

Abflusskenngrößen für Messstationen

Zusammenfassung

Von rund 550 Messstationen stehen Abflussdaten zur Verfügung, deren Messreihenlänge in der Regel mehr als 5 Jahre beträgt. Auf dieser Basis werden bei jeder Station die wichtigsten Abflusskenngrößen zu Mittel-, Hoch- und Niedrigwasser grafisch dargestellt, und zwar einerseits bezogen auf die einzelnen Kalenderjahre und andererseits – wo vorhanden – als Mittelwert der WMO-Standardperioden sowie der Periode 1981–2010. Aufbau und Inhalt der Grafiken werden erläutert. Anwendungsbeispiele zeigen das breite Anwendungsspektrum des vorliegenden Kartenthemas.

Autoren: Rolf Weingartner¹, Alain Bühlmann¹

¹Hydrologischer Atlas der Schweiz, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

1 Einleitung

Beobachtungen des Abflusses sind grundlegend für hydrologische Fragestellungen in Forschung und Praxis. Ihr Anwendungsspektrum ist breit und reicht von hydrogeographischen Untersuchungen über die Hochwasserdimensionierung bis zur nachhaltigen Wasserbewirtschaftung. Dabei kommen verschiedene Methoden und Verfahren zur Anwendung, seien es einfache deskriptive Analysen, seien es mehr oder weniger komplexe statistische oder deterministische Modellierungen. In all diesen Fällen ist ein breiter Überblick über das Abflussverhalten sehr wichtig, um einerseits die hydrologischen Rahmenbedingungen zu verstehen und andererseits Ergebnisse von Untersuchungen und Modellierungen zu validieren. Genau hier setzt das vorliegende Kartenthema an: Für Abflussmessstationen des Bundesamts für Umwelt (BAFU, in der Kartenlegende als «Bund» bezeichnet) und der Kantone, die dem Hydrologischen Atlas Messdaten zur Verfügung stellten, werden die wichtigsten Abflusskenngrößen zu Niedrig-, Mittel- und Hochwasser für Kalenderjahre und ausgewählte Perioden dargestellt. Grafiken zum Abflussregime, zum Abfluss in ausgewählten Jahren sowie ausgewählte Dauerkurven komplettieren diese Informationen, so dass ein umfassender Einblick in das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes resultiert.

2 Daten und Methodik

Im Herbst 2019 wurden sowohl das BAFU als auch alle Kantone angefragt, dem Hydrologischen Atlas der Schweiz für die Realisierung des vorliegenden Themas ihre Abflussdaten zur Verfügung zu stellen. In der Tabelle 1 sind jene Kantone bzw. deren Fachstellen mit einem ✓ markiert, welche Abflussmessdaten liefern. Letztere liegen in unterschiedlichen Formaten vor, meist als Tagesmittelwerte, teils als 10-Minuten-Werte, teils als validierte oder unvalidierte Rohdaten. Die unterschiedlichen Datenformate wurden in ein standardisiertes Format mit mittleren Tagesabflüssen umgewandelt. In den meisten Fällen enthielten die Lieferungen auch Daten der monatlichen Maximalabflüsse, die ebenfalls standardisiert wurden. Bei Messstellen, für welche keine Monatsmaxima geliefert wurden, wurden diese Werte – falls vorhanden – aus den 10-Minuten-Werten oder den Rohdaten abgeleitet. Im Zuge der

Standardisierung wurden negative Abflusswerte, also offensichtliche Messfehler, aus den Datenreihen entfernt. Da keine weiteren Validierungen erfolgten, können Messfehler jedoch nicht ausgeschlossen werden.

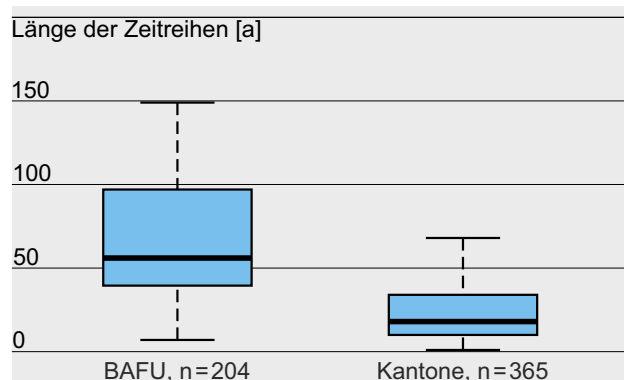
Das vorliegende Kartenthema zeigt für die Messstationen die verschiedenen Aspekte des Abflusses in graphischer Form: mittlerer jährlicher Abfluss (MQ), Abflussregime, Dauerkurve, kleinster jährlicher über sieben aufeinanderfolgende Tage gemittelter Abfluss (NM7Q) und jährliche Abflussspitzen (HQ_a). Wie bei den anderen Kenngrößen bezieht sich das NM7Q auf das Kalenderjahr und nicht wie bei der HADES-Tafel 5.11 [1] auf das sog. Niedrigwasserjahr vom 1. Mai bis 30. April. Neben den Jahreswerten sind für MQ, NM7Q und HQ_a – wo möglich – auch die Mittelwerte der WMO-Standardperioden 1901–1930, 1931–1960, 1961–1990 sowie der aktuellen Normperiode 1981–2010 [2] dargestellt. Das Abflussregime und die Dauerkurve beziehen sich sowohl auf die gesamte Messreihe als auch auf die genannten Perioden. Abflusskenngrößen werden nur dargestellt, wenn eine pro Kenngrösse definierte maximale Anzahl fehlender Werte nicht überschritten wird. So wird beispielsweise der mittlere jährliche Abfluss nur dann ausgewiesen, wenn pro Kalenderjahr weniger als 20% der Tagesmittelwerte fehlen.

3 Resultate

Insgesamt sind 565 Stationen dargestellt, 204 eidgenössische (BAFU) und 361 kantonale. Wie Abbildung 1 zeigt, sind die Messreihen der eidgenössischen Stationen mit einer medianen Länge von 56 Jahren signifikant länger als jene der kantonalen Stationen mit einer medianen Länge von 18 Jahren. Das bedeutet, dass nur sehr wenige kantonale Messstationen mehrere Standardperioden abdecken. Für jede Messstation liegen sechs Grafiken vor, welche die Abflussverhältnisse in ihrer ganzen Breite charakterisieren. Davon sind vier in Abbildung 2 dargestellt. Basieren das Abflussregime oder die Dauerkurve auf Datenreihen, welche weniger als 5 Jahre umfassen, so werden diese gepunktet gezeichnet. Sind 5 bis 15 Jahre verfügbar, wird die Linie gestrichelt und bei mehr als 15 Jahren mittels einer durchgezogenen Linie dargestellt.

Tabelle 1. Informations- und Datenquellen für die Metadaten der hydrometrischen Stationen. Von Fachstellen, die mit einem ✓ markiert sind, liegen Abflussmessreihen vor (Stand Frühling 2020).

Stationscode	Fachstelle / Informations- und Datenquelle	
CH-	Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie	✓
CHAG-	Kanton Aarau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer	✓
CHAR-	Kanton Appenzell Ausserrhoden, Departement Bau und Volkswirtschaft, Tiefbauamt	✗
CHBE-	Kanton Bern, Bau- und Verkehrsdirektion, Amt für Wasser und Abfall	✓
CHBL-	Kanton Basel-Landschaft, Tiefbauamt bzw. Amt für Umweltschutz und Energie	✓
CHFR-	Staat Freiburg, Amt für Umwelt AfU	✓
CHGE-	République et Canton de Genève, Direction générale de l'eau	✓
CHGL-	Kanton Glarus, Departement Bau und Umwelt	✓
CHGR-	Kanton Graubünden, Amt für Natur und Umwelt	✓
CHLU-	Kanton Luzern, Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement, Umwelt und Energie	✓
CHNE-	République et Canton de Neuchâtel, Département du développement territorial et de l'environnement	✓
CHSG-	Kanton St. Gallen, Amt für Wasser und Energie	✓
CHSH-	Kanton Schaffhausen, Baudepartement, Tiefbau	✓
CHSO-	Kanton Solothurn, Bau- und Justizdepartement, Amt für Umwelt	✓
CHTG-	Kanton Thurgau, Departement für Bau und Umwelt, Amt für Umwelt	✓
CHTI-	Repubblica e Cantone Ticino, Ufficio dei corsi d'acqua	✓
CHVD-	Canton de Vaud, Direction générale de l'environnement	✓
CHVS-	Canton du Valais, Service des forêts, des cours d'eau et du paysage	✗
CHZG-	Kanton Zug, Baudirektion, Amt für Umweltschutz	✓
CHZH-	Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft	✓

**Abbildung 1.** Länge der nationalen und kantonalen Zeitreihen

Stationsübergreifend ermöglichen die Abflusskenngrößen grundlegende Einblicke in die Abflussverhältnisse der Schweiz, wie die beiden folgenden Beispiele belegen: In **Abbildung 3** wird die langjährige mittlere Abflusssspende nordalpiner Einzugsgebiete – also der über die Gebietsfläche normierte Abfluss – der mittleren Gebietshöhe gegenübergestellt. Abgesehen von einzelnen Ausreißern zeigt die Grafik eine mittlere Zunahme der Abflusssspende von knapp $2 \text{ l}/(\text{s km}^2)$ pro 100 m Höhenzunahme. Alpine Einzugsgebiete (mittlere Höhe $\geq 1550 \text{ m ü.M.}$) weisen Abflusssspenden von $40 \text{ l}/(\text{s km}^2)$ und mehr auf, während die kleinsten beobachteten Spenden unter $10 \text{ l}/(\text{s km}^2)$ liegen.

Die **Abbildung 4** zeigt die grundlegenden regionalen Unterschiede bei den Hochwassern. Dargestellt ist die Streuung der mittleren jährlichen Hochwasser der nach Lage (Alpennordseite, Alpensüdseite) und mitt-

lerer Gebietshöhe differenzierten Abflussmessstationen. Zwei Aspekte sind besonders hervorzuheben:

1. Die Abflusssspende mittlerer jährlicher Hochwasser ist auf der Alpensüdseite generell höher als auf der Alpennordseite. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied in der Höhenzone unterhalb 1000 m, wo der Medianwert auf der Alpensüdseite mehr als zweimal so hoch ist wie auf der Alpennordseite. Die hohe Disposition südalpiner Einzugsgebiete für rasch ablaufenden Oberflächenabflussprozesse hängt mit den grossen Niederschlagsmengen (feuchte mediterrane Luftmassen), dem steilen Relief und dem schlecht durchlässigen kristallinen Untergrund zusammen.
2. Auf der Alpennordseite treten die grössten mittleren Hochwasserspenden vielfach im Voralpengebiet (Höhenzone 1000–1550 m) auf, begünstigt durch intensive Niederschläge (Gewitterzone), durch die Topographie und durch oftmals schlecht durchlässiges Gestein (Molasse).

4 Anwendungsbeispiele

Als erstes soll auf die interaktiven Möglichkeiten hingewiesen werden, um das Kartenthema optimal zu erschliessen: Über Filterfunktionen lassen sich Messstationen auswählen, die bestimmten Kriterien genügen. Neben der Messperiode können unter «Weitere Filter anwenden» zusätzliche Auswahlkriterien gewählt werden. So lassen sich beispielsweise alpine Einzugs-

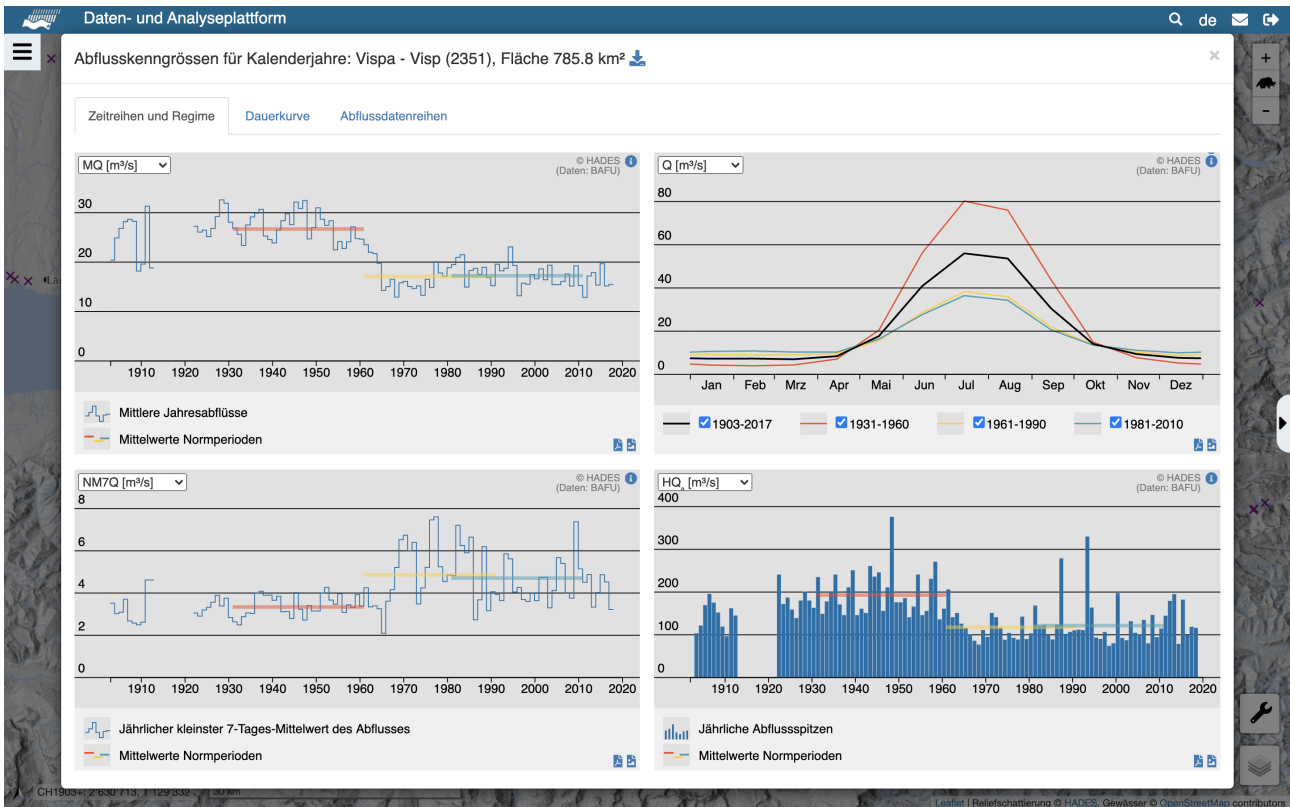


Abbildung 2. Abflusskenngrößen der Vispa–Visp

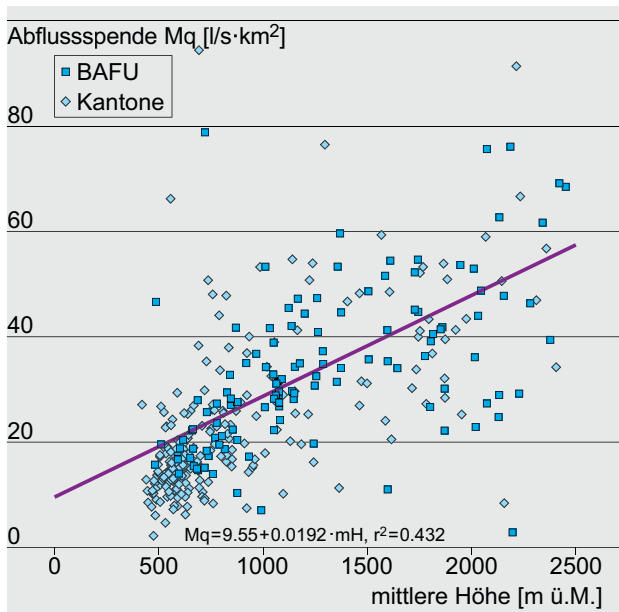


Abbildung 3. Mittlere Abflusspende gegenüber mittlerer Höhe für Einzugsgebiete der Alpennordseite (Rhein-Einzugsgebiet). Mq wird jeweils von der gesamten verfügbaren Zeitreihe abgeleitet.

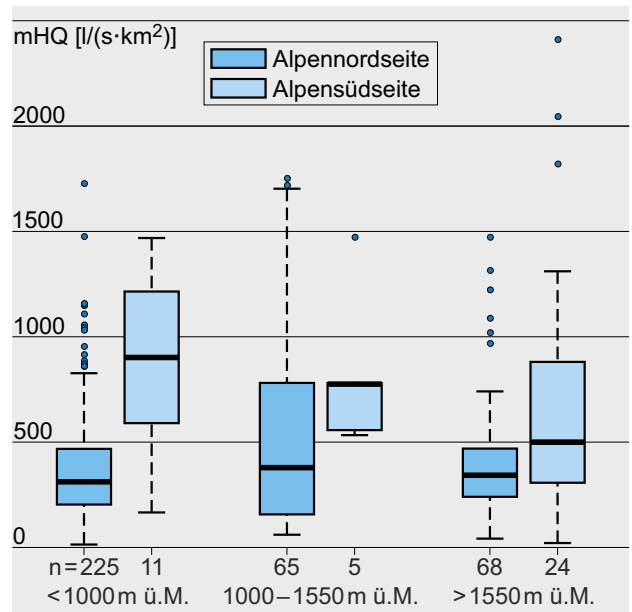


Abbildung 4. Mittlere jährliche Hochwasserspende mHQ für Gebiete der Alpennordseite (Rhein-Einzugsgebiet) und -südseite (Ticino, Adda, Adige), jeweils von der gesamten verfügbaren Zeitreihe abgeleitet

gebiete mit einer mittleren Gebietshöhe ≥ 1550 m ü.M. selektieren (vgl. [3]).

Klickt man auf der Karte eine Station an, erhält man im Popup drei Auswahlmöglichkeiten:

1. Darstellung des zugehörigen Einzugsgebiets, dessen Geometrie als shape-Datei heruntergeladen werden kann.
2. Grafische Darstellung der Abflusskenngrößen dieser Station.
3. Direkter Link zur Webseite des BAFU bzw. des betreffenden Kantons. Dort sind weitere Informationen zur Messstation und oftmals auch aktuelle Messwerte verfügbar.

Wählt man nun «Abflusskenngrößen», wird standardmässig der Reiter «Zeitreihen und Regime» mit den entsprechenden Grafiken eingeblendet. Wir fokussieren im Folgenden auf die Grafik zum mittleren Jahresabfluss (MQ): Die Dimension der Ordinate – Abflussmenge [m^3/s], Abflussspende [$\text{l}/(\text{s km}^2)$] und Abflusshöhe [mm/a] – kann wunschgemäss angepasst werden. Die «Mouse-over-Funktion» erlaubt es, die mittleren Jahresabflüsse numerisch abzufragen. Weiter kann der dargestellte Zeitachsen-Ausschnitt bei Bedarf durch Scrollen vergrössert oder verkleinert werden. Mittels der am unteren rechten Rand positionierten Symbole kann die Grafik zudem im svg- und png-Format exportiert werden.

Im Reiter «Dauerkurve» werden die Dauerkurven der verfügbaren Perioden dargestellt. Die Abszissenwerte sind als Tage oder % darstellbar. Mit der «Mouse-over-Funktion» lässt sich zum Beispiel die Abflussmenge Q_{347} abfragen, also jene Abflussmenge, welche an 347 Tagen im Jahr (95% der Tage) erreicht oder überschritten wird.

Vielfältige Einsatzmöglichkeiten erlaubt auch die Grafik im Reiter «Abflussdatenreihen». Man kann einzelne Jahre auswählen und deren mittlere tägliche Abflüsse mit den statistischen Kennwerten der gesamten Messreihe vergleichen und damit einordnen. Zusätzlichen Informationsgewinn bringt der direkte grafische Vergleich der Abflussganglinien von zwei ausgewählten Jahren, also zum Beispiel der beiden Hochwasserjahre 1999 und 2005. Wo verfügbar, ermöglicht ein Link, die entsprechende Jahrestabelle mit den numerischen Werten herunterzuladen.

Betrachten wir nun Abbildung 2 aus der Sicht der Anwendung: Die Vispa–Visp besitzt eine aussergewöhnlich lange Messreihe. Ab den 1960er Jahren ist der Einfluss der Wasserkraftnutzung auf die Abflussverhältnisse idealtypisch erkennbar: Abnahme des mittleren Abflusses (MQ) durch die Überleitung in den Lac de Dix (siehe [4]), Veränderung des Abflussregimes mit einer Abflusserhöhung im Winter und einer Abflussabnahme im Sommer durch die Stromproduktion innerhalb des Einzugsgebietes (Kraftwerke Mattmark) und Abnahme der Hochwasserspitzen, bei denen aber die grossen Hochwasser von 1987, 1993 und 2000 immer noch deutlich erkennbar sind. Die Zunahme des NM7Q nach 1960 hängt mit der Stromproduktion im

Winter zusammen, wodurch die natürlicherweise im Winter auftretenden kleinen Abflüsse signifikant erhöht werden. Diese Beeinflussung durch die Wasserkraftnutzung ist auch in der Dauerkurve an der starken Reduktion der grossen Abflüsse und der Erhöhung der kleinen Abflüsse sowie bei den jährlichen Abflussganglinien (Reiter «Abflussdatenreihen») am durch die Stromproduktion bedingten Wochenrhythmus des Abflusses erkennbar.

Dieses kurze Anwendungsbeispiel zeigt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des vorliegenden Kartenthemas auf.

5 Versionen

Tabelle 2. Versionen

Version	Beschreibung
v1.0 (2020)	Abflusskenngrößen auf Grundlage der Datenbestellung im Herbst 2019.

Literatur

- [1] Helbling, A., Kan, C. und Marti, P. (1992). Niedrigwasser – kleinste Mehrtagesmittel des Abflusses. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Hrsg. von Bundesamt für Umwelt BAFU. Bd. 1. Tafel 5.11. <https://hydrologischeratlas.ch/produkte/druckausgabe/fliessgewasser-und-seen/tafel-5-11>. Bern: Bundesamt für Landestopographie swisstopo.
- [2] Begert, M., Frei, C. und Abbt, M. (2013). *Einführung der Normperiode 1981–2010*. Fachbericht MeteoSchweiz 245. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/publikationen.subpage.html/de/data/publications/2013/9/einfuehrung-der-normperiode-1981-2010-.html>.
- [3] Weingartner, R. und Aschwanden, H. (1992). Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Hrsg. von Bundesamt für Umwelt BAFU. Bd. 1. Tafel 5.2. <https://hydrologischeratlas.ch/produkte/druckausgabe/fliessgewasser-und-seen/tafel-5-2>. Bern: Bundesamt für Landestopographie swisstopo.
- [4] Margot, A., Sigg, R., Schädler, B. und Weingartner, R. (1992). Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke ($\geq 300\text{kW}$) und Seeregulierungen. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Hrsg. von Bundesamt für Umwelt BAFU. Bd. 1. Tafel 5.3. <https://hydrologischeratlas.ch/produkte/druckausgabe/fliessgewasser-und-seen/tafel-5-3>. Bern: Bundesamt für Landestopographie swisstopo.