



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

National Centre for Climate Services NCCS
Bundesamt für Umwelt BAFU

Hydrologische Szenarien Hydro-CH2018

Schweizer Gewässer im Klimawandel



KLIMASCHUTZ IST GEWÄSSERSCHUTZ

Die Schweiz mit ihren Flüssen, Seen, Grundwasservorkommen, Gletschern und schneebedeckten Bergen ist eines der wasserreichsten Länder Europas. Sie ist aber auch ein intensiv genutztes Land – und das gilt insbesondere für die Gewässer. Diese stehen durch Wasserentnahmen, Schadstoffeinträge sowie Trockenlegung und Verbauung stark unter Druck. Zu diesen Belastungen kommt seit einigen Jahrzehnten der Klimawandel hinzu.



Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf unsere Gewässer und die Wasserwirtschaft? Diese Frage wurde im Themenschwerpunkt «Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel Hydro-CH2018» des National Centre for Climate Services (NCCS) untersucht. Das Projekt zeichnet ein detailliertes Bild, welche Veränderungen wir im Wasserhaushalt unseres Landes bis Ende dieses Jahrhunderts zu erwarten haben und wie die Gewässer betroffen sind. Diese Broschüre fasst die Erkenntnisse zusammen.

Hydro-CH2018, an dem führende Forschungsinstitutionen des Landes beteiligt waren, belegt zweifelsfrei, dass sich die bereits beobachteten, klimatisch bedingten Veränderungen im Wasserhaushalt der Schweiz in Zukunft verschärfen werden.

Eine wirkungsvolle Klimapolitik ist für die Gewässer zentral, denn ohne weltweiten Klimaschutz würden sich die Fliessgewässer im Mittelland gegen Ende des Jahrhunderts im Sommer um bis zu 5,5 Grad erwärmen und nur etwa halb so viel Wasser führen wie heute. Dies wäre eine enorme Herausforderung für Natur, Gesellschaft und Wirtschaft. Umso mehr, weil die Ansprüche an die Gewässer laufend zunehmen – sei es für Kühlung, Bewässerung, Wärmenutzung oder Stromgewinnung.

Die Gesellschaft und Wirtschaft müssen sich auf die neuen klimatischen Bedingungen einstellen und auch der Natur Rechnung tragen. Der Erfolg dieser Anpassung an den Klimawandel steht und fällt mit widerstandsfähigen Gewässern, welche die zusätzlichen Herausforderungen bis zu einem gewissen Grad abzufedern vermögen.

Damit dies gelingt, ist es vordringlich, die geltenden Vorschriften zum Schutz der Gewässer in allen Bereichen konsequent umzusetzen. Der Klimawandel stellt alle unsere Eingriffe auf den Prüfstand: Wasserentnahmen, Schadstoffeinträge sowie bauliche Massnahmen. Unser Handeln von heute bestimmt die Zukunft der Schweizer Gewässer.

Katrin Schneeberger, Direktorin BAFU

IMPRESSUM

Projektleitung

Bundesamt für Umwelt BAFU

Projektgruppe

Petra Schmocker-Fackel (Projektleitung), Fabia Hüsler, Carlo Scapozza (Vorsitz), Michael Sinreich, Roland Hohmann, Sabine Kleppek, Bänz Lundsgaard-Hansen, Adrian Jakob, Carolin Schärpf, Olivier Overney † (Bundesamt für Umwelt BAFU), Andreas Fischer (MeteoSchweiz), Irene Roth, Jan Béguin (Bundesamt für Landwirtschaft BLW)

Konzeption und Texte

Petra Schmocker-Fackel, Fabia Hüsler, Edith Oosenbrug (BAFU); Jörg Schmill, Jean-Luc Perret (Sinform AG); Klaus Lanz (international water affairs); Rolf Weingartner (ecosfera gmbh)

Gestaltung

Roland Ryser (zeichenfabrik.ch), Kuno Strassmann (kun-st.ch)

Dank

Der Herausgeber dankt allen Expertinnen und Experten für ihre fachlichen Beiträge und die wertvollen Kommentare.

Zitierung

NCCS (Hrsg.) 2021: Schweizer Gewässer im Klimawandel. National Centre for Climate Services, Zürich. 28 S. ISBN 978-3-9525413-3-3

Herausgeber

National Centre for Climate Services NCCS
c/o Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
Operation Center 1, Postfach 257
CH-8058 Zürich-Flughafen
www.nccs.ch

Bezug der gedruckten Fassung und PDF-Download

BBL, Verkauf Bundespublikationen, CH-3003 Bern
www.bundespublikationen.admin.ch
Art.-Nr.: 810.400.140D
nccs.admin.ch/hydro_broschuere

Klimaneutral und VOC-arm gedruckt auf Recyclingpapier

Diese Publikation ist auch in französischer, italienischer und englischer Sprache verfügbar.
Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2021

National Center for Climate Services NCCS

Das NCCS ist das Netzwerk des Bundes für Klimadienstleistungen. Als nationales Koordinations- und Innovationsorgan sowie als Wissensplattform unterstützt das NCCS klimakompatible Entscheidungsfindungen, um Risiken zu minimieren, Chancen zu maximieren und Kosten zu optimieren.

DIE GEWÄSSER ENDE JAHRHUNDERT

Der Klimawandel verändert die Verfügbarkeit von Wasser im Jahresverlauf stark. Die hydrologischen Szenarien Hydro-CH2018 zeigen, dass die wichtige Ressource zeitweise und regional so knapp oder so warm wird, dass der Mensch sich einschränken muss und die Natur leidet. Mit Klimaschutz fallen die Veränderungen deutlich geringer aus – Klimaschutz lohnt sich. Durch konsequenten Schutz der Gewässer sowie umsichtige Planung und Bewirtschaftung lassen sich die Herausforderungen besser bewältigen.

Abfluss aus Schneeschmelze
-45 % ohne Klimaschutz **-15 %** mit Klimaschutz

Winterabflüsse
+30 % ohne Klimaschutz **+10 %** mit Klimaschutz

Jahresabflüsse
-10 % ohne Klimaschutz **-0 %** mit Klimaschutz

Niedrigwasserabflüsse in Gebieten unterhalb von 1500 m ü. M.
-30 % ohne Klimaschutz **-15 %** mit Klimaschutz

Sommerabflüsse
-40 % ohne Klimaschutz **-10 %** mit Klimaschutz

NUTZUNGSGRENZEN RESPEKTIEREN

Bei höheren Temperaturen braucht die Natur mehr Wasser. Die Gewässernutzungen müssen sich diesem natürlichen Mehrbedarf anpassen, sonst schädigen sie die Ökosysteme. Zudem müssen die verschiedenen Nutzungen in Zeiten, in denen Wasser knapp ist, priorisiert werden. Der Blick in die ferne Zukunft ist wichtig, weil Wasserbauwerke und Nutzungskonzessionen über viele Jahrzehnte bestehen.

→ Seite 18

GEWÄSSER FÜR DEN WANDEL STÄRKEN

Ökologisch intakte und naturnahe Gewässer kommen mit den Herausforderungen des Klimawandels besser zurecht. Deshalb müssen Bäche, Flüsse, Seen und Grundwasservorkommen in ihrer Natürlichkeit erhalten oder wiederhergestellt werden. Zudem gilt es, Wasserressourcen noch besser vor übermässigen Wasserentnahmen und vor Verunreinigungen zu schützen.

→ Seite 22

Wassertemperatur Fließgewässer Sommer
+5,5 °C ohne Klimaschutz **+2 °C** mit Klimaschutz

Wassertemperatur Oberfläche Seen Jahr
+3,5 °C ohne Klimaschutz **+1 °C** mit Klimaschutz

100-jährlicher Eintagesniederschlag
+20 % ohne Klimaschutz **+5 %** mit Klimaschutz

Gletschervolumen Alpen
-95 % ohne Klimaschutz **-65 %** mit Klimaschutz

Die Übersicht zeigt die Mittelwerte der erwarteten Veränderungen in den Jahren 2070–2099 gegenüber dem Referenzzeitraum 1981–2010 mit und ohne Klimaschutz. Angegeben sind Durchschnittswerte für die ganze Schweiz.



ABFLÜSSE IM WANDEL

Der Schnee und die Gletscher verlieren wegen der höheren Temperaturen allmählich ihre Bedeutung als Wasserspeicher. Dadurch verändert sich die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse: Bäche und Flüsse der Schweiz führen in Zukunft mehr Wasser im Winter und weniger im Sommer. Auch bildet sich im Winter mehr Grundwasser neu, dafür weniger im Sommer und Herbst. Der Jahresabfluss wird aber nur leicht abnehmen.

→ Seite 10



WASSERKNAPPHEIT IM SOMMER

Im Sommer werden Flüsse und Bäche weniger Wasser führen. Grund dafür sind weniger Schmelzwasser und geringere Niederschlagsmengen sowie häufigere und längere Trockenperioden. Ausserdem nimmt die Verdunstung zu. Als Folge davon geht die verfügbare Wassermenge im Sommer zurück. Gleichzeitig steigt jedoch der Wasserbedarf von Natur und Gesellschaft.

→ Seite 12



STEIGENDES GEFAHRENPOTENZIAL

Häufigere und intensivere Starkniederschläge sowie eine höhere Nullgradgrenze verstärken Hochwasser, Hangrutschungen und Überschwemmungen. In hohen Lagen schwinden die Gletscher, und der gefrorene Untergrund taut allmählich auf. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit von Steinschlägen, Hangrutschungen und Murgängen.

→ Seite 14



WASSERLEBEWESEN IN BEDRÄNGNIS

Der Klimawandel führt zu steigenden Wassertemperaturen. Besonders im Sommer kann dies zusammen mit geringen Wasserständen gravierende Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere in und an den Gewässern haben.

→ Seite 16

Wie entstanden die hydrologischen Szenarien? → Seite 24

Konsequenter Klimaschutz ist entscheidend für die Gewässer.

ALLES IM FLUSS

Die Schweiz gehört zu den wasserreichsten Ländern Europas. Wegen der Alpen und der Nähe zu Atlantik und Mittelmeer fällt mehr Niederschlag als andersorts. Ausserdem besitzt die Schweiz grosse Wasserspeicher in Form von Seen, Grundwasser, Gletschern und Schnee.

WASSERKREISLAUF

Wasser bewegt sich in einem globalen Kreislauf. Aus Wolken fällt es als Regen oder Schnee zur Erde, versickert in den Boden und ins Grundwasser oder verdunstet als Wasserdampf, entspringt aus Quellen, fliesst in Bächen, Flüssen und Seen und gelangt schliesslich ins Meer, wo es erneut in die Atmosphäre aufsteigt.

Die globale Erderwärmung intensiviert den Wasserkreislauf.

SCHNEESCHMELZE* 350 mm/Jahr

Bei tiefen Temperaturen fällt Niederschlag als Schnee und wird einige Wochen oder Monate in der Schneedecke gespeichert. Im Frühling und Sommer schmilzt der Schnee des vergangenen Winters und lässt die alpinen Bäche und Flüsse anschwellen.

Infolge des Klimawandels geht der Beitrag aus der Schneeschmelze stark zurück:

Winter -15 | Frühling -54 | Sommer -76 | Herbst -20
Jahr -165 (in mm)

*Die Schneeschmelze ist Teil des Niederschlags.

NIEDERSCHLAG 1440 mm/Jahr

In der Schweiz fällt viel Niederschlag, der meiste davon in den Bergen. Die vorherrschenden Winde verfrachten die Wolken vom Atlantik und vom Mittelmeer zu den Alpen, wo sie sich abkühlen und ausregnen.

Durch den Klimawandel nehmen die Niederschläge im Winter zu und im Sommer ab. Sie fallen vermehrt als Regen statt als Schnee.

Winter +37 | Frühling +21 | Sommer -70 | Herbst -18
Jahr -30 (in mm)

Speicherseen
Nutzbares Volumen
3,5 km³/Jahr

GLETSCHERSCHMELZE 10 mm/Jahr

Gletscher können den Niederschlag über Jahrzehnte hinweg speichern. Im Winter legen sie vor allem in den höher gelegenen Bereichen an Masse zu. Im Sommer und Herbst schmilzt das Eis im tiefer liegenden Bereich.

Durch den Klimawandel liefern die Gletscher immer weniger Schmelzwasser. Die meisten verschwinden sogar ganz:

Winter +0 | Frühling +0 | Sommer -5 | Herbst -2
Jahr -7 (in mm)

ABFLÜSSE 990 mm/Jahr

Die Abflüsse in Bächen und Flüssen stammen aus Niederschlag, Schmelzwasser und Grundwasser. Nur ein Teil des Niederschlags fliesst oberflächlich ab. Der Rest versickert in den Boden und ins Grundwasser oder wird als Schnee oder Gletschereis gespeichert. Diese Zwischenspeicherung sorgt einerseits dafür, dass die meisten Flüsse und Bäche auch in niederschlagsfreien Zeiten Wasser führen. Andererseits sind sie die Ursache für charakteristische jahreszeitliche Schwankungen im Abfluss.

Der Klimawandel verändert die jahreszeitlichen Schwankungen in den Abflüssen:

Winter +59 | Frühling +10 | Sommer -116 | Herbst -38
Jahr -85 (in mm)

VERDUNSTUNG 460 mm/Jahr

Die Landoberfläche hat als Bindeglied zwischen Atmosphäre und Gewässern eine zentrale Bedeutung im Wasserkreislauf. Ein Drittel des gesamten Niederschlags verdunstet in der Schweiz – aus Böden, von Wasseroberflächen und über die Pflanzen.

Der Klimawandel verstärkt die Verdunstung in allen Jahreszeiten:

Winter +16 | Frühling +25 | Sommer +2 | Herbst +6
Jahr +49 (in mm)

Seen

Gesamtvolumen 130 km³

Nachhaltig nutzbares
Volumen rund 2 km³/Jahr

ABFLÜSSE mm/Jahr:

Jahressumme in Millimeter
Wassersäule für Referenzperiode 1981–2010

Winter/Frühling/Sommer/Herbst/Jahr: Zu- und Abnahme in Millimeter Wassersäule pro Jahreszeit oder Jahr für die Periode 2070–2099 ohne Klimaschutz (RCP8.5) im Vergleich zur Referenzperiode.

Werte in Millimeter beziehen sich auf die hydrologische Schweiz (Schweiz plus Gebiete in Nachbarländern, die in die Schweiz entwässern). 10 Millimeter Wassersäule entspricht einem Volumen von 0,54 Kubikkilometer und damit etwa dem Volumen des Murtensees.

Die Angaben in Kubikkilometer beziehen sich auf die politische Schweiz inklusive der Gesamtvolumen der Grenzseen.

**NACHHALTIG NUTZBARES
VOLUMEN
aller Wasserspeicher
23,5 km³/Jahr**

Der grösste nutzbare Wasserspeicher der Schweiz ist das Grundwasser. Ebenfalls wichtig sind natürliche und künstliche Seen. Der Mensch nutzt dieses Wasser – allerdings nur so viel, dass die Wasserstände immer wieder regenerieren können. Wird Seen und Grundwasser zu viel Wasser entnommen, können Feuchtgebiete trockenfallen oder Fließgewässer zu wenig Wasser führen. Der Wasserstand von Speicherseen wird durch die Bewirtschaftung bestimmt, und fast das gesamte Speichervolumen ist nutzbar.

Der Klimawandel verändert die Füllung der Speicher im Jahresverlauf.

Grundwasser

Gesamtvolumen 150 km³

Nachhaltig nutzbares Volumen
rund 18 km³/Jahr

ZEICHEN DES KLIMAWANDELS

In der Schweiz sind die durchschnittlichen Lufttemperaturen seit 1864 bis heute um etwa zwei Grad angestiegen. Die messbare Erwärmung beeinflusst den Wasserhaushalt in vielfältiger Weise.



Niederschlag

Die Jahresniederschlagsmengen haben sich in der Schweiz seit Beginn der Niederschlagsmessung 1864 kaum verändert. Während die Winterniederschläge in vielen Regionen zunahm, gingen die Sommerniederschläge zurück. Diese saisonale Entwicklung ist aber bisher bloss im Mittelland und Jura für Winterniederschläge statistisch signifikant. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts sind zudem Starkniederschläge häufiger und stärker geworden.



Schnee

Weil es wärmer wird, steigt die winterliche Nullgradgrenze seit Jahrzehnten an, seit 1960 bereits um 400 Meter. Deshalb fällt im Winter mehr Regen als Schnee. In tiefen Lagen (unterhalb 800 Meter über Meer) ist die Anzahl der Tage mit Schneefall seit 1970 um die Hälfte zurückgegangen, oberhalb von 2000 Meter über Meer um 20 Prozent.



Abflüsse

Die Jahresmengen der Abflüsse haben sich in den letzten hundert Jahren kaum verändert. Allerdings nahmen die Winterabflüsse in vielen Gebieten zu und die Sommerabflüsse ab.

Der Klimawandel wirkt sich bereits deutlich auf Abflüsse und Wasserressourcen aus.



Hochwasser

Heftiger Regen lässt Bäche und Flüsse anschwellen – es kommt zu Hochwasser und Überschwemmungen. Wenn starker Regen zu wenig rasch im Boden versickert, kann er oberflächlich abfliessen und sogar weit weg von Gewässern Überschwemmungen verursachen. In der Vergangenheit wechselten sich in der Schweiz Phasen mit vielen und wenigen Starkniederschlägen und Hochwassern ab. Seit den 1970er-Jahren lassen sich sowohl eine Häufung als auch eine Zunahme der Intensität von Hochwassern beobachten. Ein Grund dafür ist wahrscheinlich die Klimaänderung.

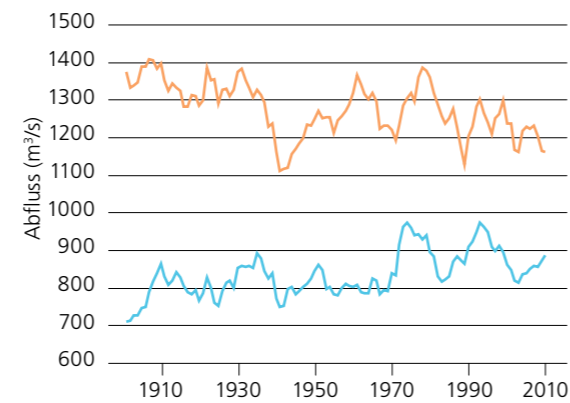


Niedrige Wasserstände

Seit 2000 leidet die Schweiz besonders im Sommer gehäuft unter wochenlangen Trockenphasen. 2018 fiel beispielsweise von April bis September ein Drittel weniger Regen als für diese Jahreszeit üblich. Die Wasserstände von Flüssen, Seen und Grundwasservorkommen sanken. Das Wasser wurde lokal knapp.

Abfluss des Rheins

Die Abbildung weist die über fünf Jahre gemittelten Abflussmengen der Messstation Basel aus. Die Abflussmengen im Sommer und Winter veränderten sich gegenläufig.



Fünffähriges gleitendes Mittel — Sommer — Winter



Gletscher

Seit 1850 haben die Gletscher über die Hälfte ihres Volumens verloren. Als Folge der zunehmenden Erwärmung schmilzt im Sommerhalbjahr wesentlich mehr Gletschermasse ab, als sich im Winter bilden kann. Die Eisschmelze setzt zudem immer früher im Jahr ein.



Permafrost

Oberhalb von 2500 Meter über Meer sind Teile des Untergrundes ganzjährig gefroren. Wegen der Erwärmung hat der Eisgehalt im Boden deutlich abgenommen.



Wassertemperatur

Fließgewässer und Seen haben sich in den letzten Jahrzehnten deutlich erwärmt. Seit 1970 stiegen die mittleren Wassertemperaturen in Schweizer Flüssen und Bächen um mehr als ein Grad an.

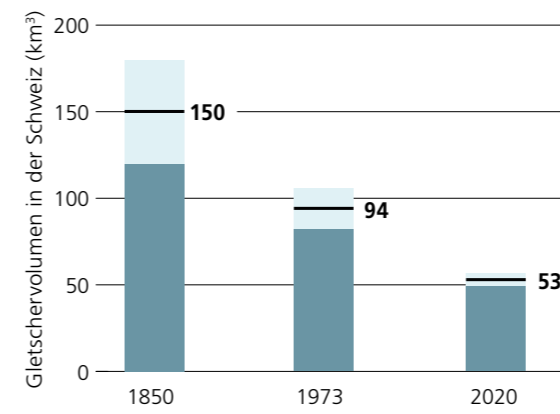


Grundwasser

Oberflächennahe Grundwasservorkommen haben sich mancherorts bereits leicht erwärmt. Während längeren Trockenzeiten ging die verfügbare Grundwassermenge an einigen Quelfassungen und Pumpbrunnen stark zurück. Das tiefere Grundwasser ist dagegen noch kaum vom Klimawandel betroffen.

Volumen der Gletscher

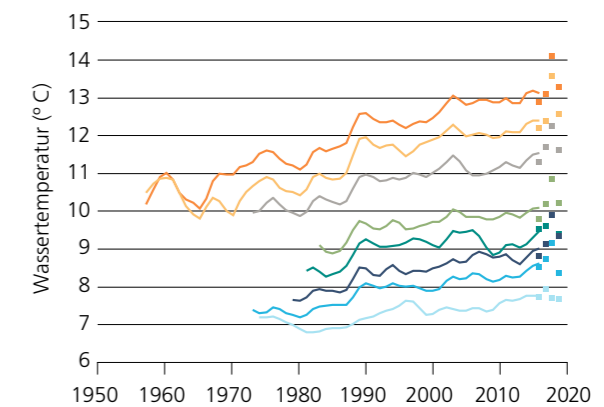
Die Grafik zeigt, dass sich die gesamte Eismenge der Schweizer Gletscher seit 1850 dramatisch vermindert hat. Die hellen Flächen kennzeichnen den Unsicherheitsbereich.



Quelle: Schweizer Gletschermessnetz GLAMOS

Wassertemperatur der Flüsse

Die Grafik verdeutlicht anhand einiger Beispiele, dass die mittlere jährliche Wassertemperatur der Schweizer Fließgewässer in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen ist. Dargestellt sind gleitende Mittel (über 7 Jahre) als Linien und die letzten 4 Jahresmittel als Punkte.



Rhein – Basel Ticino – Riazzino
 Rhein – Rekingen Emme – Emmenmatt
 Aare – Bern Rhein – Diepoldsau
 Saane – Gümmenen Rhône – Porte du Scex

ABFLÜSSE IM WANDEL

Der Beitrag von Schmelzwasser aus Schnee und Eis zu den Abflüssen nimmt weiter ab. Dadurch verändert sich deren jahreszeitliche Verteilung. Die Gewässer der Schweiz führen in Zukunft mehr Wasser im Winter und weniger im Sommer. Die gesamte Jahresmenge nimmt jedoch nur geringfügig ab.

Der Klimawandel greift zweifach in den Wasserhaushalt ein: Durch die Veränderung der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags sowie durch den Anstieg der Lufttemperatur. Die Klimaszenarien zeigen, dass die Niederschläge im Winter zukünftig zunehmen und im Sommer abnehmen. Die Verdunstung verstärkt sich in allen Jahreszeiten.

Im Winter führt die Erwärmung dazu, dass Niederschläge öfter bis in höhere Lagen als Regen fallen und schneller abfliessen. Eine kleinere Fläche der Schweiz ist mit Schnee bedeckt. Ausserdem bildet sich die Schneedecke später im Jahr und schmilzt früher ab. Als Folge davon nehmen die Abflüsse und die Grundwasserneubildung in den Wintermonaten zu. Im Frühling und Sommer fehlt hingegen das Schmelzwasser.

Im Sommer bewirken höhere Temperaturen, dass die Gletscher rascher abschmelzen. Gewässer, die von ihnen gespeist werden, führen damit mehr Wasser. Dies ist allerdings ein vorübergehendes Phänomen: Bei den kleinen Gletschern nimmt das Schmelzwasser bereits heute schon wieder ab, bei den grossen voraussichtlich spätestens ab 2050.

All diese Entwicklungen haben zur Folge, dass zukünftig nahezu alle Fliessgewässer im Winter mehr Wasser führen. Falls keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden, nehmen die Winterabflüsse bis Ende des Jahrhunderts zwischen 10 und 50 Prozent zu. Im Sommer und Herbst dagegen vermindert sich der Abfluss gegenüber heute um 30 bis 50 Prozent.

Die veränderten jahreszeitlichen Zuflüsse werden sich auch auf die Wasserstände in den Seen auswirken. Die gesamte Jahresabflussmenge vermindert sich jedoch voraussichtlich bloss um rund 10 Prozent.

Auch die jahreszeitliche Dynamik von Grundwasserständen und Quellabflüssen verändert sich: Hoch- und Niedrigphasen werden ausgeprägter. Im Winter treten höhere, im Sommer tiefere Wasserstände und Abflüsse auf. Die Wasserwirtschaft muss sich auf diese veränderten Bedingungen einstellen.

	Mit Klimaschutz bis Ende Jahrhundert	Ohne Klimaschutz bis Ende Jahrhundert
Abfluss aus Schneeschmelze	-0 bis -30 %	-30 bis -60 %
Winterabflüsse	+0 bis +20 %	+10 bis +50 %
Jahresabflüsse	-5 bis +5 %	-0 bis -20 %

Möglicher Bereich der Veränderungen 2070–2099 gegenüber 1981–2010 (Bandbreite der Simulationen). 30-Jahres-Durchschnittswerte für die Schweiz auf 5% genau angegeben.

Schnee und Gletscher verlieren im Wasserhaushalt der Schweiz immer mehr an Bedeutung.

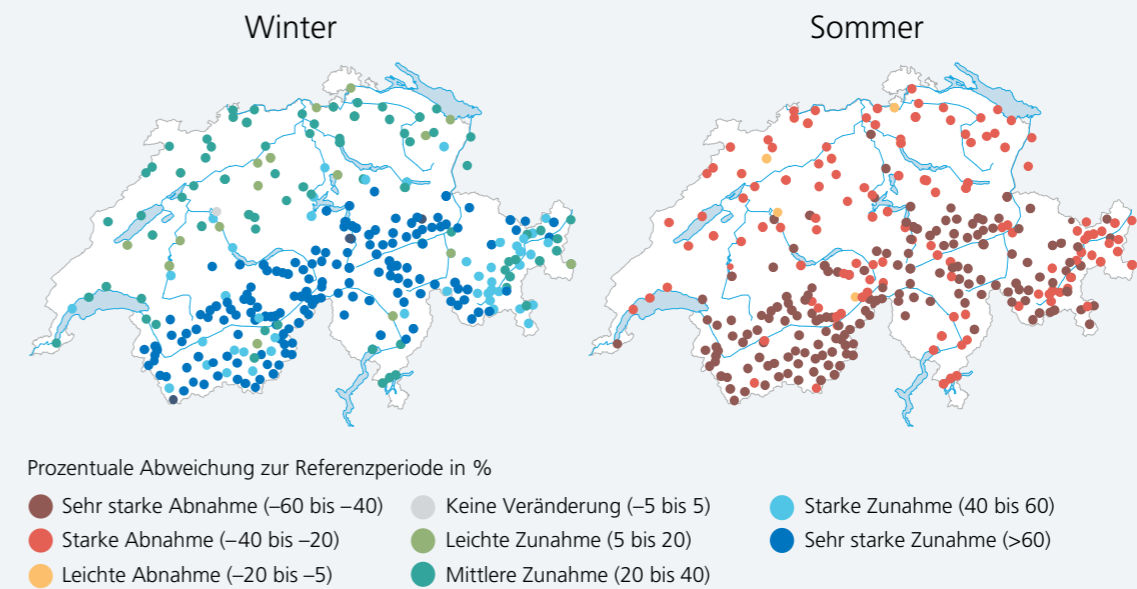


«In der Schweiz stammen fast 60 Prozent des Stroms aus Wasserkraftwerken. Flusskraftwerke entlang der grossen Flüsse können in Zukunft im Sommer weniger Strom produzieren, im Winter dafür mehr. Dies ist positiv, da besonders im Winter viel Energie gebraucht wird. Mit dem Verschwinden der Gletscher und dem leichten Rückgang der Jahresabflüsse wird insgesamt allerdings weniger Wasser für die Stromerzeugung vorhanden sein.»

Kraftwerksingenieurin Maja

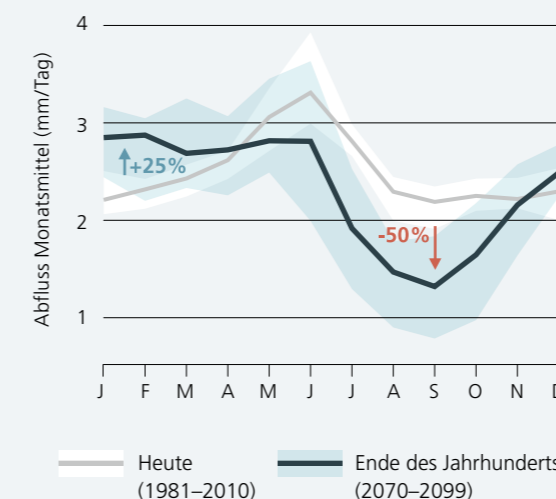
Erwartete Abflussveränderungen

Die Karten zeigen die voraussichtlichen Veränderungen der saisonalen Abflüsse für verschiedene Einzugsgebiete bis zum Ende des Jahrhunderts (2070–2099) im Vergleich zur Referenzperiode (1981–2010), falls kein Klimaschutz erfolgt.



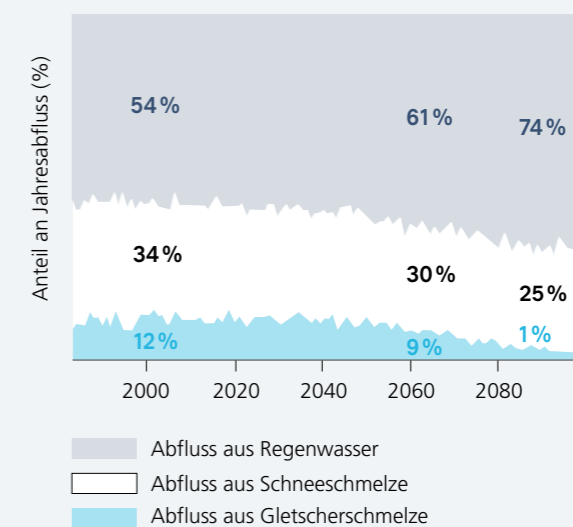
Jahresgang des Rheins

Die Pfeile verdeutlichen, wie sich die mittleren monatlichen Abflüsse des Rheins bei Basel bis Ende dieses Jahrhunderts verändern, falls kein Klimaschutz erfolgt. Die helleren Flächen stellen die Bandbreite der Modellierungen dar.



Wasser in der Kander

Die Grafik zeigt, wie sich die Anteile von Regenwasser sowie Schmelzwasser aus Schnee und Gletscher im Abfluss bei Kandersteg verändern, falls kein Klimaschutz erfolgt. Der Anteil des Regenwassers steigt deutlich von 54 auf 74 %.



WASSERKNAPPHEIT IM SOMMER

Im Sommer führen Flüsse und Bäche zukünftig weniger Wasser als heute. Zudem werden Trockenphasen häufiger und länger. Während dieser Extremereignisse kann es regional und zeitlich begrenzt zu Wasserknappheit kommen.



«Der Klimawandel verstärkt die Trockenheit und gefährdet damit unsere Ernten. Bei höheren Temperaturen brauchen die Pflanzen mehr Wasser zum Gedeihen. Mehr bewässern darf ich aber nicht, weil in unserer Gegend das Wasser im Sommer knapp ist. Ich muss wohl in Zukunft auf Sorten und Kulturen umsteigen, die Hitze und Trockenheit besser vertragen. Ebenfalls schaue ich, dass ich bereits heute auf eine wassersparende Bewässerung umstelle.»

Landwirt Simon

Die hydrologischen Szenarien zeigen, dass die Wasserstände im Sommer und Herbst generell deutlich zurückgehen. Dies gilt sowohl für die Oberflächengewässer als auch für das Grundwasser. Vom Rückgang sind sämtliche Höhenlagen und Regionen betroffen, besonders jedoch die Alpen und Voralpen. Falls keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden, fallen die sommerlichen Abflüsse bis Ende Jahrhundert im Mittel um 30 bis 50 Prozent geringer aus als heute, in heutigen Gletscherbächen sogar um bis zu 60 Prozent.

Gleichzeitig werden Trockenperioden und Hitzewellen in Zukunft im Sommer häufiger und dauern länger an. Ohne Klimaschutz nehmen bis Ende Jahrhundert die sommerlichen Niedrigwasserabflüsse in Gebieten unter 1500 Meter Höhe während Trockenperioden um 30 Prozent ab.

Damit steigt die Gefahr, dass in regenarmen Zeiten Quellen, Feuchtgebiete, Bäche und kleinere Flüsse häufiger trockenfallen. Auch wird das Leben in und an den Gewässern öfter durch mangelnde Wassertiefe und hohe Temperaturen beeinträchtigt. Ein voll-

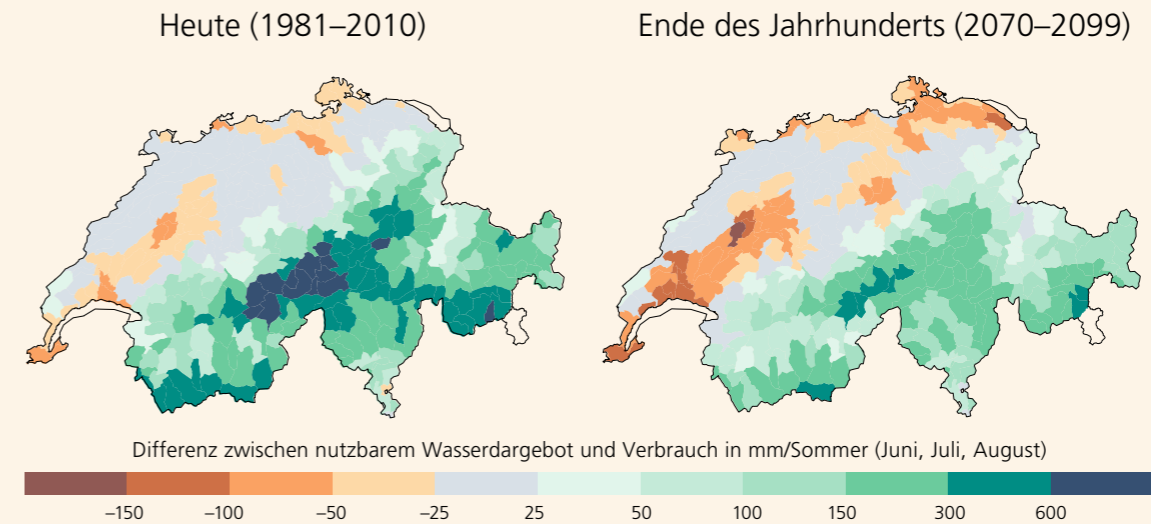
ständiges Austrocknen von Bächen und Flüssen ist in sommerlichen Trockenphasen vor allem bei mittleren und kleineren Fliessgewässern oder in Karstgebieten wie dem Jura zu erwarten.

Als Folge des Klimawandels werden die nutzbaren Wassermengen im Sommer abnehmen. Wenn gleichzeitig vermehrt Fluss- oder Grundwasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen oder für Kühlzwecke verwendet wird, kann es regional und zeitlich begrenzt zu Wasserknappheit kommen. Schon heute müssen diese beiden Nutzungen während Trockenphasen im Sommer eingeschränkt werden.

Hoch gelegene alpine Bäche und Flüsse führten bisher in der Regel im Winter Niedrigwasser, wenn das Wasser in der Schneedecke gespeichert ist. Zukünftig nehmen in Regionen oberhalb von 2000 Meter Höhe die Abflussmengen bei Niedrigwasser im Winter zu. In Gebieten auf einer Höhe von 1500 bis 2000 Meter kann der Klimawandel dazu führen, dass sich die Niedrigwassersaison vom Winter in den Sommer und Herbst verschiebt. Die Abflussmenge bei Niedrigwasser verändert sich jedoch kaum.

Bilanz zwischen Wasserdargebot und Verbrauch

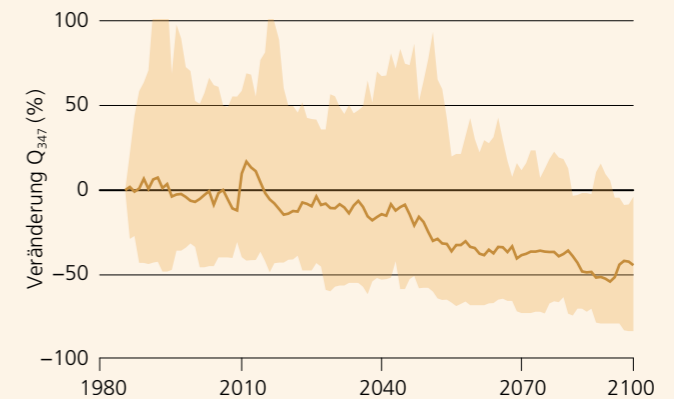
Die Karten zeigen die Differenz zwischen nutzbarem Wasserdargebot und Verbrauch im Sommer eines niederschlagsarmen Jahres heute und Ende dieses Jahrhunderts, sofern kein Klimaschutz erfolgt. In orange/bräunlich eingefärbten Einzugsgebieten herrscht Wasserknappheit. Dort übersteigt der Wasserbedarf im Sommer das nutzbare Vorkommen in Bächen, Flüssen und Seen. Bereits heute weisen einige Regionen in trockenen Jahren ein Wasserdefizit aus. Diese Defizite werden sich in Zukunft verstärken.



Niedrigwasser in der Thur

Die Abbildung verdeutlicht beispielhaft für die Thur bei Halden (TG), wie sich der Niedrigwasserabfluss verändern könnte, wenn keine wirksamen Klimaschutzmassnahmen erfolgen. Der Wert Q_{347} steht für jene Abflussmenge, die im Fluss durchschnittlich an 347 Tagen im Jahr überschritten wird.

Die Niedrigwasserabflüsse in Gebieten unter 1500 Metern Höhe fallen in Zukunft also deutlich tiefer aus als heute. Die helle Fläche steht für die Bandbreite der Simulationen.



	Mit Klimaschutz bis Ende Jahrhundert	Ohne Klimaschutz bis Ende Jahrhundert
Niedrigwasserabflüsse in Gebieten unter 1500 m ü. M.	-0 bis -30 %	-10 bis -50 %
Sommerabflüsse	-0 bis -20 %	-30 bis -50 %

Möglicher Bereich der Veränderungen 2070–2099 gegenüber 1981–2010 (Bandbreite der Simulationen). 30-Jahres-Durchschnittswerte für die Schweiz auf 5% genau angegeben.

Trockenheit im Sommer und im Herbst verknappt regional das Wasserdargebot.

STEIGENDES GEFAHRENPOTENZIAL

Heftigere Starkregenfälle führen in Zukunft vermehrt zu lokalen Überschwemmungen und Oberflächenabfluss. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass auch grossräumige Hochwasser häufiger werden. Die Erwärmung lässt ausserdem Gletscher abschmelzen und den gefrorenen Untergrund in hoch gelegenen Gebieten instabil werden.



«Wir müssen uns darauf einstellen, dass oberflächlich abfliessendes Wasser bei heftigem Regen mehr Schäden anrichtet. Bedroht sind viele Gebäude in der Schweiz. Wer eine Liegenschaft besitzt, sollte unbedingt auf der Gefährdungskarte «Oberflächenabfluss» nachschauen, ob die Immobilie in einer gefährdeten Zone liegt. Schon einfache Massnahmen können verhindern, dass beispielsweise Wasser in Tiefgaragen oder Keller eindringt.»

Feuerwehrmann Renato

Eine wärmere Atmosphäre enthält mehr Energie und kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen – das Potenzial für heftige Regenfälle und Gewitter steigt. Die stärksten Eintagesniederschläge werden daher bis Ende des Jahrhunderts um 20 Prozent intensiver ausfallen, sofern kein Klimaschutz erfolgt. Bei einem zukünftigen Sommergewitter kann also erheblich mehr Regen fallen als heute. Zudem kommt es häufiger zu Starkniederschlägen.

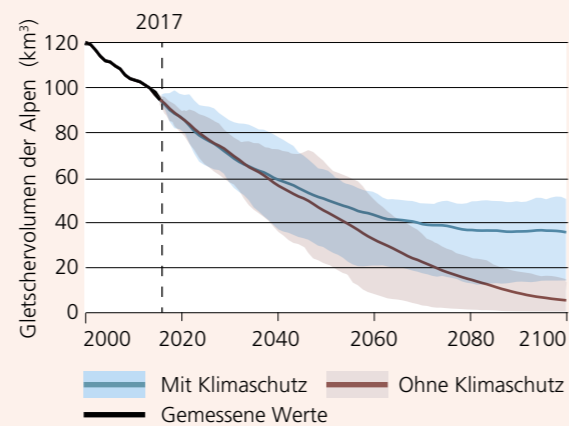
Als Folge werden lokale Überschwemmungen durch Hochwasser und Oberflächenabfluss zunehmen. Bei Oberflächenabfluss versickert der Niederschlag nicht im Boden, sondern überflutet das offene Gelände und verursacht Schäden an Gebäuden, Infrastrukturen und Feldern. Zwei Drittel aller Gebäude in der Schweiz stehen in potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdeten Zonen.

Es gibt auch Hinweise darauf, dass Hochwasser infolge anhaltender Niederschläge häufiger werden und weiträumig Überschwemmungen und Schäden verursachen könnten. Trotz einer eindeutigen Zunahme von lokalen Starkniederschlägen bleibt die zukünftige Entwicklung seltener grossräumiger Hochwasserereignisse schwierig vorherzusagen.

Da die steigenden Temperaturen den dauerhaft gefrorenen Untergrund (Permafrost) in den Bergen auftauen und Gletscher schwinden lassen, nimmt die Hangstabilität in den Bergen ab. Hangrutschungen, Felsstürze und Murgänge häufen sich. Die Menge an losem Gestein und Geröll nimmt zu. Bei Hochwasser wird das Lockermaterial in tiefer gelegene Gebiete transportiert und kann dort Schaden anrichten.

Die Gletscher schmelzen

Die Grafik zeigt, wie sich das Volumen der Gletscher im Alpenraum zukünftig verändert. Die hellen Flächen verdeutlichen die Bandbreite der Simulationen.

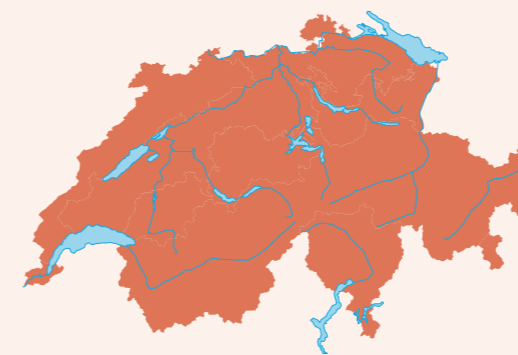


Quelle: Zekollari et al. 2019

Aufgrund von Bevölkerungszunahme und der intensiveren Nutzung der Landschaft entstehen immer mehr Sachwerte, die durch Naturgefahren bedroht sind. Um Schäden vorzubeugen, stehen die Gefahrenkarte «Naturgefahren» sowie die Gefährdungskarte «Oberflächenabfluss» zur Verfügung (www.bafu.admin.ch/naturgefahren). Sie weisen die Gebiete aus, die von Ereignissen betroffen sein könnten.

Im Umgang mit Risiken durch Naturgefahren hat sich in der Schweiz das integrale Risikomanagement bewährt. Mit diesem umfassenden Ansatz können die Verantwortlichen konsequent auch die Veränderungen berücksichtigen, die der Klimawandel bringt – beispielsweise bei der Ausarbeitung von Nutzungsplänen, Baureglementen oder Einsatzplänen.

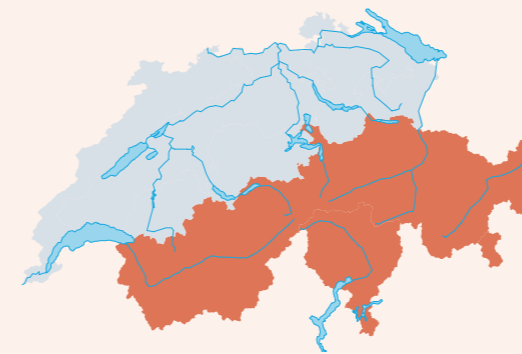
Einflussfaktoren auf das Hochwassergeschehen und deren Veränderung mit dem Klimawandel



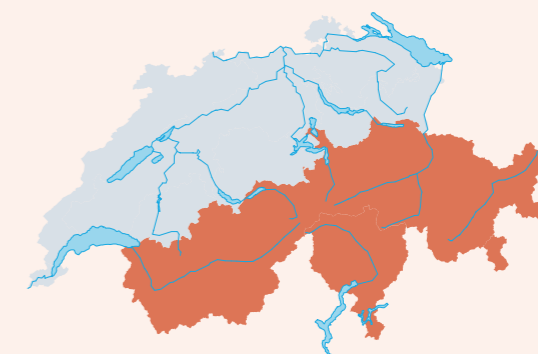
Mehr Energie und Feuchtigkeit in der Atmosphäre
 – Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen
 – Zunahme des Oberflächenabflusses
 – Mehr lokale Hochwasser und Überschwemmungen



Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation
 – Weiterhin hohe natürliche Variabilität
 – Zunahme grossräumiger Hochwasser aufgrund lang anhaltender Starkniederschläge möglich
 – Noch keine gesicherten Aussagen vorhanden



Höhere Nullgradgrenze
 – Mehr Niederschlag in Form von Regen
 – Verlängerte Hochwassersaison



Höhere Verfügbarkeit von Lockermaterial
 – Erhöhung der Gefahr durch Gestein und Geröll
 – Mehr Feststofftransport in alpinen Gewässern

Räumliche Auswirkung auf Hochwasser
 – Zunahme erwartet (red)
 – Keine Änderung (blue)

	Mit Klimaschutz bis Ende Jahrhundert	Ohne Klimaschutz bis Ende Jahrhundert
100-jährlicher Eintagesniederschlag	+5 %	+20 %
Gletschervolumen Alpen	–50 bis –80 %	–90 bis –100 %

Mögliche Veränderungen 2070–2099 gegenüber 1981–2010. 30-Jahres-Durchschnittswerte für die Schweiz auf 5 % genau angegeben. Unsicherheitsbereich der Starkniederschläge ist nicht berücksichtigt, da er stark von natürlichen Schwankungen bestimmt ist.

Naturgefahren wie Hochwasser, Überschwemmungen und Hangrutschungen nehmen zu.

WASSERLEBEWESEN IN BEDRÄNGNIS

Die intensive Nutzung und starke Verbauung der Gewässer sowie der Eintrag von Schadstoffen beeinträchtigen viele Tiere und Pflanzen, die im und am Wasser leben. Der Klimawandel verstärkt die Belastung der Gewässer durch höhere Wassertemperaturen und veränderte Abflüsse. Die biologische Vielfalt in und an den Gewässern wird abnehmen.



«Die Forelle fühlt sich bei Wassertemperaturen um 13 Grad am wohlsten. Ab 20 Grad gerät sie unter Stress, mehr als 25 Grad erträgt der Fisch nur kurze Zeit, dann sind grosse Bestände akut bedroht. Der Klimawandel gefährdet aber nicht nur die Forelle. Andere Tiere, die an kühle und sauerstoffreiche Gewässer angepasst sind, werden regional aussterben. Teilweise völlig unbemerkt.»
Biologin Aline

Flüsse und Bäche werden sich in allen Regionen der Schweiz weiter erwärmen. Falls Treibhausgase weltweit weiter wie bisher ausgestossen werden, könnten die sommerlichen Wassertemperaturen der Fließgewässer bis Ende dieses Jahrhunderts um 3 bis 9 Grad ansteigen. Wenn Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden, bleibt die Erwärmung im Sommer gegenüber heute voraussichtlich unter 3 Grad. Im Winter fällt die Erwärmung geringer aus.

Mit dem Klimawandel häufen sich auch sommerliche Niedrigwasserphasen. Immer öfter versiegen Bäche und fallen Flussabschnitte trocken. Das Zusammenwirken von Erwärmung und Wassermangel führt voraussichtlich sehr schnell zu starken Veränderungen in den Ökosystemen.

Der Jahresdurchschnitt der Wassertemperatur an der Oberfläche der Seen könnte sich durch den Klimawandel bis Ende des Jahrhunderts um 3 bis 4 Grad erhöhen. Dies behindert den Austausch zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser. Als Folge davon verändert

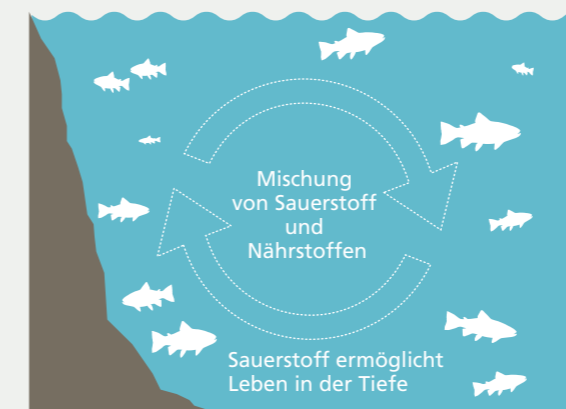
sich die Verteilung von Sauerstoff und Nährstoffen in Seen, was Konsequenzen für das gesamte Nahrungsnetz nach sich zieht.

Manche Wasserlebewesen können sich an die klimabedingten Veränderungen anpassen, indem sie in kühlere, meist höher liegende Gewässer ausweichen. Dies gelingt ihnen allerdings nur, wenn sie keine Hindernisse wie Wasserkraftwerke oder Schwellen aufhalten. Auch muss sich der neue Lebensraum für sie eignen. Für Äschen etwa wäre die Temperatur von Bergbächen optimal. Jedoch kämen sie dort nicht mit der starken Strömung zurecht.

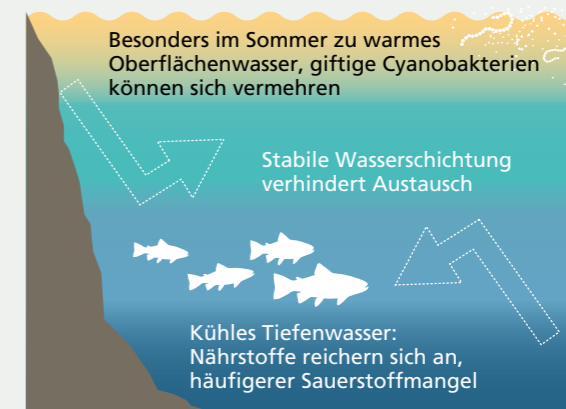
Gefährdet ist nicht nur die Vielfalt der Fische und Krebse, die zu den am stärksten bedrohten Arten in der Schweiz gehören. Die gesamte einheimische Biodiversität am Wasser ist bereits heute stark unter Druck. Der Klimawandel erhöht diesen Druck zusätzlich. Zudem können sich invasive, gebietsfremde Arten unter den geänderten Bedingungen noch besser ansiedeln und ausbreiten.

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Seen

Die Illustrationen verdeutlichen, wie der Klimawandel in die natürlichen Prozesse im See eingreift.



Die meisten Schweizer Seen durchmischen sich heute einmal im Winter oder zweimal pro Jahr im Frühling und Herbst vollständig.



Mögliche Folgen des Klimawandels sind, dass sich einige Seen in Zukunft weniger häufig vollständig durchmischen. Bei allen Seen wird sich die Dauer der stabilen Schichtung im Sommer verlängern und die Wassertemperaturen werden ansteigen.

	Mit Klimaschutz bis Ende Jahrhundert	Ohne Klimaschutz bis Ende Jahrhundert
Wassertemperatur Fließgewässer Sommer	+1,5 bis +3°C	+3 bis +9°C
Wassertemperatur Oberfläche Seen Jahr	ca. +1°C	+3 bis +4°C

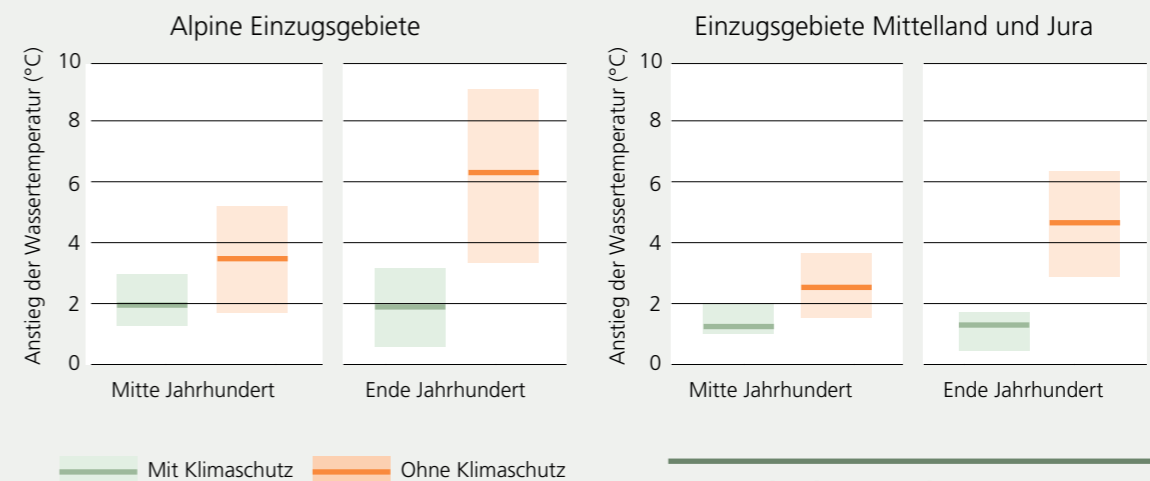
Mögliche Veränderungen 2081–2090 gegenüber 1991–2000 für Fließgewässer und 2070–2099 gegenüber 1981–2010 für Seen. 10- bzw. 30-Jahres-Durchschnittswerte für die Schweiz auf 0,5 Grad genau angegeben.



Gewinner und Verlierer
 Das Leben im Wasser reagiert unterschiedlich auf den Klimawandel. Während einige Organismen von den veränderten Bedingungen profitieren, kommen andere schlecht oder gar nicht damit zurecht. Die einheimische biologische Vielfalt wird insgesamt abnehmen.

Wassertemperaturen in Fließgewässern

Die beiden Grafiken zeigen die voraussichtliche Entwicklung der durchschnittlichen Temperaturen der Schweizer Fließgewässer im Sommer. Die hellen Flächen verdeutlichen die Bandbreite der Simulationen.



Die Erhöhung der Wassertemperaturen gefährdet die biologische Vielfalt in und an den Gewässern.

NUTZUNGSGRENZEN RESPEKTIEREN

Der Klimawandel hat erhebliche Folgen auf die Gewässernutzungen durch den Menschen. Trinkwassergewinnung, Bewässerung, Stromproduktion, Wärmeerzeugung oder Kühlung werden zeitweise an Grenzen stossen. Nutzungen müssen gegeneinander abgewogen werden und dürfen die Ökosysteme nicht überlasten.



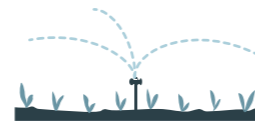
Trinkwasserversorgung

Vier Fünftel des Schweizer Trinkwassers stammen aus dem Grundwasser. Daher sind Einträge von Schadstoffen aus Landwirtschaft und aus Siedlungen ins Grundwasser besonders in den intensiv genutzten und dicht besiedelten Gebieten ein grosses Problem für die Trinkwasserversorgung.

Durch den Klimawandel kommt es vor allem im Sommer und Herbst zu längeren Trockenzeiten. Die Trinkwasserversorger müssen sich daher in dieser Jahreszeit auf ein reduziertes Dargebot an einzelnen Pumpbrunnen oder Quelfassungen einstellen – auch weil dann zum Teil die Schadstoffkonzentrationen im Wasser infolge geringerer Verdünnung ansteigen.

Eine wichtige Anpassungsmassnahme ist, dass jede Wasserversorgung ihr Wasser aus mindestens zwei unabhängigen Herkunftsräumen bezieht – zum Beispiel aus einem See und einem Grundwasservorkommen – und sich mit Nachbarversorgungen vernetzt. Dank solcher Vorkehrungen wird die Schweiz auch zukünftig an keinem Trinkwassermangel leiden.

Sonstige Wassernutzungen dürfen die Trinkwasserressourcen weder beeinträchtigen noch konkurrieren. Dazu gehören etwa Wasserentnahmen zum Kühlen oder Heizen von Gebäuden, für industrielle Prozesse oder für die Bewässerung. Auch muss das Grundwasser vor möglichen Verschmutzungen besonders durch die Landwirtschaft noch besser geschützt werden.



Bewässerung

Normalerweise reichte bisher der Niederschlag in der Schweiz aus, um den Wasserbedarf der meisten landwirtschaftlichen Kulturen zu decken. Die Sommerniederschläge werden jedoch mit dem Klimawandel abnehmen. Bei steigenden Temperaturen verdunstet zudem mehr Feuchtigkeit aus den Böden, und die Pflanzen haben einen höheren Wasserbedarf.

Kulturen, die bereits heute bewässert werden, benötigen bis Ende des Jahrhunderts rund das Doppelte an Wasser, falls wirksame Klimaschutzmassnahmen ausbleiben. Bei hohen Temperaturen und Trockenheit steht aber in vielen Flüssen und in kleineren Grundwasservorkommen schon heute kaum noch Wasser für die Bewässerung zur Verfügung.

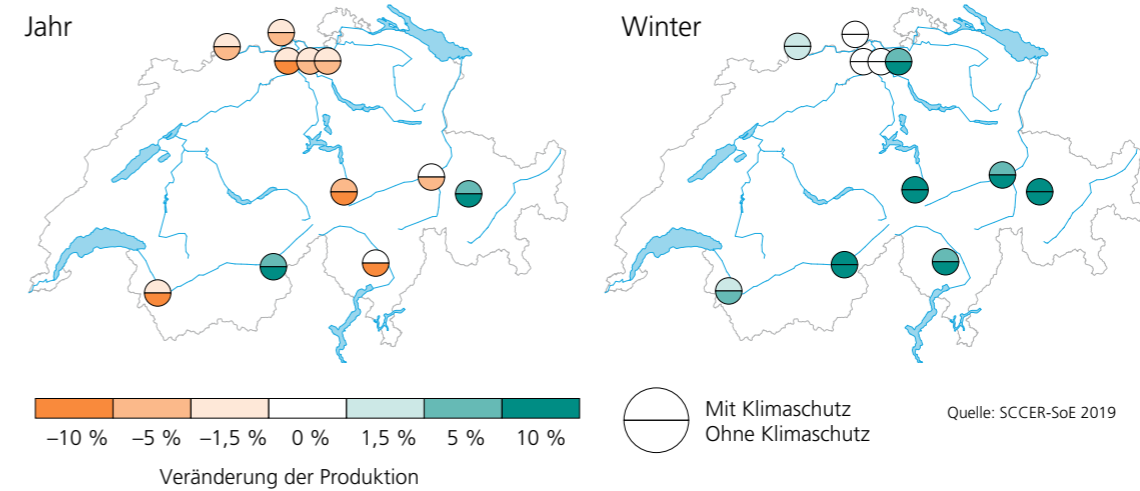
Die Betriebe müssen sich mittelfristig auf die sich ändernden Bedingungen einstellen, denn das oberste Ziel ist eine standortangepasste Landwirtschaft. Dabei muss die Landwirtschaft auch weitere klimabedingte Risiken wie Hitzestress, erhöhten Schädlingsdruck, Starkniederschläge oder Hagel berücksichtigen. Es gilt, die landwirtschaftlichen Anbaumethoden, Produkte und Standorte insgesamt zu überdenken. Der Anbau von trockenheitsresistenten Arten oder Sorten ist unumgänglich.

Derzeit werden in zahlreichen Gebieten mit landwirtschaftlicher Produktion neue Bewässerungsinfrastrukturen geplant und gebaut. Ein Ausbau von wenig wassersparenden Bewässerungssystemen und eine Intensivierung der Landwirtschaft (etwa hin zu mehr Gemüseanbau) ist mit dem knapper werdenden Wasserangebot in Zukunft jedoch nicht zu vereinbaren. Um eine Übernutzung der Wasservorkommen auszuschliessen, ist zudem eine regionale Ressourcenplanung nötig. Zur Vermeidung wirtschaftlicher Fehlentscheidungen wäre überdies eine transparente Darlegung der Wasserkosten zweckmässig.

Der Klimawandel erfordert eine Überprüfung sämtlicher Wassernutzungen und eine regionale Wasserressourcenplanung.

Produktion der Wasserkraftwerke

Die Abbildung zeigt beispielhaft an elf Laufkraftwerken der Schweiz, wie sich die Stromproduktion bis Ende des Jahrhunderts mit heutigen Anlagekonfigurationen und Restwassermengen verändern wird. Es zeichnet sich ab, dass die Anlagen im Winter mehr Elektrizität erzeugen, dagegen weniger im Sommer und über das gesamte Jahr gesehen.



Wasserkraft

Das nutzbare Wasserkraftpotenzial ist in der Schweiz zu einem grossen Teil ausgenutzt. Wasserkraft erzeugt 60 Prozent des Schweizer Stroms und ist als erneuerbare Ressource für die Energiewende von Bedeutung. Sie unterstützt die Dekarbonisierung des Energiesystems der Schweiz. Die Wasserkraftnutzung stellt jedoch auch eine ökologische Beeinträchtigung der Gewässer dar. Der notwendige Erhalt und Ausbau der Wasserkraft hat deshalb so zu erfolgen, dass dadurch möglichst geringe Auswirkungen auf die Gewässerökosysteme entstehen. Dabei sollte sich der Ausbau auf die Optimierung der bestehenden Anlagen konzentrieren und so gestaltet werden, dass die wenigen noch bestehenden intakten Gewässer erhalten bleiben.

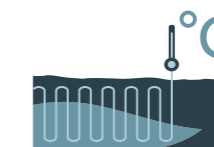
Die Wasserkraftnutzung ist auch selber vom Klimawandel betroffen. Die alpinen Stauseen werden sich zwar weiterhin füllen: Ihr Speichervolumen vermag die saisonalen Veränderungen bei den Zuflüssen grösstenteils abzufedern. Dies bedingt aber eine Anpassung der Speicherbewirtschaftung.

Bei Speicherseen mit stark vergletschertem Einzugsgebiet wird langfristig die verfügbare Wassermenge abnehmen, da die Gletscher verschwinden. Gleichzeitig nimmt die Einschwemmung von Lockermaterial zu. Damit die Ablagerungen nicht das Speichervolumen vermindern, sind Gegenmassnahmen notwendig.

Die Stromproduktion der Laufkraftwerke ist direkt an den Abfluss gekoppelt. Durch den erwarteten Rückgang der Sommerabflüsse können die Kraftwerke

während der warmen Monate weniger Elektrizität erzeugen. Im Winter dagegen, wenn der Energiebedarf hoch ist, führen die Flüsse mehr Wasser, und es kann mehr Strom produziert werden.

Sofern Massnahmen zur Eindämmung des Klimawandels ergriffen werden, wird sich die jährliche Produktion von Elektrizität aus Wasserkraft langfristig kaum verändern und höchstens leicht abnehmen. Ohne Klimaschutz könnten indes die erzeugten Energiemengen bis Ende des Jahrhunderts um bis zu sieben Prozent zurückgehen.



Thermische Nutzung

Gewässer können Energie in Form von Wärme sehr gut aufnehmen und auch wieder abgeben. Für die Kühlung von Grossanlagen spielen Fließgewässer daher seit Jahrzehnten eine bedeutende Rolle. In vielen Regionen wird zudem Grundwasser intensiv zu Kühl- und Heizzwecken genutzt.

Im Sommer erreichen Fließgewässer immer häufiger Temperaturen, die das Leben im Wasser beeinträchtigen. Kühlwassernutzungen an Flüssen, die das Wasser zusätzlich erwärmen, werden daher in Zukunft kaum noch möglich sein. Dank ihres grossen Volumens lassen sich jedoch grössere Seen nutzen. Um negative Auswirkungen auf die Ökosysteme zu vermeiden, müssen die Entnahmen und Rückleitungen so angelegt sein, dass sie die Schichtungsverhältnisse im See nicht verändern.



Tourismus

Für den Wintertourismus wird die Erwärmung zu einer grossen Herausforderung. Um den Schneerückgang zu kompensieren, setzen die meisten Destinationen Beschneigungsanlagen ein. So wurde 2016 die Hälfte der rund 22 500 Hektaren Pistenfläche in der Schweiz künstlich beschneit. Die Beschneigung benötigt jedoch viel Wasser, das im Herbst und Winter in den Höhenlagen meist nicht natürlicherweise vorhanden ist.

Die Bergbahngesellschaften bauen zunehmend Speicherbecken für Schmelz- und Niederschlagswasser, was die Landschaftsqualität beeinträchtigen kann. Vielerorts muss aber auch Wasser aus tieferen Lagen für die Beschneigung hinaufgepumpt werden, was viel Energie kostet. Einige tiefer gelegene Wintersportorte mussten ihren Betrieb bereits einstellen, weil sich eine künstliche Beschneigung nicht lohnt oder es dafür zu warm ist. Weitere Gebiete werden folgen.

Mit dem Abschmelzen der Gletscher verändert sich das Landschaftsbild. Besonders Destinationen, die heute auch wegen ihrer Gletscher oder Gletscherattraktionen besucht werden, verlieren an Anziehungskraft. Wie attraktiv die von den Gletschern hinterlassenen Hochgebirgslandschaften für Feriengäste sind, bleibt abzuwarten.

Für die Tourismusregionen im Berggebiet eröffnet der Klimawandel aber auch Chancen, wenn zukünftig mehr Menschen der Hitze in den Ballungsgebieten entfliehen möchten. Zudem wird die Sommersaison länger, weil der Schnee immer später im Jahr fällt. Insgesamt werden wohl Flüsse und Seen zukünftig zur Naherholung und für den Tourismus noch wichtiger, da sie im Sommer Erfrischung versprechen.



Internationale Zusammenarbeit

Nachbarländer der Schweiz nutzen das Wasser, das über die Landesgrenze abfliesst. Internationale Abkommen, Staatsverträge und Gremien regeln daher seit Jahrzehnten die Zusammenarbeit und setzen Ziele für die grenzüberschreitenden Gewässer.

Die Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz bekommen auch die Unterlieger zu spüren. So werden zum Beispiel im Rhein unterhalb von Basel häufigere Niedrigwasser erwartet, was in Deutschland, Frankreich und den Niederlanden Probleme bei Wasserversorgung, Bewässerung oder auch Einbussen in der Wasserkraftproduktion nach sich zieht.

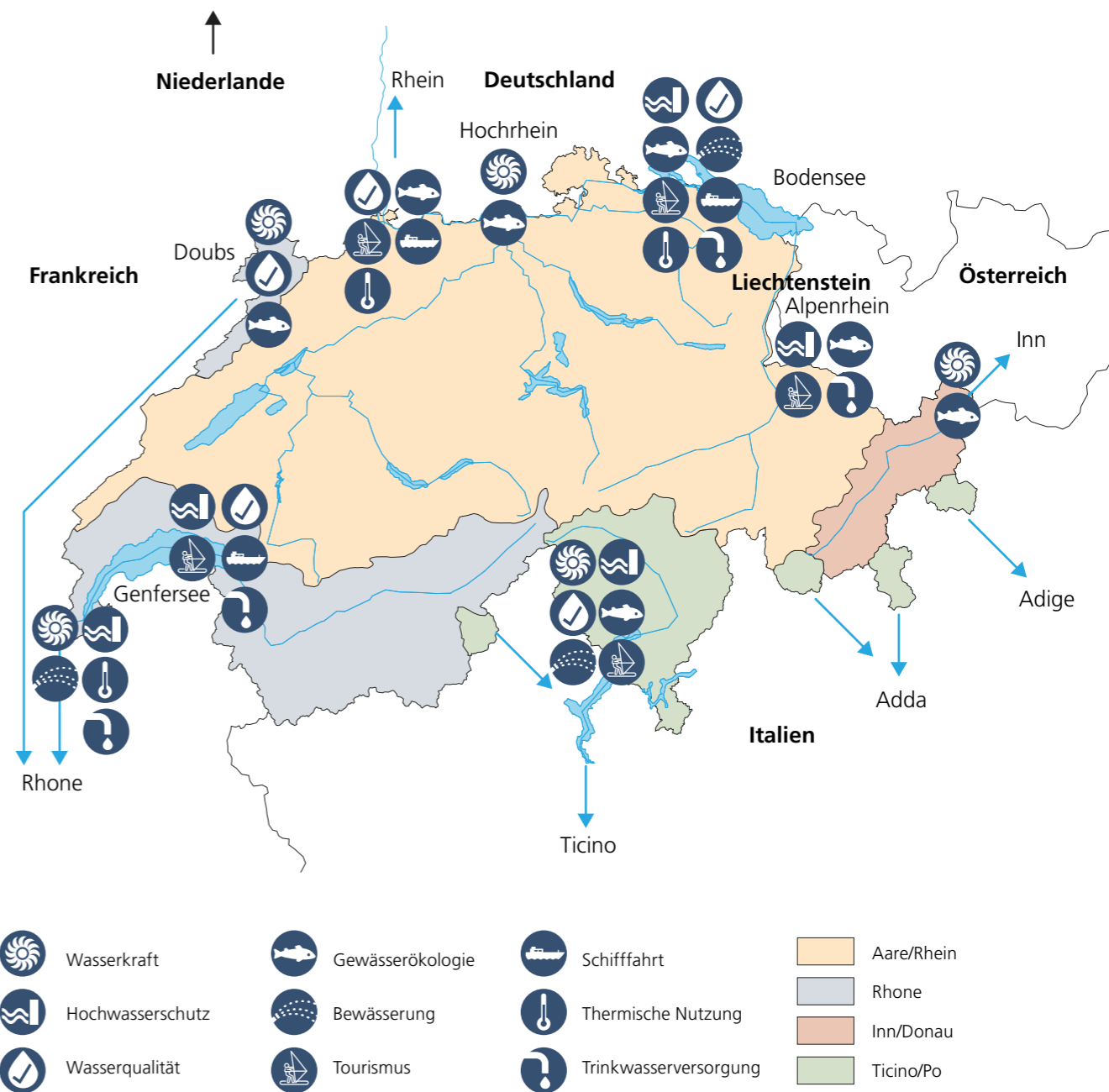
Niedrigwasser im Nieder- und Mittelrhein ist aber auch für die Schweiz bedeutsam, insbesondere für die Wirtschaft. Über 10 Prozent des Schweizer Aussenhandelsvolumens – etwa 7 Millionen Tonnen Güter jährlich – werden auf dem Fluss transportiert. Bei niedrigem Wasserstand können Schiffe weniger stark beladen werden oder gar nicht fahren.

Ein grenzüberschreitender Zielkonflikt zeigt sich am Lago Maggiore. Aus Sicht der Regionen Lombardei und Piemont sollte der See im Sommer als Wasserreserve für die Bewässerung möglichst gut gefüllt sein. Die am Ufer liegenden Städte und Gemeinden dagegen – auf Schweizer wie auf italienischer Seite – möchten den Wasserpegel auf einen tieferen Stand regulieren. So kann der See die Sommerhochwasser aufnehmen, ohne dass er über die Ufer tritt.

Die Anpassung an den Klimawandel erfordert also auch eine nachhaltige und einvernehmliche Bewirtschaftung der Flüsse und Seen über die Landesgrenzen hinaus. Dies betrifft zum einen eine weitere Verbesserung der Wasserqualität – etwa durch moderne Klärtechnologien und Massnahmen in der Landwirtschaft. Ebenso wichtig ist eine grenzüberschreitende wasserwirtschaftliche Abstimmung. Viele Konflikte lassen sich auch hier durch einen effizienten Einsatz von Wasser und eine Konzentration auf die gesellschaftlich wichtigsten Nutzungen vermeiden.

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit

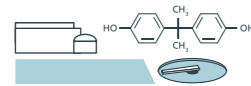
Die Karte stellt die wichtigsten Gewässer und Einzugsgebiete der Schweiz dar. Symbole verdeutlichen, welche Nutzungen und Aspekte der Gewässer im Rahmen einer grenzüberschreitenden Zusammenarbeit geregelt sind.



Schweizer Wasserressourcen werden für die Nachbarländer noch wichtiger. Ihre Bewirtschaftung erfordert eine verstärkte internationale Zusammenarbeit.

GEWÄSSER FÜR DEN WANDEL STÄRKEN

Ökologisch intakte Gewässer können den Klimawandel besser verkraften und die vielfältigen Ansprüche der Gesellschaft erfüllen. Es gilt daher, Wasserressourcen vor übermässigen Entnahmen sowie vor Verunreinigungen durch Schadstoffe und Düngemittel zu schützen. Ausserdem müssen Bäche, Flüsse, Seen und Grundwasservorkommen in einem möglichst naturnahen Zustand gehalten oder in diesen überführt werden.



Vor Verunreinigung schützen

Ein ausgedehntes Kanalisationsnetz sammelt über 97 Prozent des kommunalen Abwassers der Schweiz. Es wird in rund 800 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gereinigt und anschliessend in Flüsse oder Seen eingeleitet. Dieses bewährte System gerät durch den Klimawandel an Grenzen: Wenn bei geringer Wasserführung der Flüsse die Abläufe der ARA weniger stark verdünnt werden, ist die Belastung der Gewässer trotz Reinigung zu gross.

Daher ist es wichtig, dass noch weniger Schadstoffe aus den Siedlungen in die Gewässer gelangen. Um die chemische Belastung von Flüssen mit hohem Abwasseranteil zu reduzieren, sollen bis 2040 rund 140 strategisch ausgewählte ARA mit zusätzlichen Reinigungsstufen ausgestattet werden.

Intensive Regenfälle werden sich in Zukunft häufen. In solchen Situationen fliesst so viel Wasser in die Kanalisation, dass die Kläranlagen es nicht mehr verarbeiten können. Ein Teil des Abwassers gelangt ungereinigt in die Flüsse. Um dies zu vermeiden, soll Regenwasser von versiegelten Flächen in Zukunft möglichst nicht mehr in die Kanalisation eingeleitet, sondern noch konsequenter als bisher innerhalb der Siedlung versickert oder zurückgehalten werden. Solche Massnahmen können auch dabei helfen, die zunehmende Hitzebelastung in den Städten zu mindern.

Eine Herausforderung für die Gewässer ist auch der Schadstoffeintrag aus der Landwirtschaft: Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und Düngern gelangen in Grundwasser, Flüsse und Seen und beeinträchtigen vielerorts die Trinkwasserversorgung und die Gewässerökologie. Die Zunahme der Starkniederschläge erhöht die Abschwemmung von Nähr- und Schadstoffen aus den Feldern in die Gewässer. Die höheren Winterniederschläge transportieren zudem mehr Nitrat aus Düngern ins Grundwasser. Entscheidend ist darum, die Menge an ausgebrachten Schadstoffen zu reduzieren, wie es der Bund mit dem 2017 gestarteten «Aktionsplan Pflanzenschutzmittel» anstrebt.



Übernutzung verhindern

Wasserentnahmen für Siedlungen, Industrie und Gewerbe oder Landwirtschaft gibt es an zahlreichen Stellen im Grundwasser sowie an Flüssen und Seen der Schweiz. Mengenmässig weitaus am bedeutendsten sind die rund 1500 Wasserentnahmen durch Wasserkraftwerke. Das Gewässerschutzgesetz regelt, wie viel Wasser unterhalb der Entnahmestellen in den Gewässern verbleiben muss, und verhindert damit, dass diese teilweise oder ganz trockenfallen.

Feuchtgebiete, aber auch viele Bäche und Flüsse benötigen ausreichend hohe Grundwasserstände, um während Trockenheit nicht auszutrocknen oder zu wenig Wasser zu führen. Deshalb ist eine haushälterische Nutzung bei Entnahmen aus dem Grundwasser notwendig.

Damit sich die Gewässer an den Klimawandel anpassen können, müssen sie in ihren natürlichen Funktionen gestärkt werden.



Naturnahen Zustand anstreben

In der Schweiz schränken Hindernisse in den Gewässern die Mobilität zahlreicher Wasserorganismen erheblich ein. So behindern Wasserkraftanlagen und Schwellen das Wandern von Fischen und anderen Tieren wie Krebsen oder unterbinden es ganz.

Im 20. Jahrhundert wurden viele Gewässer zum Schutz vor Hochwassern begradigt und verbaut. Zusätzlich wurden die meisten Feuchtgebiete der Schweiz entwässert, um Land zu gewinnen. Rund 16 000 Kilometer – etwa ein Viertel aller Gewässerstrecken in der Schweiz – sind heute in ihrer Struktur beeinträchtigt oder gar in unterirdische Rohre verlegt.

Mit dem 2011 revidierten Gewässerschutzgesetz hat die Schweiz zwei Generationenprojekte zur Sanierung der Gewässer auf den Weg gebracht:

Bis 2030 soll die Fischwanderung an rund 1000 Wehren verbessert werden, übermässige Abflussschwankungen werden an etwa 100 Wasserkraftwerken beseitigt und 500 Anlagen mit Geschiebedefiziten saniert. Zusätzlich haben überall im Land Arbeiten begonnen, um den Gewässern bis zum Jahr 2090 auf rund 4000 Kilometer Länge mehr Raum und Natürlichkeit zurückzugeben und für eine bessere Beschattung zu sorgen.

Die ökologischen Sanierungen und Renaturierungen machen das Leben im Wasser gegenüber dem Klimawandel widerstandsfähiger. Nicht zuletzt tragen sie zur besseren Vernetzung der Natur und zu einem schönen Landschaftsbild bei. Ebenso wichtig sind jedoch Klimaschutzmassnahmen, um den Anstieg der Wassertemperaturen und die Veränderungen im Abfluss möglichst klein zu halten.

Massnahmen zur Stärkung der Gewässer

Naturnahe Gewässer können mit den Herausforderungen des Klimawandels besser umgehen als vom Menschen stark veränderte Gewässer. Die Umsetzung von Gewässerschutzmassnahmen wird deshalb noch wichtiger. Für naturnahe Gewässer braucht es eine Reihe von Massnahmen, wie zum Beispiel:



EIN BLICK HINTER DIE SZENARIEN

Die hydrologischen Szenarien Hydro-CH2018 beruhen auf Modellrechnungen der führenden Forschungsinstitutionen der Schweiz und berücksichtigen die neuesten Klimaszenarien.

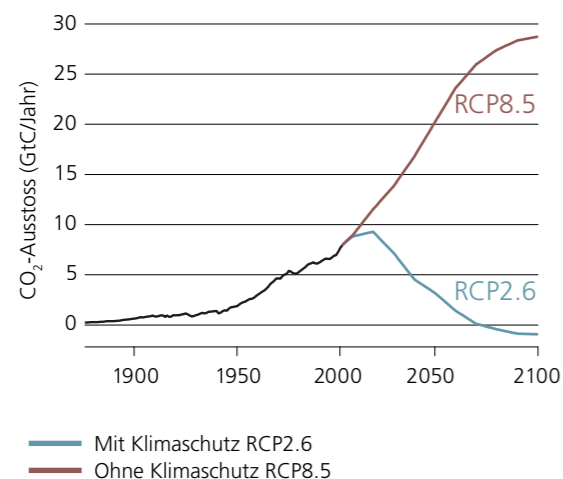
Damit sich die Schweiz auf den Klimawandel einstellen kann, sind detaillierte Kenntnisse notwendig, wie dieser sich auf Gewässer und Wasserhaushalt auswirkt. Der Bundesrat hat daher das Bundesamt für Umwelt beauftragt, hydrologische Grundlagen für Anpassungsmassnahmen bereitzustellen.

Der Auftrag des Bundesrates wurde im Rahmen des Themenschwerpunktes «Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel Hydro-CH2018» des National Centre for Climate Services (NCCS) umgesetzt. Das NCCS ist das Netzwerk des Bundes für Klimadienleistungen. Hydro-CH2018 umfasst elf Forschungsprojekte sowie Literaturstudien. Beteiligt waren führende Institutionen der Schweiz, die auf Wasserforschung spezialisiert sind (siehe Seite 27).

Im Vergleich zu früheren Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie, konnte Hydro-CH2018 auf verbesserte Datengrundlagen und Methoden zurückgreifen. Das Projekt basiert auf den hochaufgelösten Klimaszenarien CH2018, die erstmals durchgehende tägliche Daten auf der lokalen Skala für die Jahre 1981 bis 2099 bereitstellen.

Emissionspfade

Die Kurven zeigen den erwarteten Verlauf der weltweiten CO₂-Emissionen gemäss den beiden exemplarischen Szenarien «Kein Klimaschutz» (RCP8.5) und «Konsequenter Klimaschutz» (RCP2.6).



Quelle: Angepasst von IPCC 2013/WGI/Box 1.1/Figure 3b

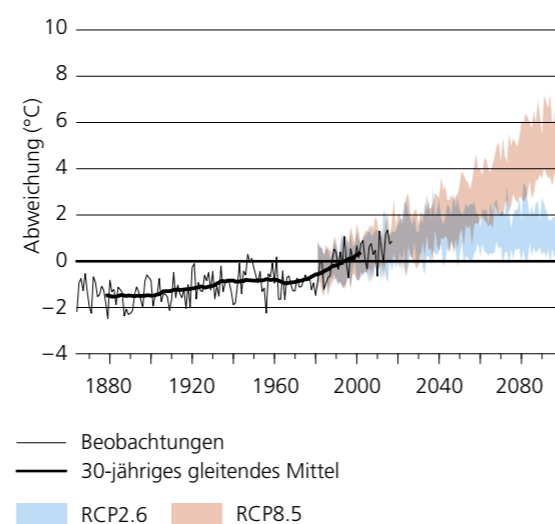
Hydrologische Szenarien

Die hydrologischen Szenarien sind Teil einer sogenannten Modellkette: Am Anfang stehen verschiedene Emissionsszenarien, die mögliche Verläufe des Treibhausgasausstosses in der Zukunft beschreiben. Am Ende befinden sich Modelle, welche die Auswirkungen auf Wasserwirtschaft oder Landwirtschaft berechnen.

Die Klimaszenarien CH2018 entstanden durch Kombination der Emissionsszenarien mit globalen und regionalen Klimamodellen. Die hydrologischen Modelle wiederum verwenden Resultate der Klimaszenarien für die Berechnung der hydrologischen Szenarien. Diese zeigen, wie sich Wasserhaushalt und Gewässer der Schweiz verändern. Hydro-CH2018 berücksichtigt sämtliche wichtigen hydrologischen Komponenten wie Abfluss und Grundwasserneubildung, Gletscher- und Schneeschmelze, Verdunstung und Gewässertemperaturen.

Erwärmung der Atmosphäre

Die Abbildung zeigt den bisherigen Verlauf (ausgezogene Kurve) sowie die modellierten zukünftigen Werte (farbige Flächen) der bodennahen Lufttemperatur in der Schweiz. Dargestellt sind die erwarteten Abweichungen der Jahresmitteltemperatur von der Referenzperiode 1981–2010.



Quelle: Klimaszenarien CH2018 (NCCS, 2018)

Massnahmen zum Klimaschutz

Um die Wirksamkeit von internationalen Klimaschutzmassnahmen zu verdeutlichen und die Bandbreite der möglichen zukünftigen Veränderungen aufzuzeigen, betrachtet Hydro-CH2018 die Folgen von zwei exemplarischen Emissionspfaden: «Mit Klimaschutz» (RCP2.6) sowie «Ohne Klimaschutz» (RCP8.5). RCP ist eine international gebräuchliche Abkürzung zur Kennzeichnung der global definierten Emissionspfade (Representative Concentration Pathways).

«Mit Klimaschutz» (RCP2.6) steht für eine Zukunft, in der die Staatengemeinschaft im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris griffige Klimaschutzmassnahmen umsetzt. Mit einer drastischen Senkung der Emissionen wird der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre innerhalb von etwa zwanzig Jahren gestoppt. «Ohne Klimaschutz» (RCP8.5) steht für eine Zukunft ohne wirksame Klimaschutzmassnahmen, in der die globalen Treibhausgasemissionen weiterhin stark ansteigen.

Unsicherheiten

Moderne Computermodelle und Grossrechner ermöglichen es, ein mathematisches Abbild der in der Natur ablaufenden Prozesse zu erstellen und deren zukünftige Entwicklung zu simulieren. Ein solches Verfahren liegt auch CH2018 und Hydro-CH2018 zugrunde.

Für jeden Berechnungsschritt müssen Annahmen getroffen werden. Zum Beispiel, wie und in welchem Genauigkeitsgrad die Prozesse abgebildet und berechnet werden. Diese Annahmen, die wesentlich von der Datenverfügbarkeit abhängen, sind mit Unsicherheiten behaftet, die sich im Laufe der Modellkette fortpflanzen.

Um Unsicherheiten bei der Modellierung zu erfassen, werden die Modelle von verschiedenen Universitäten und Forschungsanstalten verglichen. So lassen sich Unterschiede zwischen den Modellen und den verwendeten Annahmen erkennen. Dies erlaubt es, die Resultate zu überprüfen, zu plausibilisieren und ihre Genauigkeit abzuschätzen.

Begriffe und Definitionen

Der Untersuchungsraum für Hydro-CH2018 umfasst die ganze Schweiz, das Fürstentum Liechtenstein und weitere benachbarte Gebiete, die ins Schweizer Staatsgebiet entwässern – in der Gesamtheit von Fachleuten auch als «hydrologische Schweiz» bezeichnet.

Wenn der Text den heutigen Zustand («heute») erwähnt, ist der mittlere hydrologische Zustand während der Referenzperiode von 1981 bis 2010 gemeint. Diese drei Jahrzehnte waren Ausgangspunkt für die Berechnung der Szenarien. Alle Angaben zu zukünftigen Veränderungen beziehen sich auf diese Periode.

Die Szenarien beschreiben erwartete Mittelwerte und die Spannbreite der möglichen Veränderungen des hydrologischen Geschehens über Perioden von 30 Jahren. Die Angaben «Ende dieses Jahrhunderts» oder «2085» beschreiben den Zeitraum von 2070 bis 2099, «Mitte Jahrhundert» oder «2060» den Zeitraum von 2045 bis 2074.

Wie sich die hydrologischen Verhältnisse zukünftig in einzelnen Jahren darstellen, lässt sich aus den Mittelwerten für die 30-Jahresperioden nicht ablesen. Jahreswerte können durch die natürliche Variabilität stark von den mittleren Verhältnissen abweichen.

Über die Art und die Richtung der klimatischen und hydrologischen Veränderungen besteht kein Zweifel. Das genaue Ausmass ist hingegen mit Unsicherheiten behaftet.

WEITERE INFORMATIONEN ZU HYDRO-CH2018



NCCS-Webplattform

Allgemeine Informationen zum Klimawandel, Klimaszenarien und Anpassung. Zentraler Zugang zu den Daten via Webatlas und zu allen Produkten und Publikationen aus Hydro-CH2018.
www.nccs.admin.ch



Wissenschaftlicher Synthesebericht

Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101: 135 S.
www.nccs.admin.ch/hydro



Hydrologischer Atlas der Schweiz

Zugang zu Daten, Grafiken und Indikatoren aus Hydro-CH2018. Daten auch verfügbar auf dem Kartenportal des Bundes.
www.hydromapscc.ch
www.map.geo.admin.ch



NCCS-BROSCHÜREN




NCCS (Hrsg.) 2018:
CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz.
 National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S.
 ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2.



NCCS (Hrsg.) 2021:
Schweizer Gewässer im Klimawandel.
 National Centre for Climate Services, Zürich. 28 S.
 ISBN-Nummer 978-3-9525413-3-3.

AN HYDRO-CH2018 BETEILIGTE FORSCHUNGSINSTITUTIONEN

Agroscope
 Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau
 Eawag – das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
 Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)
 Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL)
 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
 Hochschule für Technik Rapperswil (HSR)
 Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung (SISKA)
 Universität Basel
 Universität Bern
 Universität Freiburg
 Universität Genf
 Universität Lausanne
 Universität Neuenburg
 Universität Zürich



Die Schweiz erfreut sich eines grossen Wasserreichtums. Doch die Gewässer sind seit über hundert Jahren beeinträchtigt – durch Wasserentnahmen, chemische Belastungen und Verbauungen. Seit einiger Zeit macht sich ein weiteres Problem immer stärker bemerkbar: der Klimawandel. Diese Broschüre zeigt auf, wie der Wasserhaushalt der Schweiz funktioniert und mit welchen Veränderungen gerechnet werden muss.