

Folgen des Klimawandels

Mit dem Klimawandel wird der Niederschlag in der Schweiz im Laufe des Jahrhunderts im Sommer um rund einen Fünftel zurückgehen, während des übrigen Jahres jedoch zunehmen. Die Schneefallgrenze steigt bis ins Jahr 2100 weiter an. Damit wird ein immer grösserer Anteil des Niederschlags ohne Zwischenspeicherung abfliessen und der Anteil der Schneeschmelze am Abfluss von aktuell 40 Prozent bis Ende dieses Jahrhunderts auf 25 Prozent sinken. Der Jahresabfluss der sommerlichen Gletscherschmelze macht heute nur 2 Prozent des Abflusses aus. Bei den volumenmässig grösseren Gletschern werden bis 2040 zusätzliche Abflüsse erwartet, danach werden sie abnehmen. Die Abflüsse der kleineren Gletscher gehen bereits zurück. Bis 2100 wird voraussichtlich noch 30 Prozent des heutigen Eisvolumens in den Schweizer Alpen übrig bleiben.

Die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse wird sich beinahe in der ganzen Schweiz verändern (Abb. 7). Im Laufe dieses Jahrhunderts werden insbesondere glaziale aber auch nivale Abflussregimes zurückgehen. Ihre Niedrigwasser werden sich vom Winter in den Spätsommer verschieben und weniger ausgeprägt sein. In pluvialen Abflussregimes im Mittelland und im Jura werden Niedrigwasser im Sommer häufiger und ausgeprägter auftreten. Insgesamt werden die Ökosysteme der Fliessgewässer im Sommer durch die erhöhte Luft- und Wassertemperatur sowie durch die tieferen und länger andauernden Niedrigwasser doppelt betroffen sein.

Die veränderten Abflussregimes und die höheren Wassertemperaturen werden Anpassungen bei der Wassernutzung und den rechtlichen Regelungen erfordern. Die Beurteilung des klimabedingten Handlungsbedarfs für die Wasserwirtschaft zeigt indirekt den erwarteten Einfluss der geringeren Abflüsse, der zunehmenden Trockenheit, von Niedrigwasser und Wassertemperaturen im Sommer, aber auch der häufigeren Hochwasser auf verschiedene Bereiche auf (Abb. 8).

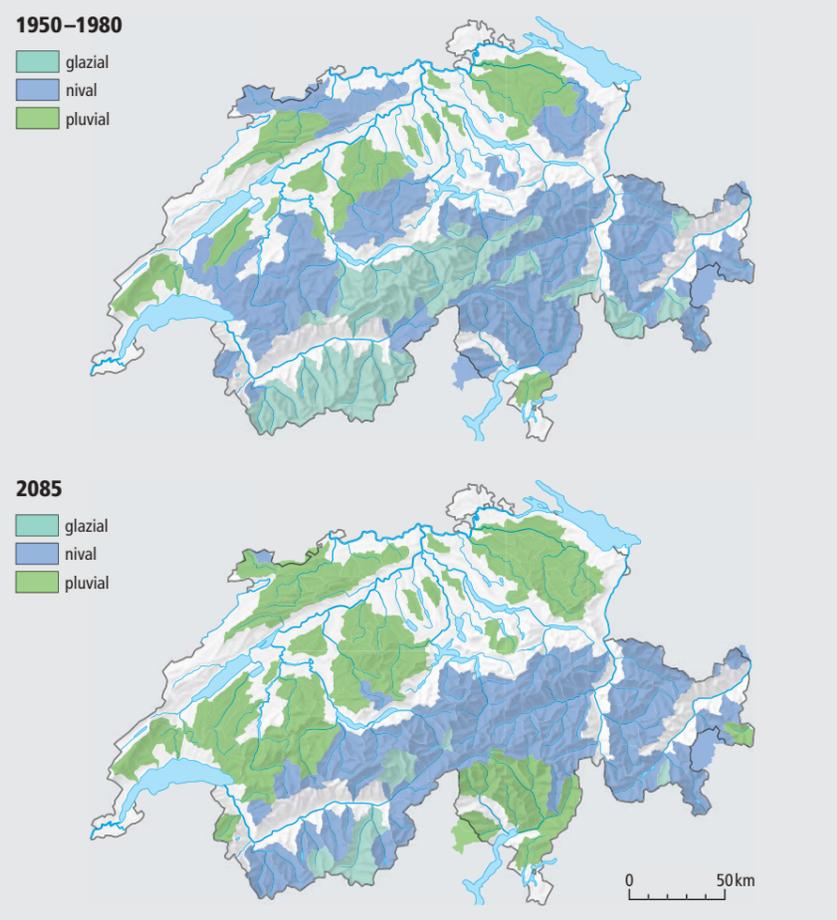
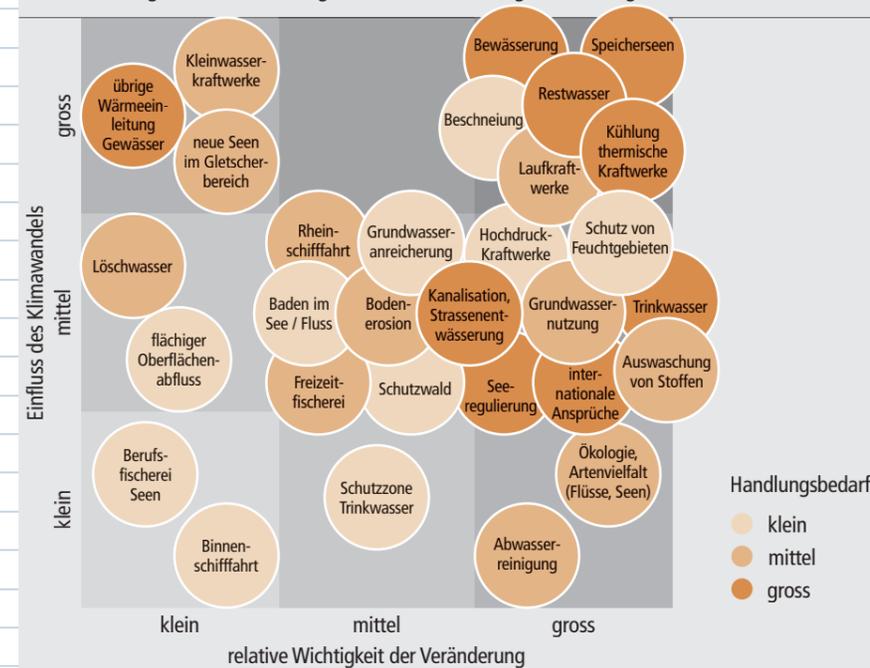


Abb. 7: Abflussregimes zwischen 1950 und 1980 und um das Jahr 2085 (BAFU, 2012)

Sektor Wasserwirtschaft Beurteilung der relevanten Bereiche bezüglich Einfluss des Klimawandels, relativer Wichtigkeit der Veränderungen und des klimabedingten Handlungsbedarfs



Zu Handlungsfeldern für die Anpassung werden nur solche Bereiche, die in allen drei Dimensionen (Einfluss des Klimawandels, relative Wichtigkeit der Veränderung und Handlungsbedarf) als mittel oder gross eingestuft sind.
 Quelle: BAFU

Abb. 8: Klimabedingter Handlungsbedarf für die Wasserwirtschaft

Niedrigwasser

Obschon die Schweiz mit ihrer gebirgigen Landschaft und den vielen Seen, Flüssen und Gletschern als das Wasserschloss Europas gilt, sind in der Vergangenheit verschiedene Trockenphasen mit Niedrigwasser aufgetreten. Insbesondere die Niedrigwasser von 2003, 2009 und 2011 haben die Auswirkungen von Trockenheit und Hitzewellen auf die Gewässer und deren Bewirtschaftung drastisch aufgezeigt.

Mit **Niedrigwasser** wird ein Wasserstand oder Abfluss bezeichnet, der deutlich unter dem langjährigen Mittelwert liegt. Der Schwellenwert für den Niedrigwasserstand wird abhängig von der Art der Gewässernutzung festgelegt: Eine bestimmte Niedrigwasserabflussmenge bzw. der damit verbundene Wasserstand kann beispielsweise für die Schifffahrt schon Probleme bereiten, während sie für die Einleitung von geklärtem Abwasser noch unbedenklich ist.

In der Schweiz treten Niedrigwasser einerseits im Winter auf, wenn der Niederschlag als Schnee zwischengespeichert wird und deshalb nicht direkt zum Abfluss gelangt, andererseits bei Trockenheit, wenn der Niederschlag ganz ausbleibt. Durch die erhöhte Verdunstung wird die Trockenheit im Sommer noch verstärkt. Dann reicht das verfügbare Wasser nicht aus, um den Bedarf von Pflanzen, Tieren und Menschen zu decken. Verschärft sich dieses Wasserdefizit durch das Ausbleiben von Niederschlag über längere Zeit, spricht man von **Dürre**.



Abb. 1: Niedrigwasser in der Seebucht von Arbon am Bodensee im August 2003
 (© Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Foto: Anita Enz)



Abb. 2: Wie Trockenheit, Hitze und Niederschlagsmengen den Gewässerabfluss der Matternvispa, der Muota und der Wigger beeinflussen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes (z.B. Höhenlage, Klima, Vergletscherung) ab. (Satellitenbild © swisstopo)

Dringende Information: Trinkwasserknappheit

Aufgrund der minimalen Niederschläge und der grossen Hitze ist die Schüttungsmenge der Quellen bereits relativ gering. (...) Die Bevölkerung wird gebeten, sehr sparsam mit dem Trinkwasser umzugehen. Wir machen darauf aufmerksam, dass es gemäss Art. 3 unseres Trinkwasserreglements untersagt ist, dauernd Wasser fliessen zu lassen. Das Bewässern von Wiesen mit Wasser aus der Trinkwasserversorgung ist verboten. Diesbezüglich verweisen wir auf Art. 15, wonach der Gemeinderat gegen Reglementsverstösse Bussen bis zu Fr. 15'000.– aussprechen kann. (...)

Die Gemeindeverwaltung, Guttet-Feschel, 22. Juli 2010
 (nach www.guttet-feschel.ch, 16. Januar 2013)

Meteorologische Ursachen

Drei Faktoren machen die Alpen zum Wasserschloss Europas: die überdurchschnittlich hohen Niederschläge, eine geringe Verdunstung sowie die Speicherung von Wasser in Form von Schnee und Eis. Nicht weit von drei Meeren (Atlantik, Mittelmeer und Nordsee) und in der Westwindzone gelegen, werden reichlich feuchte Luftmassen gegen den Alpenrand geführt, wo sie sich stauen, mit zunehmender Höhe abkühlen, kondensieren und überdurchschnittlich hohen Jahresniederschlag erzeugen. Dieser wird je nach Höhenlage und Jahreszeit in Form von Schnee und Eis zwischengespeichert. Die Verdunstung nimmt mit der Höhe ab, weil die Temperaturen tiefer sind, Schneeflächen durchschnittlich 70 Prozent der Sonneneinstrahlung reflektieren und weil durch die spärliche Vegetation, die flachgründigen Böden und das hohe Gefälle weniger Wasser gespeichert wird. Insgesamt erzeugt der Alpenraum durch die hohen Niederschlagsmengen in Kombination mit der tiefen Verdunstung deutlich mehr Abfluss als die umliegenden Gebiete.

Doch auch in der Schweiz kann Niederschlag über lange Zeit ausbleiben, so dass es zu Trockenheit oder Dürre mit entsprechenden Niedrigwasserabflüssen kommt. Dies ist insbesondere der Fall, wenn auf einen niederschlagsarmen Winter ein trockener Frühling und ein heisser Sommer folgen. Geringe Bodenfeuchte und tiefe Grundwasserstände können die Verdunstung und damit auch den kühlenden und niederschlagsbildenden Effekt vermindern.

Niederschlagsarme Perioden treten in der ganzen Schweiz vorwiegend im Winter auf, wenn die Landmasse sich abkühlt und sich in der Folge ein Kältehoch mit absinkenden trockenen Luftmassen bildet. Auf der Alpennordseite können trockene Phasen ebenfalls bei Nordost- oder Südostlage auftreten. Die Nordostlage bringt kalte und trockene Kontinentalluft in die Schweiz; bei Südostlage sinken nach dem Überqueren der Alpen Luftmassen

auf der Alpennordseite ab und trocknen dabei aus (Föhn). Auf der Alpensüdseite führt der Föhn bei Nordost- und Nordwestlage zu trockenen Perioden. In allen Jahreszeiten und in der gesamten Schweiz führt die Omega-Lage (Abb. 3) mit einem ausgeprägten und stabilen Hoch über Europa zu Trockenperioden, wie im Sommer 2003. Die atlantischen Tiefdruckgebiete werden bei dieser Wetterlage in weitem Bogen um Mitteleuropa herumgeführt.

Hydrologische Ursachen

Wie Trockenheit, Hitze und Niederschlagsmenge den Gewässerabfluss beeinflussen, hängt von den Eigenschaften des Einzugsgebietes ab: Höhenlage, Klima, Vergletscherung, Topografie, Geologie und Boden. Diese Faktoren bestimmen auch das charakteristische saisonale Abflussverhalten eines Fließgewässers, das sogenannte **Abflussregime** (Abb. 4). Bei alpinen Einzugsgebieten ist das Abflussregime von der Schneeschmelze (**nivales Regime**) oder von der Gletscherschmelze (**glaziales Regime**) geprägt. In diesen Gewässern treten Niedrigwasser vorwiegend in den kälteren Monaten Januar bis März auf, da in dieser Jahreszeit der Niederschlag in Form von Schnee oder Eis gespeichert wird und somit auch die Grundwasserspeicher nicht gespeist werden. Hingegen führen diese Gewässer wegen des hohen Schmelzwasseranteils im Sommer grosse Abflussmengen und wirken so Niedrigwasser bei sommerlicher Trockenheit entgegen.

In Gewässern aus tiefer liegenden Einzugsgebieten in Mittelland und Jura sind die Abflussmengen überwiegend durch den zeitlichen Verlauf der Niederschläge geprägt (**pluviales Regime**). Obwohl hier die Niederschlagsmengen über das ganze Jahr ausgeglichen sind, treten Niedrigwasser vorwiegend in Sommer und Herbst auf. Gründe dafür sind die erhöhte Verdunstung und der gesteigerte Wasserbedarf der Vegetation in diesen Jahreszeiten sowie die abnehmende Wassermenge im Untergrund. Bei ausbleibendem Niederschlag und Hitzewellen können in diesen

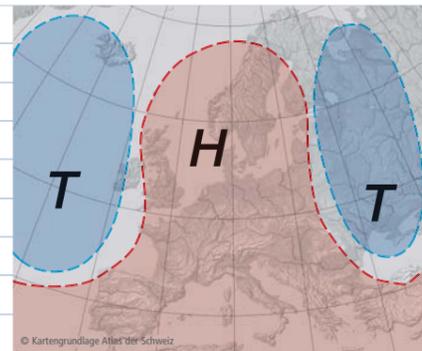


Abb. 3: Omega-Lage mit blockierendem Hochdruckgebiet über Europa (Blanc P., Schädler B., 2013)

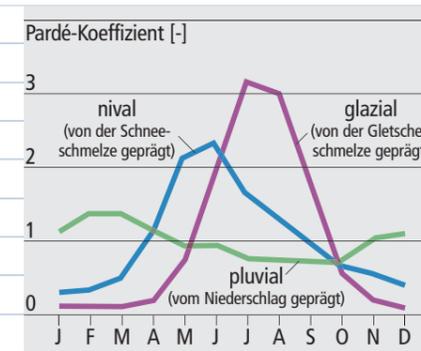


Abb. 4: Hauptregimtypen des Abflusses



Abb. 5: Beeinflussung einiger Fließgewässer durch Kraftwerke (nach Spreafico M., Weingartner R., 2005)

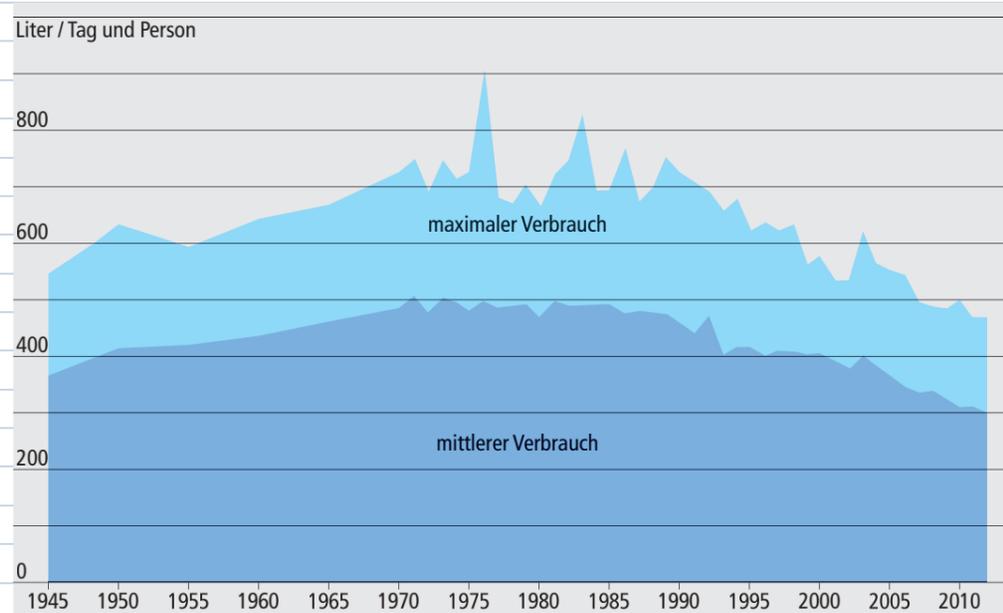


Abb. 6: Entwicklung des mittleren und des maximalen Trinkwasserverbrauchs pro Einwohner und Tag (inkl. Gewerbe, Industrie, öffentliche Zwecke und Verluste) von 1945 bis 2011 (Daten SVG, www.trinkwasser.ch)

Gewässern daher extremere Niedrigwassersituationen auftreten als in Gewässern mit alpinem Einzugsgebiet.

Niedrigwasser treten in der Schweiz aufgrund der unterschiedlichen Auslösung in den verschiedenen Abflussregimes nicht flächendeckend auf. Meistens sind nur einzelne Regionen betroffen.

Anthropogene Ursachen

Der Niedrigwasserstand von Gewässern wird zusätzlich stark von menschlichen Aktivitäten beeinflusst. So weisen heute nur noch wenige Fließgewässer in der Schweiz natürliche Abflussverhältnisse auf; die meisten sind mehr oder weniger stark durch Stauseen, Kraftwerke, Seeregulierungen, Einleitungen von Abwasserreinigungsanlagen sowie Entnahmen für Trinkwassernutzung und Bewässerung beeinflusst (Abb. 5).

Der Trinkwasserverbrauch pro Kopf ist aus verschiedenen Gründen rückläufig. Die Bevölkerung ist sensibilisierter und Haushaltsgeräte (z.B. Geschirrspüler) sind effizienter geworden (Abb. 6). Ein wesentlicher Teil der Einsparungen ist aber durch die Verlagerung der wasserintensiven Industrie ins Ausland erreicht worden (z.B. Textilindustrie). In Trockenzeiten ist zudem das Einsparungspotential von Haushalten und Industrie nur begrenzt sinnvoll, da das Abwasser in der Schweiz zur Spülung der Fäkalien dient.

Auswirkungen und Massnahmen

In Trockenzeiten führt der **Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft** zu Interessenkonflikten mit anderen Nutzern und mit dem Gewässerschutz. Die für solche Fälle vorgesehenen Massnahmen, die von Kanton zu Kanton unterschiedlich sind, reichen von Verboten für die Wasserentnahme bis hin zur zeitlichen Einschränkung der Bewässerung.

Da in der Schweiz die **Wasserkraftwerke** an Standorten mit unterschiedlichen Abflussre-

gimes liegen, ist das Risiko für die Energieproduktion diversifiziert. Beispielsweise können in heissen, trockenen Sommern die Produktionseinbußen von Wasserkraftwerken im Mittelland dank alpiner Kraftwerke mit erhöhten Zuflüssen aus der Gletscherschmelze wettgemacht werden. Niedrigwasser mit hohen Wassertemperaturen führt auch zu tieferer Stromproduktion von AKWs. Einerseits steht ihnen weniger Wasser für die Kühlung zur Verfügung, andererseits dürfen sie weniger erwärmtes Kühlwasser in die Flüsse zurückleiten (Gewässerschutzverordnung des Bundes).

Während bei Niedrigwasser die regulierten grossen **Seen** das Niveau je nach Situation halten können, sind bei den nichtregulierten Seen (z.B. Bodensee und Walensee) tiefe Seespiegel kaum zu verhindern. So muss die Rheinschifffahrt zwischen Basel und Rotterdam häufig stark eingeschränkt werden, während die Schifffahrtsunternehmen auf den regulierten Seen vom idealen Ausflugswetter profitieren können.

Die **Grundwasserstände** und **Quellschüttungen** (Abfluss einer Quelle) reagieren bei Trockenheit sehr träge mit einer Absenkung oder einem Rückgang – in Abhängigkeit der geologischen Bedingungen. Sie erholen sich auch nur langsam. Nach dem Hitzesommer 2003 normalisierten sich einige Grundwasserstände erst wieder nach drei Jahren. Gemeinden können mit Wasserverbundsystemen und verschiedenen Wasserbezugsmöglichkeiten die Wasserversorgung bei langandauernder Trockenheit gewährleisten.

Fischbestände sind bei tiefem Wasserstand einerseits in isolierten sauerstoffarmen Tümpeln bedroht. Andererseits sind die hohen Wassertemperaturen insbesondere für kälteliebende Fischarten wie Forellen und Äschen lebensbedrohlich. Niedrigwasser bei tiefer Temperatur ist für die Fische weniger bedrohlich, da im kalten Wasser mehr Sauerstoff gebunden ist und die wechselwarmen Tiere weniger Energie benötigen.



Arbeitsblatt: Niedrigwasser

Auch in der Schweiz, dem Wasserschloss Europas, kommen Trockenheit und Niedrigwasser vor. Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften der Einzugsgebiete treten solche Ereignisse jedoch nicht flächendeckend auf.

Fokus

Welche Schweizer Gewässer sind vorwiegend und zu welchen Jahreszeiten von Niedrigwasser bedroht?

Beziehen Sie bei Ihrer Beurteilung die drei Gewässer Matternvispa bei Zermatt, Muota bei Muotathal und Wigger bei Zofingen (Abb. 2) mit ein und begründen Sie Ihre Hypothesen.

	Hypothesen	Wissenschaftliche Kenntnisse
Matternvispa	Jahreszeit:	
	Begründung:	
Muota	Jahreszeit:	
	Begründung:	
Wigger	Jahreszeit:	
	Begründung:	

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu Niedrigwassersituationen in den drei Einzugsgebieten mit dem Grundlagen- und Forschungswissen. Stellen Sie in der Tabelle die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

Transfer

Der Klimawandel wird sich auf den Abfluss der Fließgewässer in der Schweiz unterschiedlich auswirken.

Wie wird sich die Niedrigwasserproblematik in Ihrem Lebensraum in Zukunft verändern?

Beurteilen Sie für ein Fließgewässer in Ihrem Lebensraum die aktuelle Gefahr von Niedrigwasser sowie die möglichen Auswirkungen des Klimawandels für die Zeit um 2085 (Abb. 7).

Klären Sie die Wasserversorgung in Ihrer Gemeinde bezüglich Versorgungssicherheit während Hitze- und Trockenereignissen ab und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit der Abbildung 8 zum klimabedingten Handlungsbedarf für die Wasserwirtschaft.

Literatur

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Factsheet Wasser in der Schweiz. Akademien der Wissenschaften Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Umwelt-Wissen Nr. 1217. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004: Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004: Restwassermengen – Was nützen sie dem Fließgewässer? Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2000: Angemessene Restwassermengen: Wie können sie bestimmt werden? Bern.

ProClim (Hrsg.), 2005: Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. Bern.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.