse im Mai und Juni ab. Von Juli bis September werden die Abflüsse infolge verringerter oder gar fehlender Gletscherschmelze weiter abnehmen. Eine Ausnahme bilden die sehr hoch gelegenen Einzugsgebiete im südlichen Wallis, bei denen der temperaturbedingte Wandel weniger stark ausgeprägt ist.

Eine starke Abnahme der sommerlichen Abflussmengen hat weitreichende Folgen für die Wasserversorgung. Gleichzeitig steigt das Risiko für hohe Wassertemperaturen, auch weil sich flache Gewässer stärker erwärmen und somit die Wirkung der projizierten Temperaturerhöhung verstärken. Durch die Temperaturerhöhung und der dadurch bedingten höheren Schneefallgrenze wird in allen Einzugsgebieten der direkte Einfluss des flüssigen Niederschlags zunehmen, was die inner- und interannuelle Abflussvariabilität erhöht. Alle projizierten Veränderungen, die mit der Lufttemperatur verbunden sind, also insbesondere die Umverteilung des Abflusses vom Sommer in den Winter, können als sehr sicher angesehen werden. Diese Kenntnisse erlauben bereits jetzt die Planung und Umsetzung erster Massnahmen zur Anpassung.

Extremereignisse

Noch unsicher sind Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung der extremen Hoch- und Niedrigwasser (Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52). Dies hängt einerseits damit zusammen, dass die Abbildung von Wetterextremen in Klimamodellen noch grosse Schwächen aufweist. Andererseits ist das Ausmass eines Hochwassers von mehreren Faktoren abhängig, so dass allein aus der klimabedingten Intensivierung der Starkniederschläge nicht auf eine Zunahme grosser Hochwasser und/oder eine Erhöhung der Hochwasserspitzen geschlossen werden kann. Aus der projizierten Temperaturerhöhung kann aber abgeleitet werden, dass sich die Hochwassersaison im Alpenraum verlängern wird (Köplin et al. 2014) und dass die Hochwasservolumina zunehmen werden. Zudem werden Niedrigwasserperioden im Mittelland häufiger auftreten und intensiver ausfallen (BAFU 2012).

Herausforderungen für die Schweiz

Wie eingangs dargelegt, kann durch Minderung des Treibhausgasanstosses am effektivsten auf den Klimawandel und dessen Folgen reagiert werden – auch aus Sicht des Wassers (Rössler et al. 2014). Zusätzlich sind allerdings Anpassungsmassnahmen nötig.

Bei der Planung der Massnahmen zur Anpassung ist eine umfassende Analyse notwendig. Neben dem Klimawandel muss insbesondere auch der sozioökonomische Wandel, der einen grossen Einfluss auf die zukünftige Nachfrage nach Wasser und die Ausgestaltung der Landschaft hat, mitberücksichtigt werden (Reynard et al. 2013). Die Auswirkungen der Sozioökonomie können dabei deutlich grösser als die Folgen des Klimawandels sein, insbesondere im Schweizer Mittelland, im Jura und in den Voralpen (NFP 61 2015). Deshalb sind regionale Planungsinstrumente zu schaffen, die alle Aspekte des Wassers miteinbeziehen. Das Wassermanagement ist so zu gestalten, dass das Dargebot berücksichtigt wird und die Verteilung des nachgefragten Wassers nach klaren und gerechten Regeln geschieht (Abb. 2.5), und dass flexibel auf die zukünftigen Trockenphasen und Hochwasser reagiert werden kann. So könnten beispielweise mit dem Bau neuer Speicher und durch die Mehrfachnutzung bestehender Speicher sommerliche Engpässe überbrückt und Hochwasserspitzen gleichzeitig gedämpft werden. Ziel solcher Massnahmen ist es, das im Winterhalbjahr oder während Hochwasserphasen reichlich vorhandene Wasser zu speichern, um es dann während sommerlicher Trockenperioden für die diversen Wassernutzer verfügbar zu machen.

Referenzen

- BAFU (2012) **Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer**. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen 1217: 76 pp.
- Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (2016) **Steigende Weltbevölkerung und die Hauptursachen**. www.dsw.org
- Fischer A, Keller D, Liniger M, Rajcak J, Schär CH, Appenzeller C (2014) **Projected changes in precipitation intensities and frequency in Switzerland: a multi-model perspective**. *International Journal of Climatology* 35: 3204–3219.
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/syr
- Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types**. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 2267–2283.
- Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2013) **Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change**. *Hydrological Processes* 28: 2567–2578.
- MeteoSchweiz (2013) **Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht**. Fachberichte 243.
- 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. www.nfp61.ch
- Reynard E, Bonriposi M, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger H, Rey E, Rist S, Schädler B, Schneider F, Weingartner R (2013) **MontanAqua**. Anticiper le stress hydrique dans les Alpes – Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais).
- Rössler O, Addor N, Bernhard L, Figura S, Köplin N, Livingstone DM, Schädler B, Seibert J, Weingartner R (2014) **Hydrological responses to climate change: river runoff and groundwater**. In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 57–66.