



Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick

sc | nat ⁺

Geosciences
Platform of the Swiss Academy of Sciences
Schweizerische Hydrologische Kommission CHy

Inhalt

Vorwort	3
Wasserressourcen Schweiz	4
Woher das Wasser kommt	4
Abflussregimes: Der Jahreslauf im Fluss.....	6
Wasserhaushalt der Schweiz	8
Auswirkungen der Klimaänderung	10
Wassernutzung und -verbrauch.....	12
Wasserqualität und Ökologie	14
Herausforderungen für die Schweiz	16
Glossar	18
Quellenverzeichnis	22
Links	24
Anhänge	25
Anhang 1.....	25
Anhang 2.....	26
Anhang 3.....	26
Anhang 4.....	27

IMPRESSUM

Vertrieb:

CHy
Schweizerische Hydrologische Kommission
c/o Gruppe für Hydrologie
Geographisches Institut
Hallerstrasse 12
3012 Bern

Autoren: Pascal Blanc und Bruno Schädler,

Gruppe für Hydrologie, Geographisches Institut der Universität Bern

Redaktion: Milena Conzetti, text.bildung.wald

Grafiken: Alexander Hermann, Geographisches Institut der Universität Bern

Layout: Olivia Zwygart, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)

Review: Schweizerische Hydrologische Kommission CHy
der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)

Zitiervorschlag: Blanc Pascal und Schädler Bruno (2013): Das Wasser
in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission,
Bern, 28 S.

Fotos: Titelseite: Wasserspiel beim Bundeshaus (Max Baumann,
Schaffhausen) | S. 4, 5: Satellitenbild Europa (Geographisches Institut
der Universität Bern) | S. 6: Madranertal (Christoph Ritz) |
S. 9: Bachalpsee, Grindelwald (Jungfraubahnen) | S. 11: Aletschgletscher
(Christoph Ritz) | S. 13: Bewässerung (agroscope ART, Jürg Fuhrer) |
S. 15: Aare in Bern (berninfo.com) | S. 17: KWO/Robert Bösch |
S. 21: Aareschlucht (Christoph Ritz) | S. 23: Hochwasser in der Matte, Bern
(Christoph Ritz) | Umschlagrückseite: Klöntalersee (Edith Oosenbrug)

ISBN: 978-3-9524235-0-9

1. Auflage
© CHy 2013

Vorwort

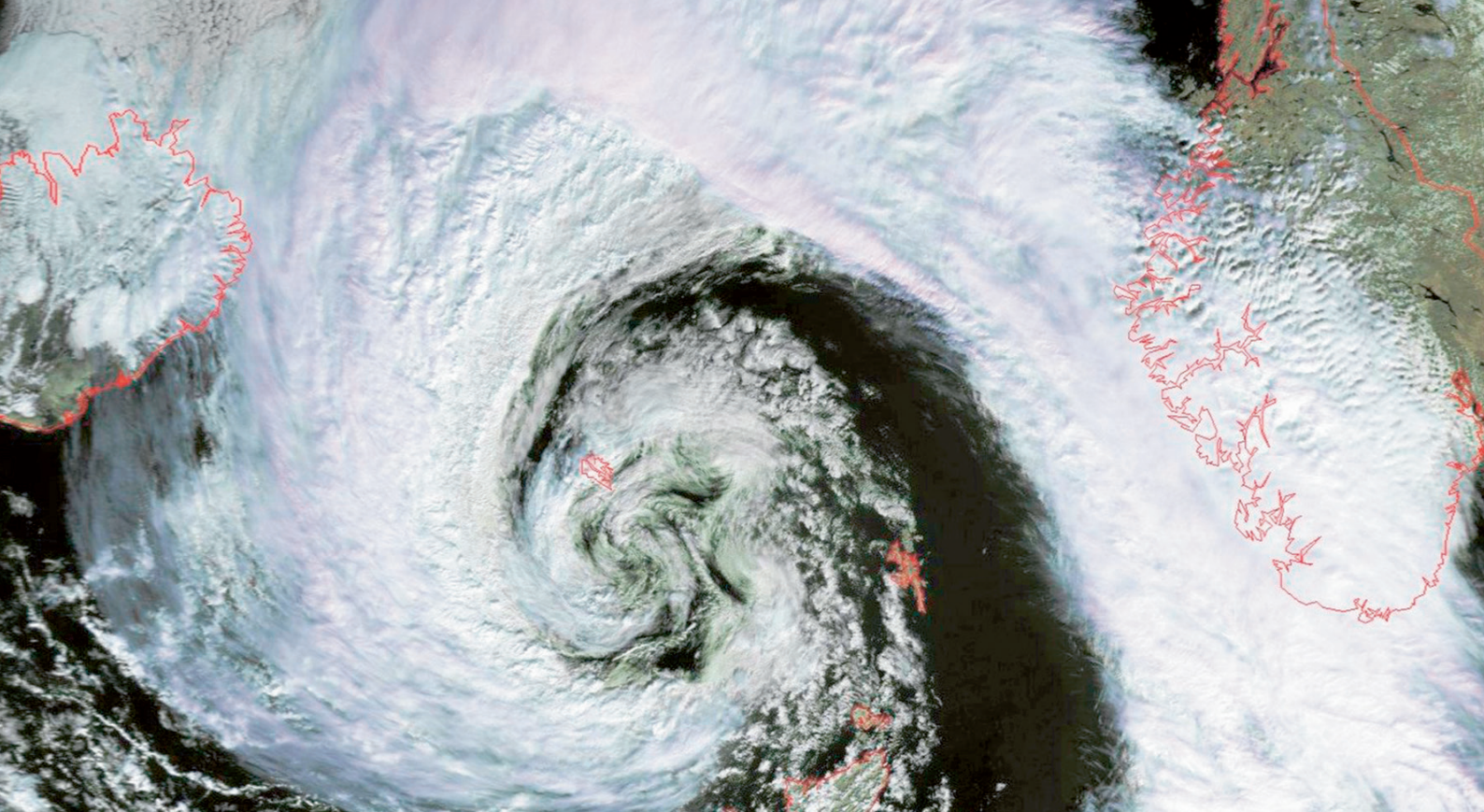


Das «Factsheet Wasser» ist ein Produkt der Schweizerischen Hydrologischen Kommission CHy der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT). Es entstand im Rahmen einer Arbeitsgruppe der «Platform Geosciences» der SCNAT, welche im Schwerpunkt «Nachhaltige Nutzung begrenzter Ressourcen» der Akademie der Wissenschaften Schweiz gegründet worden war. Die Broschüre dient als Informationsquelle für die breite Öffentlichkeit und für Schulen. Im Anhang befindet sich eine Tabelle mit allen wichtigen Zahlen rund um das Wasser sowie anschauliche Darstellungen zum Wasserhaushalt der Schweiz seit 1901, zur Wasserbilanz der Schweiz und zum Wasseraustausch mit unseren Nachbarländern. Die wichtigsten Fachbegriffe dieser Broschüre sind im Glossar aufgeführt. Im Internet sollen weitere Informationen zur vorliegenden Publikation verfügbar gemacht werden <http://chy.scnatweb.ch>.

Ausgehend vom Ursprung des Wasserreichtums der Schweiz – dem Niederschlag, welcher in den Alpen besonders hoch ausfällt – werden verschiedenste relevante hydrologische, wasserwirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Aspekte der Gewässer und ihrer Abflüsse betrachtet. Da ein grosser Teil des Niederschlags in fester Form fällt, spielt die Wasserspeicherung in der Schneedecke und in den Gletschern eine wichtige Rolle für die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse, vor allem in hochgelegenen Einzugsgebieten. Wasserkraft, Fischerei und Erholung sind auf zuverlässige Abflussmengen angewiesen. Die Gewässer erfüllen dadurch ökologische, kulturelle und wirtschaftliche Funktionen. In diesem Spannungsfeld wird sich die Energiezukunft der Schweiz entwickeln. Über die Hälfte des Stromes in der Schweiz wird durch Wasserkraft erzeugt. Dieser Anteil soll sich in Folge des geplanten Ausstiegs aus der Kernkraft in Zukunft noch erhöhen. Damit wird auch der Druck auf die Ökosysteme steigen. Schliesslich wird die Klimaänderung beträchtliche Veränderungen der jahreszeitlichen Verfügbarkeit der Wasserressourcen mit sich ziehen.

Wir hoffen, dass diese verständliche Zusammenstellung zur Verbreitung des Wasserwissens in der Schweiz beitragen wird. Allen Beteiligten, welche zur Erarbeitung des vorliegenden Factsheets beigetragen haben, sei hier herzlichst gedankt.

Prof. Dr. Rolf Weingartner
Präsident der Hydrologischen Kommission



Wasserressourcen Schweiz

Woher das Wasser kommt

Regen und Schnee sind die Hauptquellen für das Wasser, das in Schweizer Seen, Flüssen und im Grundwasser fließt. Aus welchem Gebiet die Feuchtigkeit für die Niederschläge kommt, hängt von der Grosswetterlage und damit auch der Jahreszeit ab.

Das herrschende Wettersystem entscheidet über Ursprung, Form und Intensität der Niederschläge in der Schweiz. Im Sommer fällt der Niederschlag meist in flüssiger Form als Folge konvektiver Prozesse (Gewitter). Im Winter sind die Niederschläge flächendeckender (advektiv) und oft in fester Form (Schnee). Besonders zwei, allerdings relativ seltene, Wetterlagen können zu Extremen führen, wie Abbildung 1b zeigt. Die linke Lage führt zu Trockenheit, die rechte zu Überschwemmungen. Im Gebirgsland Schweiz spielt auch die Höhenlage über Meer eine wichtige Rolle für die Menge und die Form der Niederschläge: Je höher oben, desto mehr Niederschläge und desto häufiger als Schnee.

Wichtiger Nordatlantik

Aus welchem Gebiet wie viel Feuchtigkeit in die Schweiz transportiert wird, hängt von der grossräumigen atmosphärischen Zirkulation mit ihren Winden ab. Wie in Abbildung 1a er-

sichtlich, stammen im Durchschnitt 40 Prozent des Niederschlags, der in der Schweiz fällt, aus verdunstetem Nordatlantik-Wasser. 25 Prozent kommen aus dem Mittelmeerraum, 20 Prozent von der Landoberfläche Mitteleuropas und 15 Prozent aus der Nord- und Ostsee. Je nach Jahreszeit schwanken diese Zahlen aber stark. Im Winter ist der Nordatlantik eine noch grössere Feuchtequelle, im Sommer spielen dagegen die mitteleuropäischen Landflächen eine wichtigere Rolle als in der Abbildung dargestellt. Zudem wirken die Alpen als Wetterscheide, also als Barriere für den Feuchte-transport zwischen Nord und Süd (und umgekehrt). So wird die Südschweiz hauptsächlich mit Feuchte aus dem Mittelmeerraum versorgt, die Nordschweiz aus den nördlichen Meeren. Allgemein sind im Vergleich der Jahre grosse Schwankungen der Feuchtequellen auszumachen. Das führt aber nicht zwingend zu Änderungen des gesamten jährlichen Niederschlags in einem Gebiet.

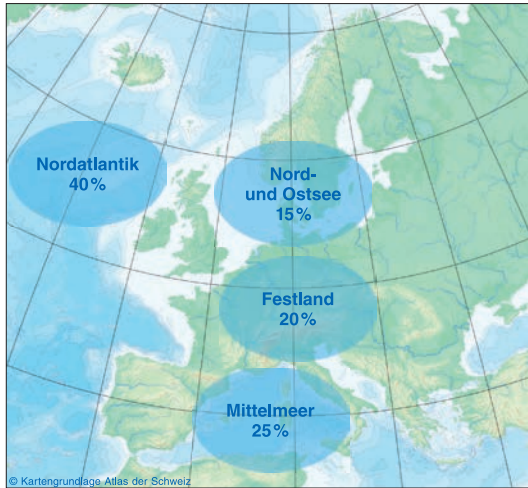


Abb. 1 a: Die Feuchtequellen der Schweiz 1995–2002 (nach Sodemann et al., 2010).

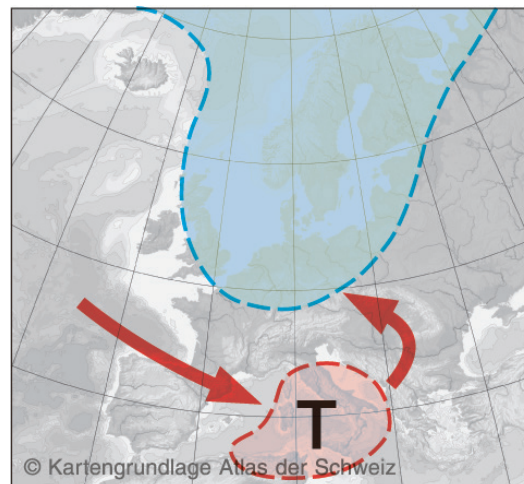
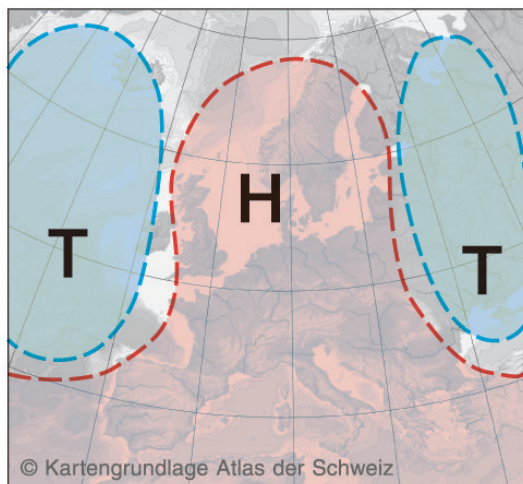


Abb. 1 b: Zwei typische Wetterlagen, die in der Schweiz zu Extremen führen können: Die «Omega-Lage» (links) mit einem ausgeprägten und stabilen Hochdruckgebiet (H) über Europa führt zu Trockenperioden wie im Sommer 2003. Die «5b-Wetterlage» (rechts) mit dem charakteristischen Verlauf des Tiefs (T) hingegen ist bekannt für grosse Niederschlagsmengen. Sie bringt vor allem im Frühling und Herbst sehr feuchte und milde Luft in die Schweiz, so dass die Schneefallgrenze steigt. Falls die Böden schon mit Wasser gesättigt sind, kann dies zu grossen Hochwassern führen.

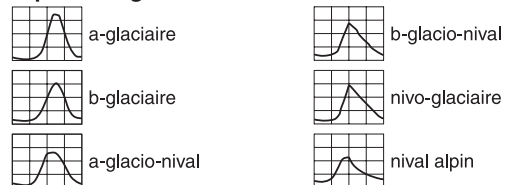


Abflussregimes: Der Jahreslauf im Fluss

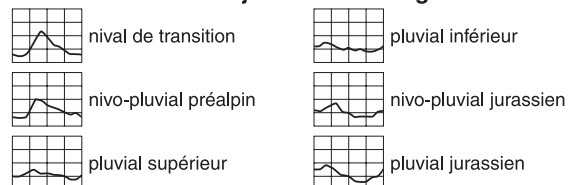
In den Fließgewässern der Schweiz fliesst eine jahreszeitlich typische Menge an Wasser ab, in der Fachsprache «Regime» genannt. Dieses ist von der Region, ihrer Höhenlage und Vergletscherung abhängig. Vergleichbare Abflussregimes lassen sich zu Typen gruppieren.

In der Schweiz spielt der vorläufige Rücklauf des Niederschlags in Form von Schnee oder Eis eine wichtige Rolle für die Abflussbildung in einem Einzugsgebiet. So führen die Schneeschmelze im Frühling und das schmelzende Gletschereis in den Sommermonaten zu den höchsten Abflüssen in den alpinen Flüssen. Im Jura trägt der als Schnee zwischengelagerte Niederschlag nur wenig zum abfliessenden Wasser bei, schmelzendes Eis kommt gar nicht vor. Im Mittelland fliesst praktisch aller Niederschlag während des ganzen Jahres ziemlich direkt in die Flüsse weiter. Daraus ergeben sich verschiedene saisonale und regionale Verteilungen der Abflüsse und der Abflussspitzen. Fachleute unterscheiden durch Eisschmelze (glazial), durch Schneeschmelze (nival) oder durch Regen (pluvial) geprägte Regimes und deren Kombinationen. In der Schweiz ergeben sich 16 verschiedene Regimes mit ihren typischen Abflusskurven (siehe Abbildungen 2 und 3).

Alpines Regime



Mittelländisches und jurassisches Regime



Südalpines Regime

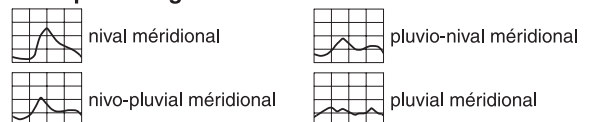


Abb. 2: Die 16 Abflussregime-Typen nach Weingartner und Aschwanden (1992). Abgebildet sind die Pardé-Koeffizienten von Dezember bis Dezember. Der Koeffizient ist ein normierter Abflusswert (Verhältnis der mittleren monatlichen Abflüsse zum mittleren jährlichen Abfluss) und erlaubt so einen Vergleich unterschiedlicher Einzugsgebiete.

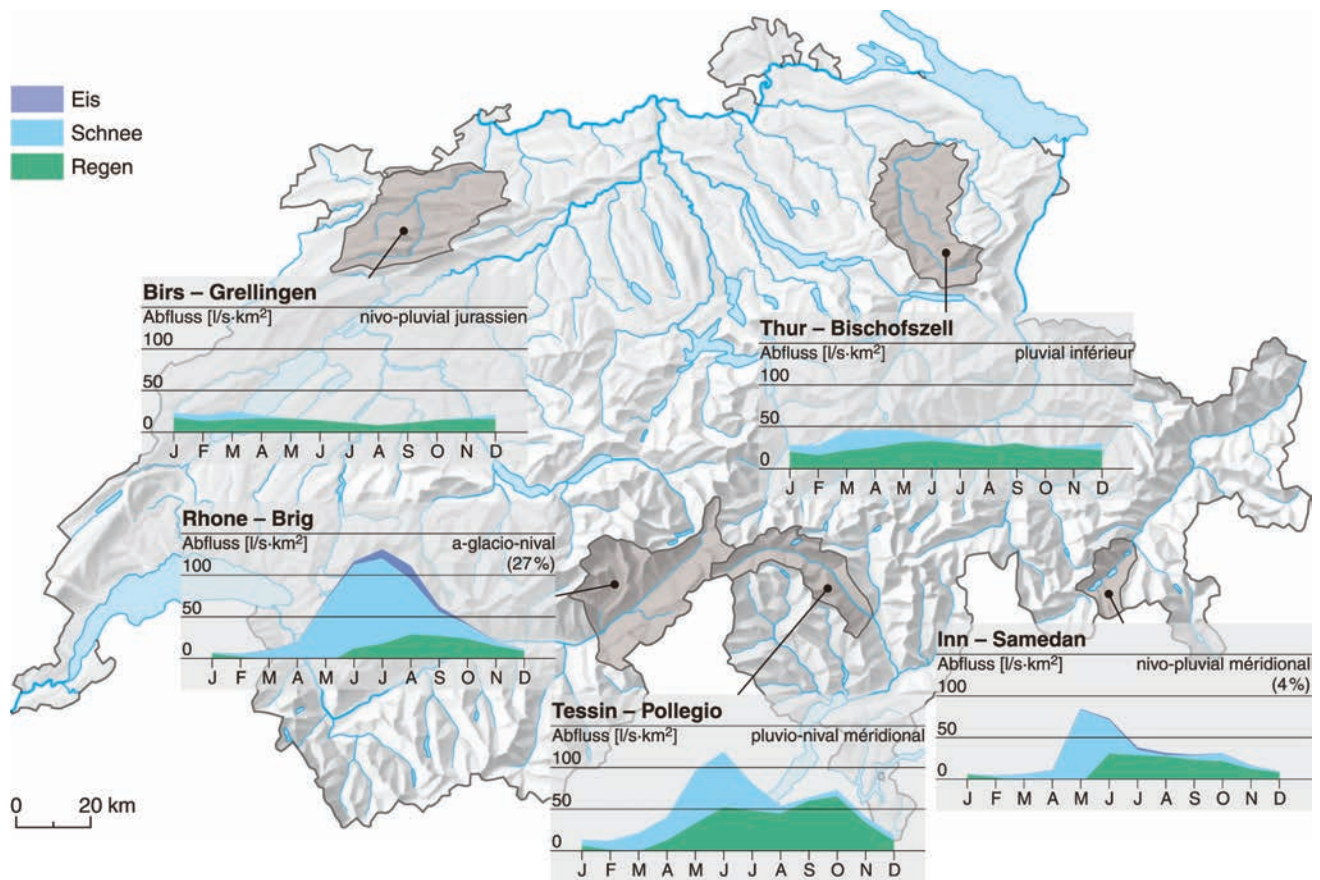


Abb. 3: Abflussregimes für fünf repräsentative Einzugsgebiete aus verschiedenen Regionen der Schweiz für die Periode 1984 bis 2005. Wenn vorhanden, ist die Vergletscherung des Einzugsgebiets angegeben (in Prozent). Abgebildet ist jeweils die Abflusssspende (Liter pro Sekunde und km^2) von Januar bis Dezember, unterteilt in Schnee-, Gletscherschmelze und Abfluss aus Regen oder Grundwasser. Zum Beispiel der Inn: Für nivale Regimes ist der geringe Abfluss in den Wintermonaten typisch, weil der Niederschlag als Schnee gespeichert wird. Dieser schmilzt im Mai und Juni, was in diesen Monaten zu einer Abflussspitze führt. Datenquelle: Köplin et al. 2011.

Einzugsgebiete

Natürlich kommt es darauf an, wo man ein Regime misst. Die Rhone in Brig zeigt ein anderes Regime als die Rhone bei der Mündung ins Mittelmeer. Denn der Abfluss hängt vom Einzugsgebiet ab. Darunter versteht man eine hydrologische Einheit, die einen Quadratmeter Fläche, ein ganzes Tal oder auch einen grösseren politischen Raum einschliessen kann. Der Niederschlag, der auf diese Fläche fällt, fliesst unter Einwirkung der Schwerkraft ab – ausser er verdunstet oder wird er als Schnee, Gletschereis, Grundwasser oder in einem See zwischengespeichert. Die Neigung des Geländes, die Bodenbeschaffenheit und die Pflanzen (Vegetation) im Einzugsgebiet beeinflussen zudem die Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers. Im Durchschnitt fliesst in der Schweiz ein Drittel des Niederschlags direkt ab, ein

Drittel verdunstet (siehe Seite Wasserhaushalt) und ein Drittel wird als Schnee zwischengelagert (und fliesst später ab).

Wo in einem Fluss an einer bestimmten Stelle der Abfluss in Kubikmeter pro Sekunde gemessen wird, umfasst das Einzugsgebiet die Fläche, deren Niederschlagswasser dort früher oder später abfliesst. Beim Rhone-Beispiel umfasst das alpine Einzugsgebiet bei Brig rund 900 Quadratkilometer, die stark vergletschert sind (27 Prozent). Das Regime ist stark von der Schnee- und Gletscherschmelze geprägt, wie Abbildung 2 zeigt. Bis zur Mündung ins Mittelmeer vergrössert sich das Einzugsgebiet auf 90 000 Quadratkilometer ($= \times 100$) und der Abfluss nimmt von 40 Kubikmeter pro Sekunde auf 1600 zu ($= \times 40$). In der Regel gilt: Je grösser das Einzugsgebiet, desto grösser der Abfluss.

Wasserhaushalt der Schweiz

Vergleichbar zur Bilanz eines Haushaltes mit Einnahmen, Ersparnissen und Ausgaben rechnet man die Wasserbilanz im Schweizer Wasserhaushalt: Niederschläge minus Verdunstung minus Veränderungen in den Speichern (Schnee, Gletscher, Seen, Grundwasser) = Abfluss.

Das Wasser, das in Bächen und Flüssen abfließt ist als verfügbare und erneuerbare Wasserressource ein lebensnotwendiges Gut für die in der Schweiz lebenden Menschen. Weil in der Schweiz viele Flüsse entspringen, die durch weitere europäische Länder fließen, trägt die Schweiz als «Wasserschloss Europas» eine grosse Verantwortung. Dank umfassenden Messungen von Niederschlag und Abfluss sowie den gespeicherten Schnee- und Eismengen ist der Wasserhaushalt der Schweiz (Abbildung 4) gut belegt. So weiss man, dass beispielsweise 40 Prozent des aus der Schweiz abfliessenden Wassers von der Schneeschmelze stammen und nur knapp zwei Prozent von der Gletscherschmelze.

Verdunstung als wichtiger Faktor

Im Gegensatz zum Abfluss wird die Verdunstung von Wasser meist nicht direkt gemessen, sondern aus der Wasserbilanz (Verdunstung = Niederschlag minus Abfluss minus Speicheränderungen) abgeleitet (Spreafico & Weingartner, 2005). Die Verdunstung findet an verschiedenen Orten statt: Von Gewässeroberflächen, aus dem Boden und von Pflanzenporen (Transpiration). Die gesamte Verdunstung nennt man Evapotranspiration. Sie ist abhängig von der Lufttemperatur und dem vorhandenen Wasser im Boden. Höhere Lufttemperaturen führen zu einer Steigerung der höchstmöglichen (potentiellen) Verdunstung. Damit die tatsächliche (reelle) Verdunstung dann auch zunehmen

Wasserbilanz der Periode 1901–2000

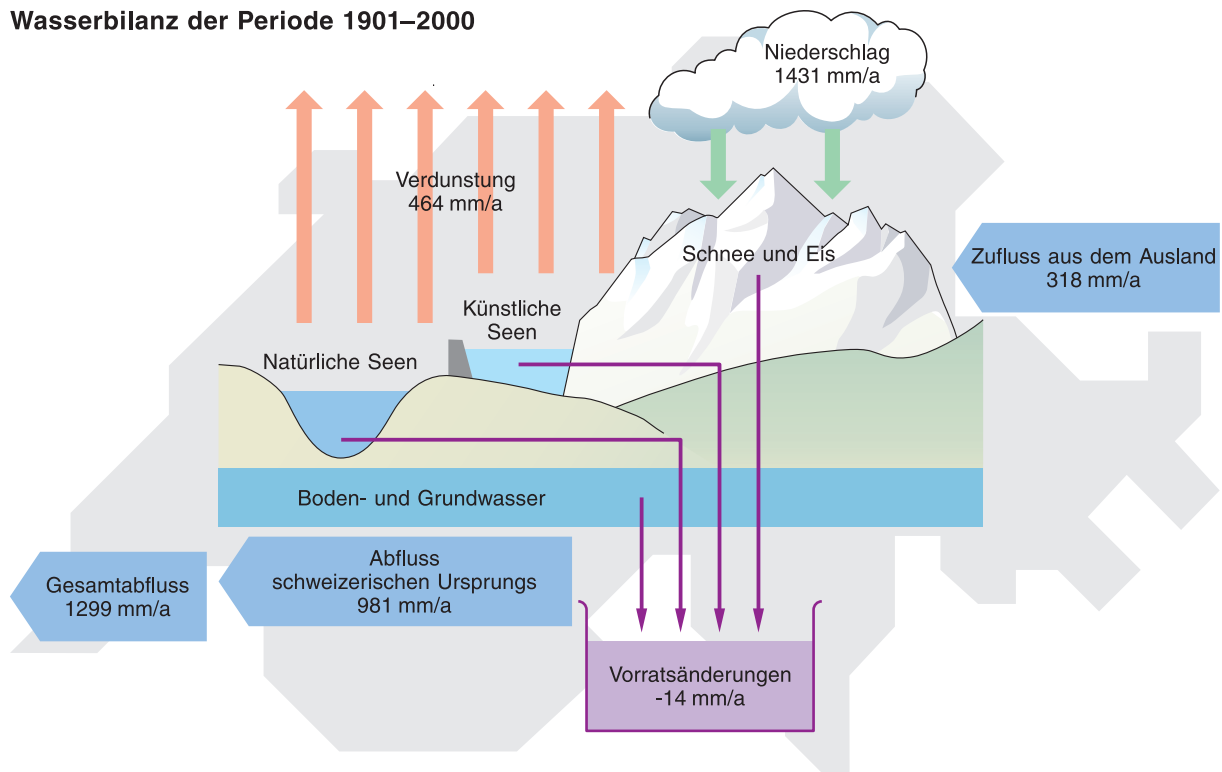


Abb. 4: Wasserhaushalt der Schweiz zwischen 1901 und 2000 (Hubacher & Schädler 2010). 1 mm Wasser auf der Fläche der Schweiz entspricht 41,3 Millionen Kubikmeter Wasser. 60 Milliarden Kubikmeter Wasser fallen also pro Jahr auf die Fläche der Schweiz! Die Vorratsänderung von -14 mm/a bedeutet, dass jährlich 600 Milliarden Liter Wasser als Folge des Gletscherschwundes aus dem Wasserhaushalt der Schweiz «verschwunden» sind. Der Verlauf der Komponenten des Wasserhaushalts seit 1901 ist im Anhang 2 (Abb. 12) abgebildet, eine erweiterte Bilanz befindet sich im Anhang 4 (Abb. 14).



kann, muss genügend Wasser im Boden vorhanden sein.

Die Evapotranspiration ist in der Schweiz nicht überall gleich: Weil die Verdunstung aus den Pflanzenporen einen bedeutenden Teil der Evapotranspiration ausmacht, ist letztere vor allem von der Verteilung der Vegetation abhängig. Diese nimmt mit der Höhe ab, weil es nicht nur kälter wird, sondern sich auch die Pflanzendichte verändert – von den landwirtschaftlich genutzten Flächen und Wäldern des Mittellandes über die grossen Weiden und Wälder des Juras und der Voralpen bis hin zu den Geröllhalden und Gletschern in den Alpen. Deshalb nimmt auch die potentielle Verdunstung aus den Pflanzenporen mit der Höhe ab.

Besonders im Sommer führt die Verdunstung im Alpenraum zu einem «Recycling» des Niederschlags: Bis zu zwei Drittel des verdunsteten Wassers bilden beim Aufsteigen neue (Gewitter-)Wolken, die regional wieder abregnen (van der Ent et al., 2010).

Grundwasser: die grosse Unbekannte

Obwohl gut 80 Prozent des Trinkwassers aus dem Grundwasser entnommen wird (siehe Wassernutzung und -verbrauch), ist über die Erneuerung dieser Ressource wenig bekannt. Ein unbekannter Teil des Abflusses aus der Wasserbilanz speist die Grundwasservorkommen, eine gleiche Menge Grundwasser speist die Fliessgewässer wieder (das totale Grundwasservorkommen ändert sich nicht). Es wird davon ausgegangen (Sinreich et al. 2012), dass nur rund 10 Prozent des theoretisch nutzbaren Grundwassers im Schweizer Untergrund nachhaltig verwendet werden kann (entspricht einem Drittel des Jahresniederschlags bzw.

18 km³). Die natürliche Neubildung des Grundwassers hängt vom Grundwasserleitertyp ab (siehe Glossar). Das Wasser kann unterschiedlich lang in einem Grundwasservorkommen verweilen. Diese Zeit geht einher mit der Geologie des Untergrundes (wie gut kann das [Regen-]Wasser versickern?), mit der Grösse des Grundwasservorkommens und mit der Anwesenheit von Fliessgewässern. Die Verweilzeit im Grundwasser kann zwischen einigen Monaten (entlang Flüssen wie im Aaretal) bis über 10 Jahre (Kalkgebiete: Teile der Alpen und Jura-gebirge) erreichen. Bei starkem Niederschlag in den Karstgebieten reagieren die Flüsse trotzdem überdurchschnittlich schnell, obwohl der grösste Teil unterirdisch abfliesst bevor er an einer Quelle austritt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass nicht das ganze Grundwasservorkommen durchgemischt wird. Man kann sich einen nassen Schwamm vorstellen: Kommt zusätzlich Wasser dazu, führt der Druck dazu, dass ein Teil des im Schwamm vorhandenen Wassers hinausgepresst wird.



Auswirkungen der Klimaänderung

Das Wasserdargebot wird sich bis ins Jahr 2100 zwar nur wenig ändern. Aber die Niederschläge werden sich anders übers Jahr verteilen und die in den Alpen gespeicherten Schnee- und Eismassen werden stark abnehmen. Dadurch verändern sich die Wassermengen in den Fliessgewässern und es kommt vermehrt zu Hoch- und Niedrigwasser.

Gletscherschwund

Seit langem ist ein Abschmelzen der Schweizer Gletscher zu beobachten. Seit dem Ende der kleinen Eiszeit um 1850 hat das Volumen der Schweizer Gletscher bereits um gut die Hälfte abgenommen. Mit der Erhöhung der Temperatur schmelzen die Gletscher im Sommer schneller und der Niederschlag fällt vermehrt als Regen. So schmelzen die Eismassen weg und die wichtige Speichergrösse «Gletscher» in der Wasserbilanz ändert sich.

Unter den aktuellen Klimabedingungen ist die Ausdehnung der Gletscher noch immer zu gross. Würde das Klima bleiben wie es heute ist, würden die Gletscher in den nächsten Jahrzehnten rund die Hälfte des heutigen Volumens verlieren. Doch bis ins Jahr 2085 erwarten die Fachleute eine Temperaturzunahme um drei Grad Celsius (mit einer möglichen Schwankung von einem Grad mehr oder weniger). Dies wird den Schweizer Gletschern arg zusetzen: Bis ins Jahr 2100 werden gemäss der Modelle nur 20 bis 30 Prozent des heutigen Gletscher-Volumens übrig bleiben, grösstenteils im Einzugsgebiet der Rhone dank dem grössten Gletscher der Schweiz, dem Aletschgletscher (Abbildung 5). Von Gletschern geprägte Abfluss-Regimes werden fast vollständig verschwinden (siehe Abbildung 6).

Weniger Schnee

40 Prozent des in der Schweiz abfliessenden Wassers stammen heute von schmelzendem Schnee. Mit der Klimaveränderung wird dieser Anteil bis ins Jahr 2085 auf 25 Prozent sinken, weil wegen steigender Lufttemperatur die

Schneefallgrenze steigt – um 150 Meter pro Grad Erwärmung. So wird weniger Niederschlag als Schnee gespeichert, was zur Folge hat, dass der Niederschlag direkter abfliesst. Die ersten Auswirkungen sind bereits messbar: Die Abflussspitzen in nival geprägten Einzugsgebieten treten früher im Frühling auf und fallen weniger hoch aus.

Zunehmende Unregelmässigkeit der Abflüsse

Vermutlich werden sich die Niederschlagsmengen, die innerhalb eines Jahres in der Schweiz fallen, nicht bedeutend verändern. Aber deren saisonale Verteilung ändert sich: Die Fachleute (CH2011, 2011) rechnen mit einer starken Abnahme der Sommerniederschläge um rund 20 Prozent bis ins Jahr 2085 und mit einer Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr (September bis Februar). So führen die kombinierten Einflüsse der oben genannten Klima- und Speicheränderungen zu jahreszeitlich veränderten Abflussmengen in den Fliessgewässern. Hochwassersituationen im Winterhalbjahr und insbesondere Niedrigwasser in den Sommermonaten dürften vermehrt vorkommen, vor allem in auf Niedrigwasser empfindlich reagierenden Regionen wie dem Wallis, dem Tessin oder dem Mittelland. Für das Mittelland rechnet man gar mit einem neuen Regime, dem «pluvial de transition» (Abbildung 6, unten rechts). Es zeigt hohe Abflüsse im Winter und ein ausgeprägtes Abflussminimum im Sommer, dafür fallen die hohen Abflüsse im Mai und Juni durch die Schneeschmelze weg. Da heisse und trockene Sommer häufiger vorkommen dürften, wird das neue Regime bei ausbleibendem Niederschlag besonders anfällig auf Niedrigwasser sein.

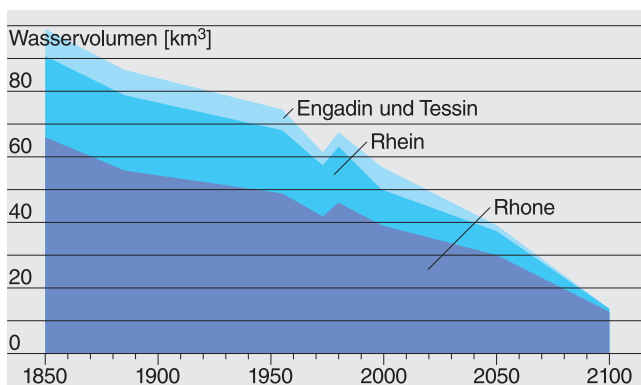


Abb. 5: Entwicklung der in den Schweizer Gletschern gespeicherten Wasservolumen (Rhone- und Rhein-Einzugsgebiete, Engadin und Tessin). Seit Ende der kleinen Eiszeit um 1850 hat das Gletschervolumen um die Hälfte abgenommen. Mehr als 70 Prozent des übriggebliebenen Volumens dürfte bis Ende dieses Jahrhunderts verschwunden sein. BAFU 2012.



Grosse Auswirkungen

Die zunehmende Unregelmässigkeit der Abflüsse und die vermehrten Extremereignisse werden auch den Betrieben zu schaffen machen, die mit Wasser wirtschaften. Dazu gehören Stromproduzenten und die Rheinschifffahrt. Es werden aber noch sehr viel mehr Menschen in Europa diese Veränderungen zu spüren bekommen: In der Schweiz entspringen die grössten Ströme

Europas (Rhein, Donau, Po und Rhone). Im Vergleich zu andern Gebieten der Welt bleibt die Schweiz jedoch von grösseren Auswirkungen der Klimaänderung relativ verschont. Zudem sind viele wissenschaftliche Erkenntnisse, politischer Wille und Geldmittel verfügbar, damit frühzeitig Massnahmen zur Anpassung getroffen werden können (BAFU 2012b).

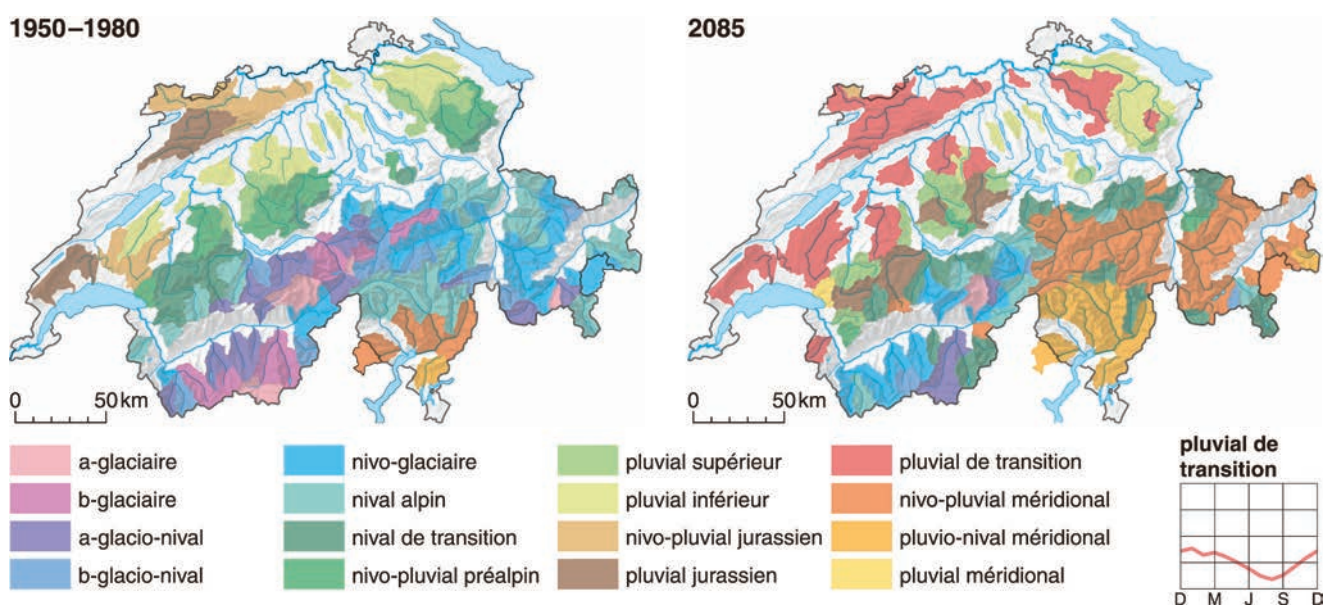


Abb. 6: Abflussregime-Änderung von 189 mittelgrossen Einzugsgebieten in der Schweiz. Links die Klassifikation aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES) für die Periode von 1950–1980 und rechts simuliert für die Zukunft um 2085. Unten rechts: neues Regime «pluvial de transition» mit ausgeprägtem Minimum im August. Wir verweisen auf den Text und auf die Abflussregime-Typen der Schweiz (Abb. 2). BAFU 2012.

Wassernutzung und -verbrauch

Wasser wird in der Schweiz für vielfältige Zwecke genutzt. Nicht nur die Haushalte, auch Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft brauchen das kostbare Nass. Und aus Wasserkraft stammt mehr als die Hälfte des Schweizer Stroms. Mit unserer Wahl von Produkten und Nahrungsmitteln und unserem Umgang mit Trinkwasser können wir einen Beitrag zur weltweiten Schonung der Wasserressourcen leisten.

Es werden zwei Arten der Wasserentnahme unterschieden: der Wasserverbrauch und die Wassernutzung. Die Nutzung bezieht sich auf das Wasser, das für die Energiegewinnung oder Kühlung entnommen und nach Gebrauch sauber wieder an die Umwelt abgegeben wird. Mit Wasserverbrauch bezeichnet man die Wasserentnahmen, die verbraucht oder verschmutzt werden: Trinkwasser, Bewässerungswasser, Spülwasser, verdampfendes Kühlwasser oder Abwasser.

Wasserkraftwerke als grösste Wassernutzerinnen

Am meisten Wasser wird für die Produktion von Strom entnommen (siehe Tabelle 1 im Anhang 1). Damit stellen die Wasserkraftwerke 50 bis 60 Prozent des in der Schweiz benötigten Stroms her, und zwar rund 36 TWh (Terawatt-Stunden). Das entspricht 50-mal der Energie, die im Rheinfall bei Schaffhausen steckt. Durchschnittlich fliesst ein Wassertropfen zehn Mal durch eine Turbine, bevor er die Schweiz verlässt. Heute werden rund 30 Prozent der gesamten im Wasser vorhandenen Energie zur Stromerzeugung genutzt (BFE 2004). Ohne Lockerung der Umwelt- und Gewässerschutzbedingungen wäre laut Bund eine Erhöhung um 10 Prozent bis ins Jahr 2050 möglich (BFE 2012). Klimabedingt und kurzfristig werden die alpinen Kraftwerke mit stark vergletscherten Einzugsgebieten von der zunehmenden Gletscherschmelze profitieren. Mittelfristig wird es gesamthaft gesehen aber zu keinen Einbussen für die Wassernutzung durch die Klimaänderung kommen (SGHL & CHy, 2011).

Wasserverbrauch

Täglich brauchen Frau und Herr Schweizer rund 170 Liter Trinkwasser zum Trinken, Kochen, Waschen und Reinigen. Somit macht der Verbrauch in den Haushalten etwa ein Viertel des Gesamtverbrauchs aus, ein weiteres Viertel entfällt auf die Landwirtschaft. Allerdings fliesst rund die Hälfte des zur Landwirtschaft gerechneten Wassers ungenutzt durch die Brunnen ab. Gut die Hälfte des Wassers verbrauchen Gewerbe und Industrie (siehe Abbildung 7). Die Wassergewinnung findet zu einem Hälfte öffentlich statt (Trinkwasser), zur andern privat (Landwirtschaft, Industrie). Jährlich wird in der Schweiz

ein Drittel des Wasservolumens des Thunersees verbraucht (2,2 km³).

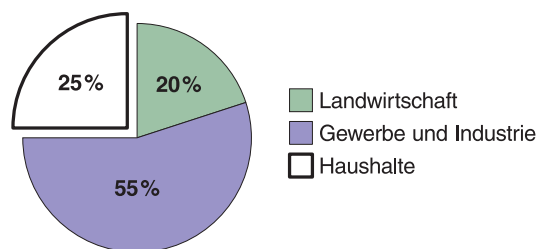


Abb. 7: Wasserverbrauch in der Schweiz (inkl. Eigenförderung): Prozentanteile der Nutzungsbereiche (Daten: Freiburghaus 2009).

Trinkwasser

Woher kommt das Schweizer Trinkwasser? 40 Prozent sind Quellwasser, 40 Prozent werden aus dem Grundwasser gepumpt und 20 Prozent werden aus Oberflächengewässern – meist Seen – entnommen. Insbesondere das Seewasser benötigt eine zweistufige Aufbereitung bis zur Trinkwasserqualität. Ein Drittel des Trinkwassers wird einstufig aufbereitet, knapp die Hälfte gar nicht. Das Trinkwasser in der Schweiz weist also eine sehr hohe Qualität auf und kann mit Mineralwasser mithalten. Die Trinkwasserleitungen der Schweiz sind 53 000 Kilometer lang und würden 28 Mal um die Schweiz reichen. Etwa alle 50 Jahre müssen die Leitungen ersetzt werden, was pro Jahr 1000 Kilometer Leitungen entspricht. Das ist auch nötig, denn durch leckende Leitungen gehen jährlich 15 Prozent des Trinkwassers verloren.

Wie Abbildung 8 erkennen lässt, ist der Trinkwasserverbrauch pro Kopf rückläufig. Das weist darauf hin, dass die Bevölkerung sensibilisierter ist und zum Beispiel wassersparende Duschköpfe nutzt. Ausserdem sind Geräte wie Spül- und Waschmaschinen effizienter geworden. Ein wesentlicher Teil der Einsparungen sind aber keine eigentlichen Einsparungen, sondern Verlagerungen: Wasserintensive Industriezweige wie die Textilproduktion wurden ins Ausland verlegt. Zudem werden Güter und Lebensmittel vermehrt importiert, die zur Herstellung viel Wasser benötigen. Damit nimmt die Bedeutung des «virtuellen Wassers» zu (mehr dazu im nächsten Abschnitt).





Virtuelles Wasser

Mit «virtuellem Wasser» bezeichnet man das Wasser, das im Ausland (siehe Anhang 1) für die Produktion von landwirtschaftlichen (60 Prozent vom Wasserverbrauch im Ausland) und industriellen (40 Prozent) Produkten benötigt wird, die in der Schweiz konsumiert werden. Rechnet man zum Verbrauch des Schweizer Wassers auch das virtuelle Wasser ein, beläuft sich der Verbrauch auf über 4000 Liter pro Person und Tag. Falls wir alle Produkte, die wir konsumieren auch in der Schweiz produzieren würden, würden wir somit insgesamt rund ein Drittel unserer erneuerbaren Wasserressourcen (= alles fließende Wasser in Bächen und Flüssen) beanspruchen.

Wasserverbrauch für landwirtschaftliche Produkte

In der Schweiz entfallen drei Viertel des landwirtschaftlichen virtuellen Wasserverbrauchs auf die Herstellung von Milch-, Rind- und Schweineprodukten. Im Gegensatz zu den tierischen Erzeugnissen wird ein überwiegender Teil der pflanzlichen Produkte importiert. Das zeigt sich auch im eingeführten virtuellen Wasseranteil: Am meisten virtuelles Wasser steckt im Kakao, gefolgt von Kaffee, Zucker, Nüssen, Weizen, Ölsaaten und Reis. Viele dieser Pflanzen würden im Schweizer Klima gar nicht gedeihen. Sie werden vorwiegend in tropischen Gebieten angebaut, wo es sehr viel regnet. Problematisch wird es, wenn dieselben Produkte in trockneren Regionen angepflanzt werden, wo sie stark bewässert werden müssen. So kann die Erzeugung von Produkten die Wasserknappheit in bestimmten Exportregionen verschärfen. Beispiele dafür sind der Anbau von Baumwolle – für ein Kilo braucht es 10 000 Liter Wasser – und Reis (2500 Liter Wasser für ein Kilo Reis) in China, Spanien oder Portugal.

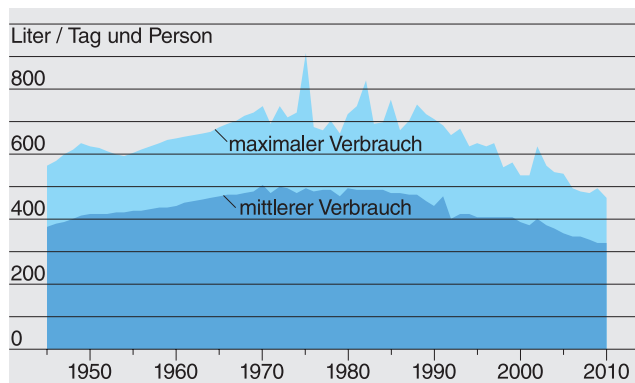


Abb. 8: Entwicklung des mittleren und des maximalen Trinkwasserverbrauchs pro Einwohner und Tag (inkl. Gewerbe, Industrie, öffentliche Zwecke und Verluste) von 1945 bis 2011. Der maximale Tagesverbrauch im Jahre 1976 ist auf 900 Liter pro Person gestiegen und steht in Verbindung zu einer aussergewöhnlichen Trockenperiode in der ersten Sommerhälfte (Statistik SVG, www.trinkwasser.ch).

Fazit

Bedenklich ist, dass das verbrauchte Wasser, das in unserem täglichen Konsum landwirtschaftlicher und industrieller Güter steckt, nur zu rund 25 Prozent durch heimische Wasserressourcen gedeckt wird. Drei Viertel davon benötigen Wasserressourcen anderer Regionen der Welt, deren Wasserbestimmungen – wenn überhaupt vorhanden – oft weniger streng sind als in der Schweiz.

Auch die Schweiz führt Produkte aus (ca. die Hälfte der Gesamtproduktion von Landwirtschaft und Industrie), deren Herstellung viel Wasser verbraucht. Die Bilanz des virtuellen Wassers (virtuelles Wasser aus dem Import minus virtuelles Wasser aus dem Export) ist positiv und entspricht dem Volumen des Thunersees. Diese Menge an Wasser wird im Ausland eingesetzt, um Güter und Waren herzustellen, die in der Schweiz verbraucht werden.

Wasserqualität und Ökologie

In den letzten Jahrzehnten ist die Wasserqualität dank wissenschaftlichen Erkenntnissen und politischem Handeln in der Schweiz gestiegen. Allerdings ist es verfrüht, sich auf den Lorbeeren auszuruhen: Mikroverunreinigungen nehmen zu, die biologische Vielfalt hat abgenommen und die Klimaänderung zeigt bereits ihre Auswirkungen auf die Gewässer.

Die Wasserqualität der Gewässer steigt

Noch vor weniger als 30 Jahren wurde beispielsweise von einem Schwamm im Rhein abgeraten. Denn aus Siedlungen, Industrie und Landwirtschaft gelang(ten) chemische Verunreinigungen wie Phosphor und Nitrat ins Wasser. Dank dem Ausbau der Abwasserreinigung seit 1980, dem Verbot von Phosphat in Textilwaschmitteln (1985) und der Ökologisierung der Landwirtschaft seit 1990 nimmt die Belastung aber laufend ab (siehe Abbildung 9). So ist in den letzten Jahrzehnten die Wasserqualität in den Schweizer Gewässern erfreulicherweise gestiegen, dies vor allem in den Seen die stark verseucht waren. Je nach Bevölkerungs- und Nutztierdichte sowie der Verweilzeit des Wassers in einem See entwickelt sich die Phosphor- und Nitratkonzentration aber unterschiedlich. Heute gelangt hauptsächlich noch im Boden gespeicherter Phosphor durch Auswaschung (Niederschläge) in die Gewässer. Bis die Vorräte erschöpft sind, dauert es aber noch Jahrzehnte. Die Nährstoffe Phosphor und Nitrat führen in Gewässern zu einer Überdüngung (Eutrophierung): Die Algen (Phytoplankton) wachsen verstärkt, was eine Sauerstoffabnahme zur Folge hat. Das bekommt den Fischen nicht und die Bestände nehmen ab.

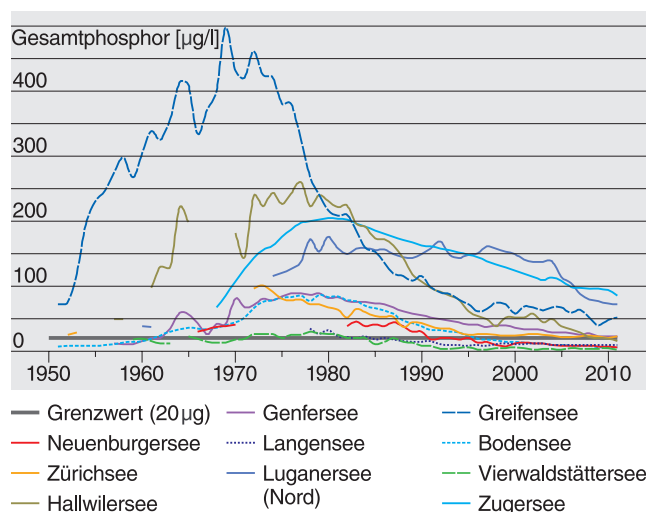


Abb. 9: Zeitreihe des Phosphor-Gehalts ausgewählter Schweizer Seen. Unterhalb von 20 Mikrogramm Phosphor pro Liter Wasser sind die gesetzlichen Vorgaben erfüllt. Quelle: BAFU.

Eine Studie zeigt, dass fast 40 Prozent der einheimischen Felchenarten infolge der Überdüngung der Schweizer Seen verschwunden sind (Vonlanthen et al. 2012). Nur in tiefen und von der Überdüngung weniger betroffenen Alpenrandseen wie dem Thuner-, dem Briener- oder dem Vierwaldstättersee konnten sich die historisch belegten Arten halten.

Neue Verunreinigungen

Besorgt ist man heute über die Zunahme von Mikroverunreinigungen aus Medikamenten und Pflanzenschutzmitteln. Dazu gehören Hormone und Nanopartikel, über deren Verbleib und Umweltwirkung man noch wenig weiss. Sorge bereiten auch die wegen der Landwirtschaft teilweise erhöhten Nitratwerte des Grundwassers im Mittelland.

Die Wassertemperatur steigt, die Abflüsse ändern sich

Auch die Klimaveränderung stellt eine neue und doppelte Herausforderung für die Ökologie der Gewässer dar (BAFU 2012): Die Abflüsse verändern sich und parallel zur Lufttemperatur stiegen die Wassertemperaturen von 1970 bis ins Jahr 2010 um 0,1 bis 1,2 Grad Celsius, je nach Abflussregime. In vergletscherten Einzugsgebieten zeigten sich Anstieg und Schwankungsbereich (Variabilität) weniger ausgeprägt (siehe Abbildung 10). Bis ins Jahr 2085 rechnen die Fachleute mit einer Erhöhung der Lufttemperatur von drei bis vier Grad Celsius. Die Erwärmung wird sich insbesondere im Sommer bemerkbar machen. Die jahreszeitliche Umverteilung der Abflüsse wird zu geringeren sommerlichen Abflüssen im Mittelland, Jura und auf der Alpensüdseite führen. Die beiden Faktoren «wärmeres Wasser» und «tiefere Wasserstände im Sommer» führen dazu, dass sich das Wasser schneller erwärmt. Das wird Folgen für das Leben in den Gewässern und die Wassernutzung haben. Die bisherige Erwärmung führte bereits zu einem Rückzug der Forellen in Gebiete, die 100 bis 200 Höhenmeter höher als ursprünglich liegen (Hari et al. 2006). Verringerte und wärmere Abflüsse senken zudem die Sauerstoffkonzentration stark und begünstigen die Ausbreitung von Fischkrankheiten wie der proliferativen Nierenkrankheit PKD.



Natürliche Gewässer für Vielfalt und Hochwasserschutz

Die Vergrößerung der Siedlungsfläche, die Intensivierung der Landwirtschaft und Hochwasserschutzmassnahmen erhöhen den Druck auf die Fliessgewässer stark. Ein Viertel der Fliessgewässer der Schweiz ist kanalisiert oder eingedolt, wie Abbildung 11 zeigt. Durch die korrektiven Eingriffe des Menschen hat die ökologische Strukturvielfalt der Gewässer gelitten und somit auch die biologische Vielfalt (Ewald und Klaus, 2010). Unter Strukturvielfalt verstehen die Fachleute ein vielfältiges Bach- oder Flussbett mit Kies- und Sandbänken, Stellen mit unterschiedlich schnell und langsam fliessendem Wasser, Zonen mit verschiedenen tiefem Wasser, mit umgestürzten Bäumen und Vernetzungen mit Ufer und Auen. Diese verschiedenen Lebensräume im und am Wasser sind für eine hohe Artenvielfalt wichtig. Strukturvielfalt entsteht dort, wo Flüsse vor allem in flachen Gebieten frei mäandrieren und verwildern können.

Der Bund hat die Kanalisierung der Flüsse vor allem nach den Hochwassern von 1987, 1999, 2005 und 2007 neu überdacht. Um weitere ähnliche Schadensfälle zu vermeiden – das Hochwasser von 2005 war der finanziell kostspieligste Schadensfall der letzten 100 Jahre – war eine neue Strategie gefragt: Flüsse sollen dank Renaturierungen wieder mehr Raum bekommen, damit bei Hochwasser die Wassermengen gebremst und zurück gehalten werden können. So werden gleichzeitig die Flussräume ökologisch aufgewertet und gewinnen an Attraktivität als Naherholungsgebiet, wie beispielsweise an der Thur, Birs, Linth oder am Brenno.

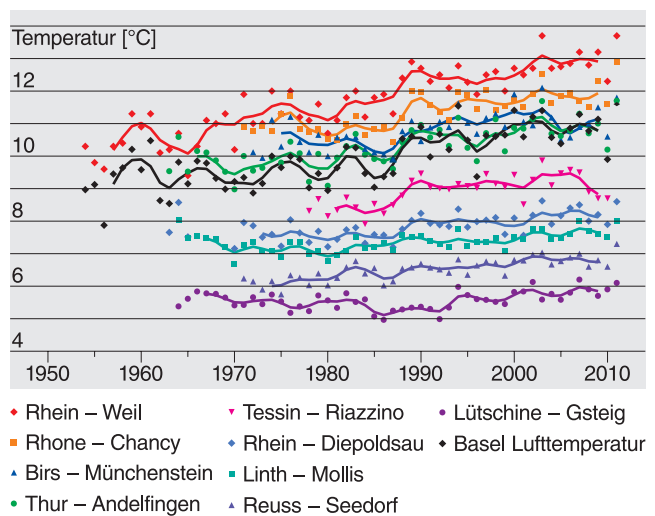


Abb. 10: Wassertemperaturverlauf der letzten Dekaden für neun ausgewählte Stationen und Basel (Lufttemperatur). Für Stationen mit kalten mittleren Wassertemperaturen (z. B. Lüttschine-Gsteig) ist der Temperatur-sprung zwischen 1987 und 1988 weniger deutlich als z. B. im Ticino. Zudem fällt die geringere Schwankung der Lüttschine-Wassertemperatur innerhalb eines Jahres auf (interannuelle Variabilität). Beides veranschaulicht den ausgleichenden Effekt der Gletscher. Quelle: BAFU.

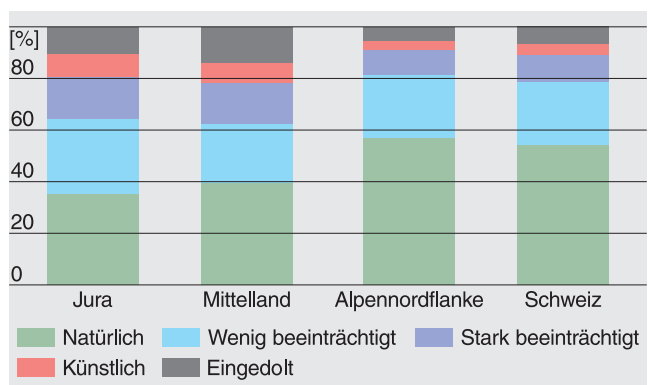


Abb. 11: Ökomorphologischer Zustand (5 Kategorien) der Fliessgewässer im Juragebirge, im Mittelland, an der Alpennordflanke sowie für die ganze Schweiz (prozentuale Anteile). Quelle: Biodiversitäts-Monitoring Schweiz, Stand 2010.



Herausforderungen für die Schweiz

In naher Zukunft wird sich die Schweiz bezüglich Wasser mit zwei grösseren Herausforderungen auseinandersetzen müssen. Um diese meistern zu können, ist ein ausgewogenes Zusammenspiel von Wissenschaft, Politik, Bevölkerung und Wirtschaft äusserst wichtig.

Wasserkraft gewinnt an Bedeutung

Durch die Entscheidung der Schweiz, die Kernkraftwerke (KKW) stillzulegen, steigt das Interesse an der Wasserkraftnutzung. Wasserkraft ist zwar eine weitgehend ökologische Energiequelle, doch sie hat ihre Kehrseiten wie alle anderen Stromquellen auch: Die Abflüsse unterhalb der Wasserkraftwerke werden geändert, der Aus- und Neubau von Kleinkraftwerken wirkt teilweise den laufenden Renaturierungen entgegen und erschwert die Durchgängigkeit für Fische. Und Pumpspeicherkraftwerke liefern zwar zu Spitzenzeiten und im Winter bedarfsgerecht Strom, aber sie brauchen zum Hochpumpen von Wasser in die Speicherseen mehr Strom als sie selbst herstellen. In Kombination mit Sonnen- und Windkraftwerken hätten Pumpspeicherkraftwerke aber einen grossen Vorteil: Sie könnten die unregelmässige Stromproduktion aus Sonnen- und Windkraftwerken abfangen und haltbar machen. Denn diese Energiequellen sind erneuerbar und unerschöpflich, jedoch stark abhängig vom Wetter und von der Tageszeit. So könnte sich die Schweiz als Stromspeicher Europas profilieren.

In den nächsten Jahrzehnten stehen viele Konzessionserneuerungen und Erweiterungen von Wasserkraftwerken bevor. Die Diskussionen und Entscheidungen um Konzessionen, neue Kleinkraftwerke, Erweiterungen von Speicherseen und so weiter werden im Spannungsfeld der ökologischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen an den Gewässern stattfinden. Welche Flussabschnitte sind als Erholungs- und Rückzugsgebiete (Freizeit, Fischerei, Biodiversität), welche als Landschaftsbilder schützenswert? Welche Abschnitte können wasserwirtschaftlich genutzt werden? Wie soll es mit der Schwall/Sunk-Problematik umgegangen werden, das heisst mit den künstlichen Abflüssen durch die Wasserkraftnutzung? Ganzheitliche Entscheidungshilfen (z.B. Hemund 2012) sowie der Einbezug der betroffenen Bevölkerung werden sich bewähren müssen.

Die Klimaänderung verändert die jahreszeitliche Verfügbarkeit des Wassers

Die Klimaänderung wird Auswirkungen auf Schnee und Eis haben, die natürlichen Wasserspeicher. Zudem ist mit einer Umverteilung der Niederschläge zu rechnen: mehr im Winterhalbjahr und deutlich weniger im Sommer. Beides zusammen wird sich auf die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse auswirken. Die Hochwasserzeit wird sich laut Expertinnen und Experten vom Frühsommer ins Winterhalbjahr verschieben und länger anhalten. Niedrigwasser wird in den meisten Gebieten des Mittellandes vermehrt im Spätsommer auftreten.

Diese Änderungen im Wasserkreislauf werden wasserwirtschaftliche Folgen mit sich ziehen: Die rechtlichen Regelungen in verschiedenen Bereichen wie Wasserentnahmen, Einleitung von Kühlwasser, Regulierung von Seen, Restwassermengen für Wasserkraftwerke und viele mehr müssen überprüft werden. Weil im Sommer die Gefahr von Wasserknappheit zunehmen dürfte, muss auch die Wasserversorgung überdacht werden. Der Bedarf an zusätzlichen (Mehrzweck-)Speichern muss abgeklärt werden. Und durch die zunehmende Unregelmässigkeit der Abflüsse und Niedrigwasser dürfte die Rheinschifffahrt vermehrt beeinträchtigt werden.



Neue Wege suchen

Trotz der sich verbessernden Wasserqualität in den Gewässern der Schweiz und der hohen Versorgungssicherheit muss gemeinsam an einer nachhaltigen Wassernutzung gearbeitet werden:

Wasserversorgung

- Durch die Verknüpfung verschiedener, bis jetzt unabhängiger Wasserversorgungssysteme würde sich die Versorgungssicherheit erhöhen.

Landwirtschaft

- Die Bewässerung kann zum Beispiel durch Tropfbewässerung effizienter gemacht werden.
- Der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzschutzmitteln muss überdacht werden.

Wasserkraft

- Die Erneuerung, beziehungsweise der Ausbau von bestehenden Kraftwerken, soll die künstlichen Schwankungen der Abflüsse (Schwall und Sunk) unterhalb der Wasserkraftwerke vermindern.
- Renaturierungsmassnahmen und eine verbesserte Durchgängigkeit der Kraftwerke für Fische sollen die Bestände erhalten und vergrössern.

Industrie und Gewerbe

- Gewisse Stoffe wie Hormone und Nanopartikel von Medikamenten und Kosmetikprodukten stellen im Wasserkreislauf ein Problem dar. Denn sie können in den herkömmlichen Abwasserreinigungsanlagen nicht entfernt werden. Die Mikroverunreinigungen bedingen ausgeklügelte technische Massnahmen, um in Kläranlagen beseitigt werden zu können. Sonst drohen sie sich in der Umwelt anzusammeln – mit noch schwer abzuschätzenden Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen. Welche Chemikalien sind wirklich nötig? Welche können durch andere, ökologisch abbaubare Stoffe ersetzt werden?

Abwasserreinigung

- Die bereits heute zum Teil praktizierte Trennung von Regenwasser und Abwasser entlastet die Abwasserreinigungsanlagen deutlich.
- Die Zusammenlegung von kleineren Kläranlagen ermöglicht eine effizientere Reinigung.
- Neue Methoden müssen entwickelt werden, damit kleinste Mengen an Mikroverunreinigungen festgestellt und aus dem Abwasser entfernt werden können.



Glossar

Abfluss: Wassermenge, die pro Sekunde an einer Messstelle durchfliesst (in m³ pro Sekunde).

Abflussregime: mittlere jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse eines Fließgewässers.

Abflusspende: Diese Grösse entspricht dem **Abfluss** pro Flächeneinheit eines **Einzugsgebietes**. Meistens wird sie in Liter pro Sekunde und km² angegeben.

Blaues Wasser: unverschmutztes Wasser, das in Bächen und Flüssen abfließt, bzw. in Seen oder im Grundwasser ruht (kann auch der Schnee- bzw. Gletscherschmelze entstammen) und irgendwann ins Meer fließt.

Einzugsgebiet: Geschlossene hydrologische Einheit in welcher die **Wasserbilanz** gilt. Jeder Wassertropfen, der auf diese Fläche fällt, fließt unter Einwirkung der Schwerkraft ab, vorausgesetzt, er wird nicht verdunstet bzw. zwischengespeichert (z. B. als Schnee, Eis, **Grundwasser**, See). Wird an einer Stelle der **Abfluss** eines **Fließgewässers** gemessen (z. B. Aare in Bern), umfasst das Einzugsgebiet die Fläche, deren Niederschlag dort früher oder später abfließt.

Eutrophierung: Falls grosse Mengen an Nährstoffen (oft Nitrat oder Phosphat aus Düngemitteln und Abwasser) in ein Gewässer gelangen, können sich Algen vermehren und den Sauerstoffgehalt des Wassers derart senken, dass die biologische Vielfalt (v. a. der Fische) abnimmt. Einige kleinere Seen in landwirtschaftlich stark genutzten Gebieten (z. B. Hallwilersee) müssen durch eine künstliche «Seebelüftung» am Leben erhalten werden.

Evapotranspiration: In der Umwelt verdunstet Wasser zu Wasserdampf (unsichtbares Gas) beispielsweise über Wasserflächen (Meer, Seen, Flüsse). Auch das Wasser, das in den Böden vorhanden ist (Bodenfeuchte), kann verdunsten. Zudem «schwitzen» Pflanzen (z. B. Bäume) während der Photosynthese in den Blättern (Transpiration). Aus diesem unsichtbaren Wasserdampf können sich wiederum Wassertropfen bzw. Wolken (z. B. Nebel) bilden, falls sich die Luft abkühlt.

Feuchtequelle: Als Feuchtequellen werden diejenigen Gebiete bezeichnet, wo grosse Mengen Wasser in die Atmosphäre verdunsten, Wolken bilden und Niederschlag in der Schweiz auslösen.

Fließgewässer: Bäche, Flüsse.

Grundwasserleiter: Durchlässiger Gesteinskörper mit oft sehr kleinen Hohlräumen (Poren), der kurz- oder langfristig Grundwasser enthalten kann.

Grundwasser: flüssiges Wasser, welches sich unter der Bodenschicht befindet (Sickerwasser und Ansammlungen z. B. in Grundwasserleitern von Karstgebieten oder im Mittelland). Der grösste Teil des Grundwassers (rund 80 Prozent) ist in Karstgebieten zu finden (Voralpen, Juragebirge) und liegt zwischen 100 und 1000 Meter Tiefe. Das erneuerbare Grundwasser ist der Anteil des Grundwassers, der nachhaltig genutzt werden kann, d. h. ohne dessen Menge oder Qualität zu beeinträchtigen. Dieser Anteil ist je nach Region unterschiedlich (im Mittel 10 Prozent des verfügbaren Grundwassers) und hängt vor allem von der Geologie des Untergrundes und von der Anwesenheit von Fließgewässern ab.

Graues Wasser: Wassermengen, welche durch den Verbrauch verschmutzt werden, sodass sie nicht mehr nutzbar sind.

Grünes Wasser: Im Boden gespeichertes Regenwasser, das von den Pflanzen genutzt wird.

Intensität (des Niederschlags): Der **Niederschlag** (Regen, Schnee, Hagel, usw.) kann mehr oder weniger stark auftreten (z. B. vom feinen Nieselregen zum starken Regenschauer bzw. Gewitter). Die Intensität des Niederschlags ist abhängig von der Wetterlage und von der Höhe. Eine oft verwendete Einheit für die Intensität des Niederschlags ist die Anzahl Liter Wasser, die auf eine Fläche eines Quadratmeters innerhalb von 10 Minuten, einer Stunde oder einem Tag fällt.

Interzeption: Teil des Niederschlags, welcher nicht direkt die Erdoberfläche erreicht, sondern durch die Vegetation (Blätter, Äste, Baumstämme) abgefangen wird und verzögert den Boden erreicht oder wieder direkt verdunstet.

Jahresniederschlag: Die durchschnittliche Menge Niederschlag, die an einem bestimmten Ort pro Jahr antrifft. Üblicherweise wird sie in Millimeter angegeben. Im Mittelland beträgt diese Summe rund 1000 mm. Das heisst, der Niederschlag würde in einem Jahr eine 1 m tiefe Wasserschicht (= 1000 Liter Wasser pro m²) hinterlassen, wären kein Abfluss und keine Verdunstung vorhanden.

Niederschlag: siehe *Jahresniederschlag* oder *Intensität (des Niederschlags)*.

Oberflächenabfluss: Teil des Niederschlags, der oberflächlich unter Einwirkung der Schwerkraft abfließt.

Oberflächengewässer: Natürliche und künstliche Bäche, Flüsse, Seen.

Ökomorphologie: οἶκος [oikos]: Haus oder Haushalt, μορφή [morphé]: Gestalt oder Form und λόγος [logos]: die Lehre).

Wissenschaft der strukturellen Ausprägung eines Gewässers und dessen Uferbereiches sowie dessen Wechselwirkungen mit Pflanzen und Tieren bzw. der biologischen Vielfalt (Biodiversität). Die Gewässerabschnitte werden je nach Wassertiefe und -geschwindigkeit folgendermassen genannt (englischer Begriff in Klammern): Kolk (pool), Schnelle (riffle), Gleitrinne (glide) und Rinner (run).

Pardé-Koeffizient: Dieser Koeffizient ist nach einem bekannten französischen Hydrologen benannt und stellt ein normierter Abflusswert (Verhältnis der mittleren monatlichen Abflüsse zum mittleren jährlichen Abfluss) dar. Er erlaubt so einen Vergleich der *Abflussregimes* unterschiedlicher *Einzugsgebiete*.

Pumpspeicherkraftwerk: Bei den Wasserkraftwerken zur Erzeugung von Strom wird zwischen Lauf- und Speicherkraftwerken unterschieden. Zahlreiche Laufkraftwerke befinden sich entlang unserer Flüsse und nutzen dort das Gefälle der Flüsse. Die Speicherkraftwerke bestehen aus einem Stausee und nutzen die Fallhöhe des Wassers zwischen dem Stausee und dem Kraftwerk weiter unten. Falls Wasser wieder zurück zum Stausee hochgepumpt werden kann, spricht man von einem Pumpspeicherkraftwerk.

Renaturierung (bzw. Revitalisierung): Die Fliessgewässer der Schweiz wurden in den letzten Jahrzehnten stark modifiziert (Begradigungen, Kanalisierungen, Eindolungen), dadurch wurde die natürliche Vielfalt an Fauna (z. B., Fische) und Flora (z. B., seltene Pflanzen) in und an den Flüssen beeinträchtigt.

Oft wurden diese Eingriffe als Hochwasserschutzmassnahmen ergriffen. Heute stellt man fest, dass sie sogar z.T. die Hochwassergefahr durch schnellere Abflüsse erhöht haben. Dort kann der Hochwasserschutz mit Renaturierungsmassnahmen kombiniert werden: Flüsse bekommen mehr Raum und können wieder mäandrieren. Ein Gewinn für den Menschen und die Natur.

Speicher: Im hydrologischen System, eine Einheit die Wasser kurzfristig (Schneedecke, Bodenfeuchte, Grundwasser) oder längerfristig (Seen, Grundwasser, Gletscher) dem Wasserkreislauf entzieht und dann wieder zurückgibt.

Suonen: Historische Bewässerungskanäle im Kanton Wallis. Diese Leitungen bringen Wasser aus den Gebirgsbächen – zum Teil auf abenteuerliche Art – auf die trockenen Weiden und Äcker, in die Weinberge oder auf die Obstplantagen. Das Wallis ist die trockenste Region der Schweiz, weshalb auch vor allem dort solche Wasserleitungen zu finden sind.

Schwall/Sunk: Durch den Turbinierbetrieb eines Wasserkraftwerkes kommt es unterhalb des Werkes zu einem künstlich erhöhten Abfluss im Fliessgewässer (Schwall). Bei geringem Strombedarf wird das Turbinieren abgeschaltet (oft in der Nacht und am Wochenende) und es kommt zu einer Niedrigwasserphase (Sunk). Diese starken Schwankungen des Abflusses stellen ein Problem für die Ökosysteme der betroffenen Fliessgewässer dar.

Trinkwasser: trinkbares, gesundheitlich unbedenkliches Wasser, welches nach Bedarf aufbereitet wird, und durch öffentliche Leitungen zu den Haushalten und Nutzern geleitet wird.

Variabilität (des Niederschlags oder des Abflusses): Der Jahresniederschlag unterscheidet sich von Jahr zu Jahr und wird deshalb meistens für eine Periode von 30 Jahren berechnet. Die Variabilität stellt den Streubereich der Jahresniederschläge innerhalb dieser Periode dar (z. B. Unterschied zwischen dem trockensten Jahr und dem Jahr mit dem meisten Niederschlag). Diese Analyse kann auch für den **Abfluss** eines **Fliessgewässers** durchgeführt werden.

Virtuelles Wasser: Nötige Wassermenge zur Herstellung von Produkten im Ausland (landwirtschaftliche Produkte, Weiterverarbeitung von Rohstoffen, usw.), die in der Schweiz konsumiert werden. Es wird zwischen **grünem, blauem und grauem Wasser** unterschieden.

Wasserbilanz: $\text{Abfluss} = \text{Niederschlag}$ minus Verdunstung minus Speicheränderung. Die Wasserbilanz-Formel stellt eine stark vereinfachte Beschreibung (Mittelwert) des hydrologischen Systems eines geschlossenen Einzugsgebietes dar.

Wasserdargebot: Der Mensch hat keinen Einfluss auf die Niederschlagsmengen der verschiedenen Regionen der Welt. Wir sind auf die Gunst der Natur angewiesen. Ein Teil vom Niederschlag verdunstet wieder, ein Teil wird zwischengespeichert (z. B. als Schnee). Der Rest bleibt als Wasserdargebot übrig, fliesst in Bächen und Flüssen und speist das Grundwasser und die Seen.

Wassernutzung: hauptsächlich Wassermengen, welche von der Wasserkraft oder zur Abkühlung genutzt und wieder sauber an die Umwelt zurückgegeben werden.

Wasserressourcen: Wassermenge, welche nachhaltig genutzt werden kann und zwischenzeitlich gespeichert werden kann (abfliessendes Wasser aus Regen, Schnee- und Gletscherschmelze in Bächen und Flüssen, erneuerbares Grundwasser).

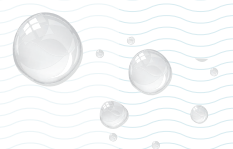
Wasserverbrauch: Darunter versteht man die Mengen (Trink-)Wasser, die durch den Verbrauch verdunsten, versickern oder verschmutzt werden (**grauem Wasser**).





Quellenverzeichnis

- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.
- BAFU 2012b: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wasserwirtschaft – Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates.
- BFE (Hrsg.) 2004: Ausbaupotential der Wasserkraft. Teil des Forschungsprogramms «Energiewirtschaftliche Grundlagen» des BFE.
- BFE (Hrsg.) 2012: Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050.
- BFE 2012b: Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz.
- CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC. Zurich: 88p. ISBN 978-3-033-03065-7.
- Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit DEZA & WWF 2012: Der Wasser-Fussabdruck der Schweiz: Ein Gesamtbild der Wasserabhängigkeit der Schweiz. In Zusammenarbeit mit IDANE Wasser.
- Ewald K.C., Klaus G. 2010: Die ausgewechselte Landschaft, Haupt Verlag.
- Freiburghaus M. 2009: Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft. Gas-Wasser-Abwasser, gwa 12/09, 1001-1009.
- Hari R.E., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H. 2006: Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology* 12: 10–26.
- Hemund, C. 2012: Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotentials in der Schweiz. Dissertation.
- Hubacher R., Schädler B. 2010: Wasserhaushalt grosser Einzugsgebiete im 20. Jahrhundert. Tafel 6.6. In: Weingartner R., Spreafico M. (Hrsg.): Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES). Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Köplin N., Schädler B., Viviroli D., Weingartner R. 2011: Klimaänderung und Wasserhaushalt in sensitiven Bilanzierungsgebieten. 43 S.
- SGHL, CHy (Hrsg.) 2011: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 38. Bern: 28 S.
- Sinreich, M., Kozel, R., Lützenkirchen, V., Matousek, F., Jeannin, P.-Y., Löw, S., Stauffer, F. 2012: Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. In: *Aqua & Gas* n°9.
- Sodemann H., Zubler E. 2010: Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995–2002. *International Journal of Climatology*, 30, 947-961.
- Spreafico, M., Weingartner, R. 2005: Hydrologie der Schweiz – Ausgewählte Aspekte und Resultate. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 7, Bern.
- van der Ent R.J., Savenije H.H.G., Schaeffli B., Steele-Dunne S.C. 2010: Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water resources research*, 46.
- Vonlanthen P., Bittner D., Hudson A.G., Young K.A., Müller R., Lundsgaard-Hansen B., Roy D., Di Piazza S., Largiader C.R., Seehausen O. 2012: Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. *Nature*. Vol. 482. 357-363.
- Weingartner R., Aschwanden H. 1992: Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.2, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.





Links

Factsheet Wasser

- Weitere Zahlen und Fakten zum Thema Wasser in der Schweiz, sowie Dokumente für den Unterricht.
<http://chy.scnatweb.ch>

Hydrologische Grundlagen und Daten vom Bundesamt für Umwelt

- Aktuelle und historische Daten für die ganze Schweiz
www.hydrodaten.admin.ch

Faktenblätter des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes

- Faktenblätter zum Thema Wasserkraft
www.svw.ch/Downloads

Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES

- Arbeitsblätter zum Thema Hydrologie für die Sekundarstufe II, Exkursionsführer «Wege durch die Wasserwelt», Zugang zu digitalen Daten als Abonnent.
www.hades.unibe.ch

E-Dossier Wasser der PHBern

- Weitere Factsheets, Arbeitsblätter, Anleitungen zu Feldmessungen, Audio- und Videomaterial, Zeitungsartikel, Karten/Pläne, Wissenschaftliche Berichte.
<http://campus.phbern.ch/bildungsmedienthemenportal/e-dossier-wasser>

DVD Wasser – Perspektive Schweiz (2005)

- Die Schweiz ist ein wasserreiches Land. Erfahren Sie, wie die Schweiz ihre Wasserreserven nutzt und welche Gefahren mit dem Wasser verbunden sein können. 17 Videos sowie Dokumente, Grafiken und Fotos erklären, weshalb die Schweiz auch das «Wasserschloss Europas» genannt wird und wie dies die Schweiz zu besonderen Anstrengungen im Gewässerschutz verpflichtet.
www.swissworld.org/dvd_rom/water_2006

Suonen im Wallis

- Gut dokumentierte Website mit Geschichte, Bildergalerie, Inventar (mit Karte) und Literaturhinweisen (auch Wanderführer für Exkursionen).
www.suone.ch

Hydroweb

- Plattform, die es erlaubt, verschiedene Einflussgrössen wie Temperatur, Niederschläge, Verdunstung oder die Topographie zu erfassen und deren Einfluss auf die Gewässer in der Schweiz zu verstehen. Zudem wird didaktisches Material für die Sekundarstufe I-II zur Verfügung stehen (kurze theoretische Einleitung für Lehrpersonen, Aufträge die z. T. mit Hydroweb zu lösen sind).
<http://lasigpc8.epfl.ch/hydroweb>

Trinkwasser

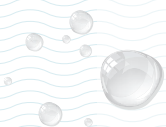
- Viel Wissenswertes über das Schweizer Trinkwasser, unter anderen Infoblätter.
www.trinkwasser.ch

Trinkwasserqualität

- Verfügbare Informationen zur Qualität des Trinkwassers in seiner Gemeinde oder bei einem Versorger online abrufen.
www.wasserqualitaet.ch

Animationen zur physischen Geographie (Schwerpunkt Hydrologie)

- Anschauliche Animationen zu verschiedenen Themen der physischen Geographie, z. B. die 5b-Wetterlage.
www.geog.fu-berlin.de/~schulthe/animationen.html
- Tipp für den Unterricht: Für die Behandlung des Themas «Wasser» auf globaler Ebene eignet sich das Buch von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (eawag) «Wem gehört das Wasser?», Lanz K. et al 2006, Lars Müller Publishers. Es enthält anschauliche Texte und Abbildungen.



Anhang 1

Wassermengen in der Schweiz

Komponente	km ³ Wasser	km ³ Wasser / Jahr
Niederschlag ^a		60
Verdunstung ^a		20
Abfluss		53
davon Zufluss (Ausland) ^a		13
davon Schneeschmelze ^b		22 (Anteil CH: 17)
davon Gletscherschmelze ^a		0,6
Speicheränderung (hauptsächlich Gletscherschmelze) ^b		< 1
Natürliche Speicher		
Seen (Anteile Schweiz) ^a	130	
Gletscher im Jahr 2012 ^b	55 ± 15	
Totales Grundwasser ^c	150	
davon Karstgebiete	120	
davon erneuerbares Grundwasser	18	
davon genutzt		1,3
Bodenwasser (für Pflanzen verfügbar) ^a	7	
Maximale Schneereserven (ca. April) ^b	7	
Wasserverbrauch (inkl. Eigenförderung) ^d		
davon Trinkwasser		1
davon gereinigt (Kläranlagen)		1,5
Gewerbe und Industrie		1,1
davon Beschneigung		0,02
Haushalte		0,5
Landwirtschaft		0,4
davon Bewässerung		0,1 – 0,2
davon Trinkwasser Nutztiere		0,05
Verluste		0,1
Öffentliche Zwecke (Brunnen, Verwaltung, ...)		0,1
Virtuelles Wasser ^e		
Wasser, das in der Produktion der Produkte steckt		
Landwirtschaftliche Produkte (Produktion und Konsum CH, inkl. Wasserverbrauch)		1,4
Landwirtschaftliche Produkte (Import)		7,4
Industrielle Produkte (Import)		5,0
Export		5,1
Energiewirtschaft		
Wasserkraft ^f		550
Stauseen ^a	4	
Durchflusskühlung KKW ^d		1,6
Kühltürme ^g		0,04

Tab. 1: Aktuelle Werte der Komponenten der Wasserbilanz, des Wasserverbrauchs und der Wassernutzung der Schweiz (a: Hubacher & Schädler 2010, b: BAFU 2012, c: Sinreich et al. 2012, d: Freiburghaus 2009, e: DEZA & WWF 2012, f: berechnet aus BFE 2012b, g: Daten der KKW-Betreiber). 1 km³ = 1 Milliarde m³. 41 km³ entsprechen rund 1 m auf die Fläche der Schweiz (41 285 km²). Am Beispiel der Speicher: Der Wasserinhalt der Schweizer Seen (130 km³, nur Anteil Schweiz) entspricht einer rund 3 m tiefen Wasserschicht verteilt auf die ganze Fläche der Schweiz oder mehr als 2 Jahren Niederschlag. Die gesamte Wasserbilanz der Schweiz ist im Anhang 4 (Abb. 14) anschaulich dargestellt.

Anhang 2

Zeitreihen von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung

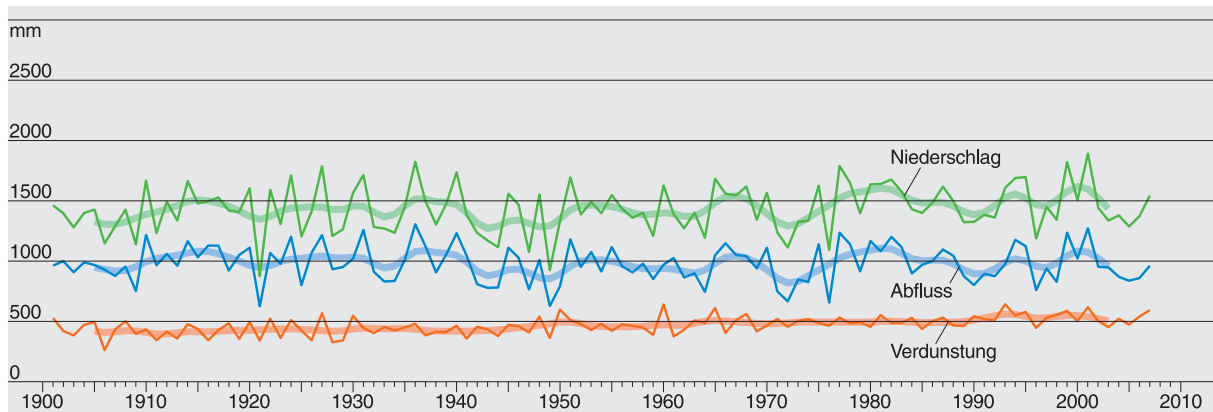


Abb. 12: Der Wasserhaushalt der Schweiz seit 1901. Sowohl der Niederschlag wie die Verdunstung haben leicht zugenommen, während der Abfluss – abgesehen von der Variabilität von Jahr zu Jahr – konstant geblieben ist.
Aus: Hubacher R., Schädler B. 2010.

Anhang 3

Wo fließt das Wasser aus der Schweiz hin

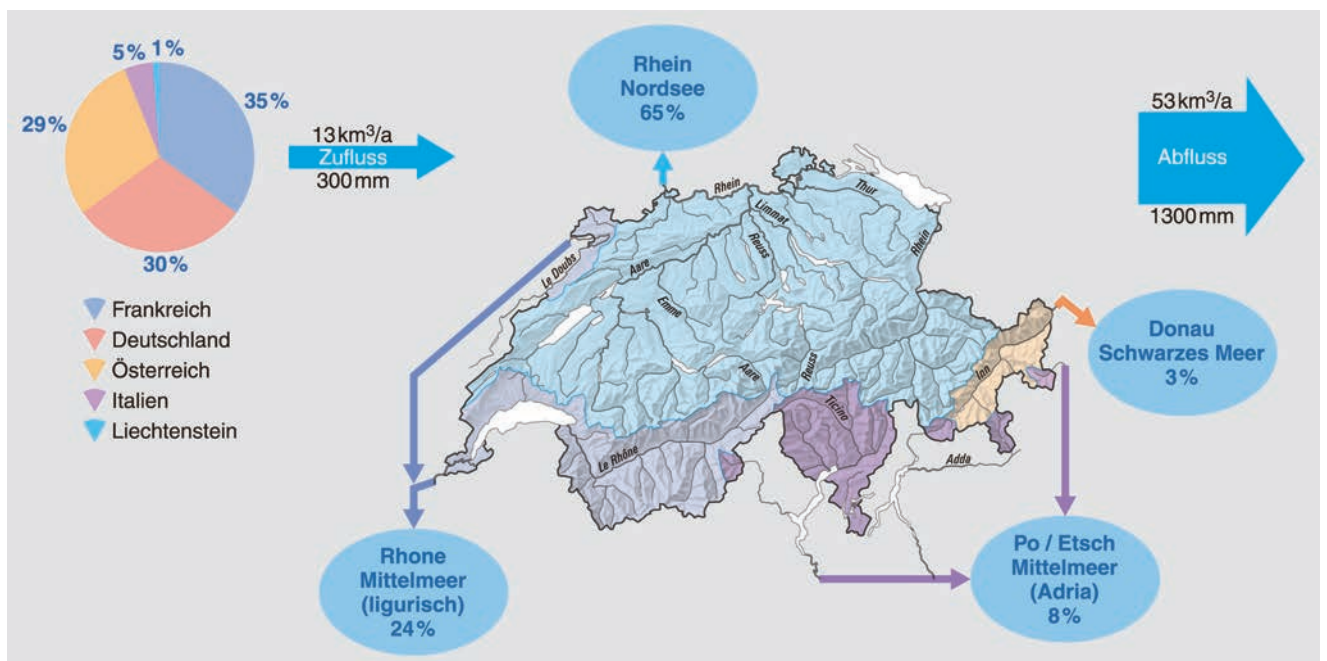


Abb. 13: Geographie der Zuflüsse (Anteile nach Land aufgeführt) und der Abflüsse (Anteile nach Meermündung) der Schweiz.

Anhang 4

Wasserbilanz der Schweiz

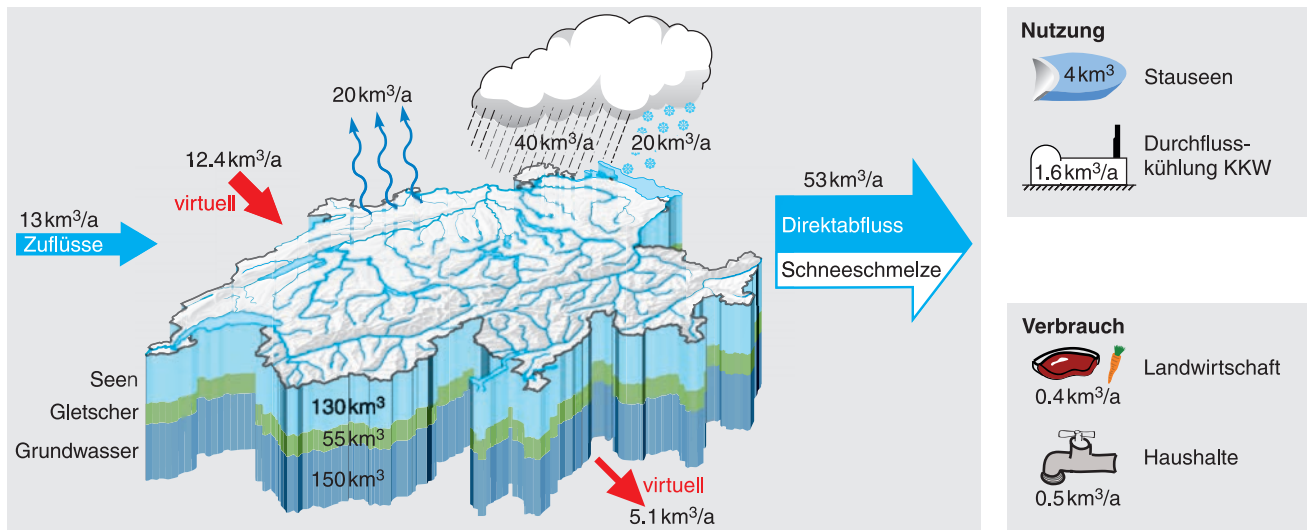


Abb. 14: Wasserbilanz der Schweiz. Abgebildet sind die Speicher, die Inputs (Niederschlag, Zuflüsse aus dem Ausland, virtuelles Wasser aus dem Import) und Outputs (Verdunstung, Abflüsse ins Ausland, virtuelles Wasser aus dem Export). Zudem sind wichtige Bereiche der Wassernutzung und des Wasserverbrauchs dargestellt. 10 km^3 entsprechen einer Wasserschicht von ca. 25 cm verteilt über die ganze Schweiz.





ISBN: 978-3-9524235-0-9