

Messnetzkonzept Hydrologie

Grundlagen für Betrieb und Weiterentwicklung des hydrologischen Basismessnetzes



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Messnetzkonzept Hydrologie

Grundlagen für Betrieb und Weiterentwicklung des hydrologischen Basismessnetzes

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departementes für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autorinnen

Petra Schmockler-Fackel und Fabia Hüsler, Abteilung Hydrologie
(BAFU)

Begleitung

Bund: Martin Barben, Luca Benelli, Therese Bürgi, Simon Bürki,
Jörg Hammer, Andreas Helbling, Andreas Inderwildi, Caroline Kan,
Robert Lukes, Silvia Morf, Edith Oosenbrug, Yael Schindler
Wildhaber, Florian Storck, Daniel Streit, (alle BAFU); Stephan Vogt
(MeteoSchweiz); Jan Béguin (BLW); Martin Burri (METAS)

Kantone: Serafin Bieder (AG), Severin Gassmann (AG),
Simon Jaun (BE), Eric Gasser (BL), Marc Dietz (FR),
Etienne Monbaron Jalade (GE), David Schmid (GR),
Laurant Chaignat (JU), Robert Lovas (LU), Ramon Hegglin (OW),
Marcel Schirmer (SG), Andrea Salvetti (TI), Rafael Duarte (VD),
Miriam Steinmann (ZH), Marco Walser (ZH)

Forschung und weitere: Martin Schmid (eawag);
Bettina Schaepli (Schweizerische Hydrologische Kommission
(CHy) der SCNAT); Massimiliano Zappa (WSL),
Daniel Sturzenegger (Rheinunternehmen)

Layout

Funke Lettershop AG

Titelbild

Abflussmessstation Massa – Blatten
© Esther Scheidegger, BAFU

PDF-Download

www.bafu.admin.ch > *Publikationen Wasser*

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.
Die Originalsprache ist Deutsch.

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	7.1 Datenerhebung	44
Vorwort	6	7.2 Datentransfer	47
1 Einleitung und Zielsetzung	7	7.3 Datenbearbeitung und -haltung, Qualitätsmanagement	49
		7.4 Datenanalysen und Publikation	53
		7.5 Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren	53
2 Gesetzliche Grundlagen und Aufträge	9	8 Vergleich Soll-Ist-Zustand und Identifikation bestehender Lücken	54
3 Organisation und Steuerung	11	8.1 Datenqualität	54
3.1 Messnetzverantwortlichkeiten und Koordination mit Partnern	11	8.2 Messfrequenz, zeitliche Verfügbarkeit und maximale Ausfalldauer	54
3.2 Aufgabenteilung Bund-Kantone-Dritte	11	8.3 Räumliche Abdeckung und Schlüsselstationen	55
4 Das bestehende Basismessnetz	13	9 Handlungsbedarf	60
4.1 Geschichte und Betreiber	13	Abkürzungen	62
4.2 Stationstypen und Messnetzichte	16	Literatur	63
4.3 Nomenklatur	18	Anhänge	65
4.4 Repräsentativität	19		
4.5 Standortqualität Messstationen	25		
5 Anwendungsgebiete	26		
5.1 Erhebung natürlicher Wasserressourcen und deren Veränderung	26		
5.2 Vorhersage von und Warnung vor Hochwasser	28		
5.3 Information, Vorhersage und Frühwarnung bei Trockenheit	30		
5.4 Datengrundlage zu Seen und für die Seeregulierungen	31		
5.5 Bereitstellung der Datengrundlagen für die Wasserwirtschaft, den Hochwasserschutz und die Forschung	31		
5.6 Abflussdaten als Grundlage zur Beurteilung der Gewässerqualität	34		
5.7 Überwachung der ökologischen Verträglichkeit der Nutzung (Vollzug, Gewässerschutz)	37		
5.8 Einhaltung von internationalen Verpflichtungen	38		
6 Anforderungen aus den Anwendungsgebieten	40		
6.1 Messgenauigkeit und Datenqualität	40		
6.2 Räumliche Abdeckung und Schlüsselstationen	43		
7 Datenmanagement und Datenqualität	44		

Abstracts

The monitoring network concept for water level and discharge in Swiss surface waters describes the strategic, legal and operational basis for the long-term operation and development of the basic hydrological monitoring network. It aims to ensure the nationwide standardised, high-quality and needs-based collection of basic hydrological data to meet the wide-ranging requirements of water management, natural hazard management, water protection and research. It describes the specific requirements for data quality, spatial coverage and system reliability in the various areas of application, and identifies necessary actions where these requirements are not yet met.

Das Messnetzkonzept für Wasserstand und Abfluss in Schweizer Oberflächengewässern beschreibt die strategischen, rechtlichen und operativen Grundlagen für den langfristigen Betrieb und die Weiterentwicklung des hydrologischen Basismessnetzes. Es verfolgt das Ziel, eine landesweit einheitliche, qualitativ hochwertige und bedarfsgerechte Erhebung von hydrologischen Basisdaten sicherzustellen, welche den vielfältigen Anforderungen aus Wasserwirtschaft, Naturgefahrenmanagement, Gewässerschutz und Forschung gerecht wird. Es beschreibt die spezifischen Anforderungen der verschiedenen Anwendungsgebiete an Datenqualität, räumliche Abdeckung und Systemzuverlässigkeit und identifiziert den Handlungsbedarf, wo diese heute noch nicht erfüllt werden.

La stratégie relative au réseau de mesure pour les niveaux et les débits des eaux de surface en Suisse décrit les bases stratégiques, juridiques et opérationnelles en vue de l'exploitation à long terme du réseau de mesure hydrologique de base et de son développement. Elle a pour objectif de garantir un relevé uniforme et de qualité élevée des données de base hydrologiques à l'échelle suisse, qui soit à la mesure des besoins et qui réponde aux diverses exigences de la gestion des eaux, de la gestion des dangers naturels, de la protection des eaux et de la recherche. Elle décrit les exigences spécifiques aux différents domaines d'application en matière de qualité des données, de couverture spatiale et de fiabilité du système et identifie les mesures à prendre là où ces exigences ne sont pas encore remplies.

La strategia relativa alla rete di misurazione dei livelli e delle portate delle acque superficiali in Svizzera descrive le basi strategiche, legali e operative per la gestione a lungo termine e lo sviluppo della rete di misurazione idrologica di base. L'obiettivo è di assicurare che la raccolta di dati idrologici di base a livello nazionale sia uniforme, di qualità, commisurata alle esigenze e che soddisfi i diversi requisiti della gestione delle acque e dei pericoli naturali nonché della protezione delle acque e della ricerca. La strategia descrive i requisiti specifici dei diversi ambiti di applicazione relativi alla qualità dei dati, alla copertura territoriale e all'affidabilità del sistema e identifica i casi in cui occorre intervenire perché questi non sono ancora adempiuti.

Keywords:

Surface waters, water observation, monitoring, water level, discharge

Stichwörter:

Oberflächengewässer, Gewässerbeobachtung, Monitoring, Wasserstand, Abfluss

Mots-clés:

Eaux de surface, observation des eaux, monitoring, niveau d'eau, débit

Parole chiave:

Acque superficiali, osservazione delle acque, monitoraggio, livelli delle acque, portate

Vorwort

Der Schutz und die nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen gehören zu den zentralen Aufgaben einer zukunftsorientierten Umwelt- und Ressourcenpolitik. Die Schweiz verfügt über ein dichtes Netz von Flüssen, Bächen und Seen, deren hydrologische Beobachtung eine wichtige Grundlage für zahlreiche Anwendungen in Wasserwirtschaft, Gewässerschutz, Naturgefahrenmanagement, Raumplanung und Klimaanpassung darstellt.

Das vorliegende Messnetzkonzept für Wasserstand und Abfluss in Oberflächengewässern bildet die strategische Grundlage und beschreibt die Anforderungen für den Betrieb eines leistungsfähigen, repräsentativen und zukunfts sicheren hydrologischen Messnetzes der Schweiz. Es berücksichtigt aktuelle Entwicklungen wie den Klimawandel, die zunehmende Nutzungskonkurrenz um das Wasser, sowie technologische Fortschritte in der Messtechnik und Datenverarbeitung und zeigt den künftigen Handlungsbedarf auf.

Das Konzept wurde in enger Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Umwelt, den Kantonen sowie wissenschaftlichen Institutionen erarbeitet. Es verfolgt das Ziel, die Qualität, Kontinuität und Aussagekraft der hydrologischen Grunddaten langfristig sicherzustellen – als grundlegende Basis für fundierte Entscheidungen in Politik, Verwaltung und Forschung.

Wir danken allen Beteiligten für ihren Beitrag zur Erstellung dieses Konzepts und laden die Fachwelt ein, dessen Umsetzung aktiv mitzugestalten.

Carlo Scapozza, Leiter Abteilung Hydrologie
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung und Zielsetzung

Als nationale Umweltbehörde der Schweiz hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) den gesetzlichen Auftrag zur Erhebung der hydrologischen Verhältnisse von gesamtschweizerischem Interesse. Das BAFU betreibt deshalb verschiedene Messnetze im Wasserbereich (Wassermenge und -qualität in Oberflächengewässern und Grundwasser), es koordiniert seine Messaktivitäten mit den Kantonen und berichtet in regelmässigen Abständen über den Zustand und die Entwicklung der Gewässer. Damit stellt es auch die erforderlichen Daten und Informationen für umweltpolitische Diskussionen und Entscheidungen bereit.

Die übergeordneten Ziele des Wassermonitorings in der Schweiz sind:

- Die langfristige integrale Gewässerbeobachtung (Oberflächengewässer und Grundwasser, Wasserqualität und -quantität) von gesamtschweizerischem Interesse.
- Die hydrologischen Vorhersagen und Warnungen (insb. Hoch- und Niedrigwasser).
- Die Auswertungen und Langzeitanalysen zum Wasserhaushalt der Schweiz als Grundlage für Wasserwirtschaft, Hochwasserschutz und Forschung.

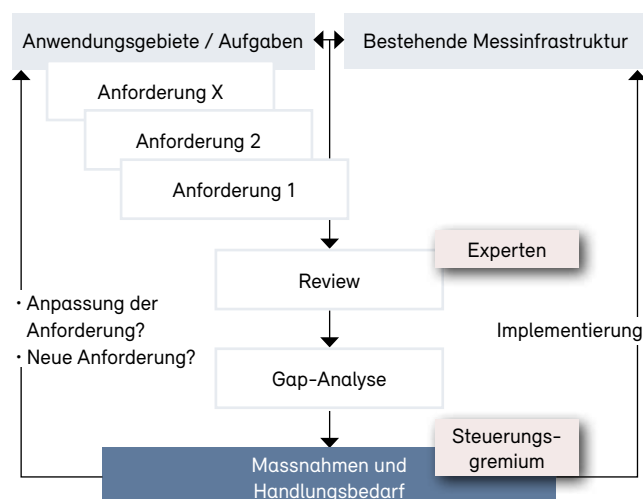
Die Schweiz hat eine grosse geographische Vielfalt und viele Gewässer, die intensiv genutzt werden. Deshalb sind eine präzise Erfassung und Überwachung von Wasserstand und Abfluss von zentraler Bedeutung. Sie spielen eine entscheidende Rolle in der nachhaltigen Wasserressourcenbewirtschaftung, erlauben eine fundierte Analyse der hydrologischen Bedingungen und tragen massgeblich zur Früherkennung und rechtzeitigen Warnung vor Hochwassergefahren bei. Zudem bilden diese Daten auch die Basis für die Interpretation und Auswertung der Erhebungen anderer Messnetze, z. B. der Wasserqualität. Deshalb wird das Messnetz zur Erhebung von Wasserstand und Abfluss auch als Basismessnetz Oberflächengewässer Quantität bezeichnet.

Das hier vorliegende Messnetzkonzept zielt darauf ab, das bestehende Basismessnetz so weiterzuentwickeln, dass hydrologische Daten in ausreichender Qualität sowie räumlicher und zeitlicher Auflösung für die verschiedenen Anwendungsbereiche erhoben werden. Dies unter Verwendung modernster Technologien und Methoden sowie eines guten Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Ebenfalls Teil des Konzeptes sind die Koordination mit anderen Bundesmessnetzen im Wasserbereich, mit den kantonalen Messnetzen und die Erfüllung internationaler Bedürfnisse.

Letztendlich soll mit dem Konzept der Betrieb eines leistungsfähigen, repräsentativen und zukunftsicheren hydrologischen Messnetzes sichergestellt werden.

Die Methodik des vorliegenden Konzepts orientiert sich in den Grundzügen an derjenigen des Rolling Review of Requirements-Prozesses der World Meteorological Organization (WMO, 2021). Abbildung 1 zeigt den Prozess exemplarisch auf. Dabei werden die Nutzerbedürfnisse ins Zentrum gestellt. Diese Bedürfnisse werden in einem ersten Schritt umfassend, systematisch und in möglichst quantitativer Weise zusammengetragen. In einem zweiten Schritt werden diese Nutzeranforderungen mit der bestehenden oder geplanten Messinfrastruktur verglichen (Review). Daraus lässt sich schliesslich in einem dritten Schritt ableiten, wo Lücken existieren (Gap-Analyse) und wo potenziell Handlungsbedarf besteht (Massnahmen und Handlungsbedarf).

Abb.1: Schematische Darstellung des Prozesses *Rolling Review of Requirements* der WMO



Dieser Prozess wird in regelmässigen zeitlichen Abständen wiederholt und wird deshalb als «rolling» (rollend) betrachtet. Dies soll jedoch nicht implizieren, dass das Messnetz kontinuierlich verändert wird. Insbesondere lange, homogene Zeitreihen sind sehr wertvoll und müssen möglichst beibehalten werden. Der Begriff soll vielmehr zum Ausdruck bringen, dass die Bedürfnisse der Nutzer bzw. der Anwendungsgebiete regelmässig überprüft werden sollen und dass das Messnetz in diesem Sinne weiterentwickelt wird. Wichtig dabei ist, dass die Anforderungen möglichst lösungsneutral formuliert werden, d. h. die Nutzer bzw. die Anwendungsgebiete sollen ihre Anforderungen definieren, ohne vorzugeben, mit welchen Massnahmen oder Instrumenten diese Anforderungen erfüllt werden können.

2 Gesetzliche Grundlagen und Aufträge

Die Aufgaben der Abteilung Hydrologie stützen sich auf ein breites Spektrum von gesetzlichen Grundlagen aus Bundesverfassung, nationalen Gesetzen und den dazugehörigen Verordnungen.

In der Organisationsverordnung UVEK (Art. 12 BAFU) werden folgende Grundaufträge des BAFU genannt: (1) Nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung, (2) Schutz vor Naturgefahren und (3) Schutz vor schädlichen Stoffen und Organismen. Als Grundlage der Ressourcenbewirtschaftung betreibt das BAFU Umweltbeobachtung und informiert über den Zustand der Umwelt und die Möglichkeiten, die natürlichen Ressourcen ausgewogen zu nutzen und zu schützen.

Daraus ergeben sich im Rahmen der Umweltbeobachtung für die Abteilung Hydrologie die folgenden Ziele:

- Nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser, insbesondere auch bei Trockenheit (Wasserwirtschaft)
- Schutz der Ressource Wasser (Gewässerschutz)
- Schutz der Bevölkerung vor Hochwasser (Hochwasserschutz)

Tab.1: Gesetzliche Grundlagen

Nationales Monitoring Oberflächen-gewässer Quantität (Wasserstand und Abfluss)	BV Art. 65 u. 76, WBG Art. 13, WBV Art. 26, GSchG Art. 57, GSchV Anh.1, WRG Art. 29, AV Art. 9.
Nationales Monitoring Oberflächen-gewässer Qualität (NAWA FRACHT, NAWA TREND, Temperatur)	GSchG Art. 57 u. 58; GSchV Anh. 1, 2, 3
Warnungen vor Hochwasser und Niedrigwasser	BevSV Art. 23
Ermittlung der Abflussmenge Q_{347}	GSchG Art. 59
Extremwertanalyse und Wasser-haushalts-Untersuchungen	GSchG Art. 57
Feststoff-Monitoring	GSchG Art. 57; GSchV, Art. 42b u. 42c
Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA	BV Art. 65, USG Art. 44; GSchG Art. 50 u. 57, GSchV Anh. 1 u. 2, LGeolV Art. 3, 5, 11, 16
Hydrogeologische Synthesen	USG Art. 44; GSchG Art. 50 u. 57, LGeolV Art. 3, 5, 11, 16; LVV Art. 23; GeolG Art. 22
Beratung und Information Hydrolo-gie Schweiz	GSchG Art. 57
Alle oben genannten Aufgaben	EMBAG Art. 9 u. 10
AV	Alarmierungsverordnung
BevSV	Bevölkerungsschutzverordnung
BV	Bundesverfassung
EMBAG	Bundesgesetz über den Einsatz elektronischer Mittel zur Erfüllung von Behördenaufgaben
GSchG/GSchV	Gewässerschutzgesetz und -verordnung
GeolG	Geoinformationsgesetz
LGeolV	Verordnung über die Landesgeologie
LVV	Landesvermessungsverordnung
USG	Umweltschutzgesetz
WBG/WBV	Wasserbaugesetz und -verordnung
WRG/WRV	Wasserrechtsgesetz und -verordnung

Neben den gesetzlichen Aufträgen auf nationaler Ebene müssen auch Aufgaben im internationalen Kontext erfüllt werden. Die Schweiz ist das Quellgebiet vieler Flüsse Mitteleuropas, weshalb die schweizerischen Wasserstands- und Abflussdaten für Unterlieger- oder Seeanrainer von grosser Bedeutung sind. Dies insbesondere für die Wasserstands- und Abflussvorhersage, die Warnung- und Alarmierung vor Hochwasser sowie für die Wasserwirtschaft (insb. für die Schifffahrt auf dem Rhein, die Energieerzeugung sowie für Trink- und Brauchwassernutzungen). Mit den Nachbarländern aber auch privaten Wassernutzern im Ausland wurden darum Staatsverträge oder Vereinbarungen abgeschlossen, die die Bereitstellung von Messdaten und Vorhersagen regeln. Im Sinne des «capacity buildings» ist die Schweiz auch aufgerufen, ihre Expertise z. B. im Rahmen von Tätigkeiten der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) weiterzugeben und Messdaten frei zur Verfügung zu stellen.

Mit dem Bundesratsbeschluss vom 18.5.2022 zum Geschäft «Zunehmende Trockenheit: Monitoring, Vorhersage, Information und Warnung» hat der Bundesrat zudem das BAFU und andere Fachstellen beauftragt, bis 2025 ein Früherkennungs- und Warnsystem für Trockenheit aufzubauen. Dieses wurde im Mai 2025 in Betrieb genommen.

Die Abteilung Hydrologie des BAFU kann sich als nationaler hydrologischer Dienst auch auf die kantonalen hydrometrischen Dienste, Forschungsanstalten und Kraftwerksgesellschaften abstützen, welche durch ihre eigene Messtätigkeit massgeblich mithelfen, das Gesamtmessnetz zu verdichten.

3 Organisation und Steuerung

3.1 Messnetzverantwortlichkeiten und Koordination mit Partnern

Ein abteilungsinternes Steuerungsgremium überprüft und priorisiert regelmässig den Handlungsbedarf und neue Bedürfnisse zur Weiterentwicklung des Basismessnetzes, initialisiert entsprechende Projekte und Massnahmen und verfolgt den Stand der Arbeiten. Dadurch wird die Koordination zwischen dem Basismessnetz Oberflächengewässer Quantität des Bundes und anderen Messnetzen/Messprogrammen im Sinne des integralen Gewässermonitorings sichergestellt werden. In Zukunft soll eine Begleitgruppe bestehend aus externen Vertretern, insbesondere aus den Kantonen und Forschungseinrichtungen, bei dieser Koordination mitwirken. Es wird geprüft, ob die «Groupe d'Hydrologie Opérationnelle de Suisse» (GHO) die Funktion der Begleitgruppe übernehmen könnte. Dies, da über die GHO heute schon die Koordination mit den Kantonen, den Forschungsanstalten und Universitäten realisiert wird.

Über die «Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes» (KHR) und die «Internationale Kommission zum Schutz des Rheins» (IKSR) erfolgt die Koordination mit den Rheinanliegerstaaten. Entsprechende Gremien im Rhonegebiet und in den südalpinen Flusseinzugsgebieten fehlen. Dort erfolgen Verhandlungen und Koordination individuell, bedarfsbezogen und bilateral.

3.2 Aufgabenteilung Bund-Kantone-Dritte

Der Bund erhebt Wasserstände und Abflüsse von gesamtschweizerischem Interesse. Er ist mit seinen diesbezüglichen Messstationen systematisch in allen Regionen der ganzen Schweiz präsent. Damit ist er jederzeit in der Lage, mit seinen eigenen Messstationen die nationale hydrologische Übersicht zu haben. Im regionalen Massstab soll ein Kanton mit einem eigenen hydrometrischen Messnetz das nationale Messnetz nach seinen Bedürfnissen ergänzen und verdichten.

Gemäss WBG Art. 14 und GSchG Art. 58 sind die Kantone dazu verpflichtet, weitere Erhebungen durchzuführen, die

für den Vollzug der genannten Gesetze erforderlich sind. Diese Erhebungen sind den Bundesstellen mitzuteilen. Im Moment sind die Kantone sehr unterschiedlich organisiert. Es gibt Kantone mit einem eigenen hydrometrischen Dienst (z. B. BE, BL, ZH, VD, SG, AG, SO, LU), Kantone, die daran sind, einen eigenen hydrometrischen Dienst aufzubauen (z. B. VS, GR), Kantone, die den hydrologischen Dienst an einen anderen Kanton ausgelagert haben (z. B. AR an SG) und solche ohne hydrometrischen Dienst (z. B. AI, BS).

Die Kantone sind auf die Informationen aus dem nationalen hydrometrischen Messnetz angewiesen. So benötigt beispielsweise der Kanton Bern die Bundesmessstellen für die Regulierung der Alpen- und Jura- und Seen. Umgekehrt liefern die Kantone wertvolle aktuelle Daten an das BAFU, welche für die Vorhersagen und Warnungen, insbesondere vor Hochwasser, sehr wichtig sind und die Vorhersagegüte entscheidend verbessern. Die gegenseitigen Datenlieferungen werden im Rahmen von Datenlieferungsvereinbarungen zwischen dem BAFU und den Kantonen geregelt. Sie beinhalten sowohl die Anforderungen an die Daten selbst, Spezifikationen über den Datentransfer, als auch die Rechte zur Datenweitergabe und -publikation. Zum Teil nutzen die Kantone die Bundesmessinfrastruktur für eigene Messungen oder haben in der Vergangenheit Stationen des Bundes in ihr kantonales Messnetz übernommen, wenn der Bund diese Stationen aufgehoben hat. In Einzelfällen nutzen auch Kraftwerksgesellschaften die Messinfrastruktur des BAFU für eigene Messungen (z. B. Inn – Martina, Sclamischoth).

Forschungsinstitutionen, Kraftwerksgesellschaften und andere betreiben oder haben in der Vergangenheit eigene Abflussmessnetze oder einzelne Messstationen betrieben. Die Forschung misst meist im Rahmen von kurzfristigen wissenschaftlichen Untersuchungen z. B. zu Abflussbildungs- oder Geschiebeprozessen. Allerdings gibt es auch einige Gebiete, in denen zu Forschungszwecken seit Jahrzehnten der Abfluss und andere Parameter gemessen werden (z. B. Forschungsgebiete der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) im Alpthal). Zum Teil wurden in der Vergangenheit auch Forschungsgebiete ins Basismessnetz übernommen

(z. B. Rotenbach, Schwändlibach, Sperbelgraben, Rappen-graben und Melera von der WSL sowie Rietholzbach von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich [ETHZ]).

Kraftwerksgesellschaften messen praktisch immer den Wasserstand in den für die Energieproduktion genutzten Stauseen oder Seen. Sie sind dazu verpflichtet, Füllstände grösserer Speicherbecken im Wochenrhythmus dem Bundesamt für Energie (BFE) mitzuteilen, damit dieses die nationalen Energiereserven quantifizieren kann. Zudem bestimmen sie häufig auch die Zu- und Abflüsse zu/von ihren Anlagen oder Stauseen, sei es durch klassische Hydrometrie, durch hydraulische Berechnungen, aber auch durch Umrechnung von Turbinenleistungen. Diese Daten müssen gemäss Stromversorgungsgesetz Art. 8c der ElCom, dem BFE, der nationalen Netzgesellschaft, der Organisation der wirtschaftlichen Landesversorgung und weiteren Bundesstellen im für deren Aufgabenerfüllung notwendigen Umfang zur Verfügung gestellt werden. Allerdings unterliegen diese Daten dem Betriebsgeheimnis und dürfen nicht veröffentlicht werden. Deshalb können sie nur in Einzelfällen (z. B. als Nebenstationen, vgl. 4.2) für das Basismessnetz berücksichtigt werden.

Kraftwerksgesellschaften können aber im Rahmen ihrer Konzession verpflichtet sein, zusätzlich zu den Produktionsdaten auch spezifisch definierte Abflussdaten zu erheben, dies als Grundlage für die Berechnung von Wasserzinsen oder für die Einhaltung der Dotierwassermenge. Im Rahmen der Konzession kann auch festgelegt werden, wem diese Daten zur Verfügung gestellt werden müssen.

Die erste schweizerische Pegelstation soll 1780 am Genfersee in Vevey errichtet und bis 1817 betrieben worden sein (EHB, 1907). Es muss aber schon früher eine zumindest provisorisch an der Rhone in Genf betriebene Station gegeben haben. Denn im Genfer Staatsarchiv befindet sich eine «Note de la hausse et de la baisse du Rhône du 7 février 1739 au 6 février 1740» (Kasser & Schnitter, 1967). Weitere Stationen an Seen folgten, so 1806 in Genf, 1807 in Weesen, 1810 in Zürich und 1817 in Neuenburg. Gleichzeitig wurden auch Flusspegelstationen gebaut, wie 1807 an der Linth in Ziegelbrücke und 1808 am Rhein in Basel (Landeshydrologie Hrsg., 1988). Dabei wurde der Pegel von Basel auf Veranlassung von Johann Gottfried Tulla (1770–1828) im Hinblick auf die von ihm projektierte Oberrheinkorrektion gesetzt (Vischer, 2000) und täglich abgelesen, was damals noch keine Selbstverständlichkeit war (BWG, 2003; Ghezzi, 1926). Im 19. Jahrhundert waren vor allem der Hochwasserschutz und die grossen Flusskorrekturen Grund für die Einrichtung von hydrometrischen Stationen. Ab 1865 wurde das hydrologische Messnetz kontinuierlich und systematisch ausgebaut – mit zwei grossen Ausbauphasen 1900–1935 und 1960–1990 (Abb. 2 und Abb. 3). Bei der ersten Ausbauphase standen weiterhin der Hochwasserschutz sowie neu auch die Wasserkraftnutzung und untergeordnet auch die Schifffahrt im Fokus. Neben Stationen an den grossen Flüssen

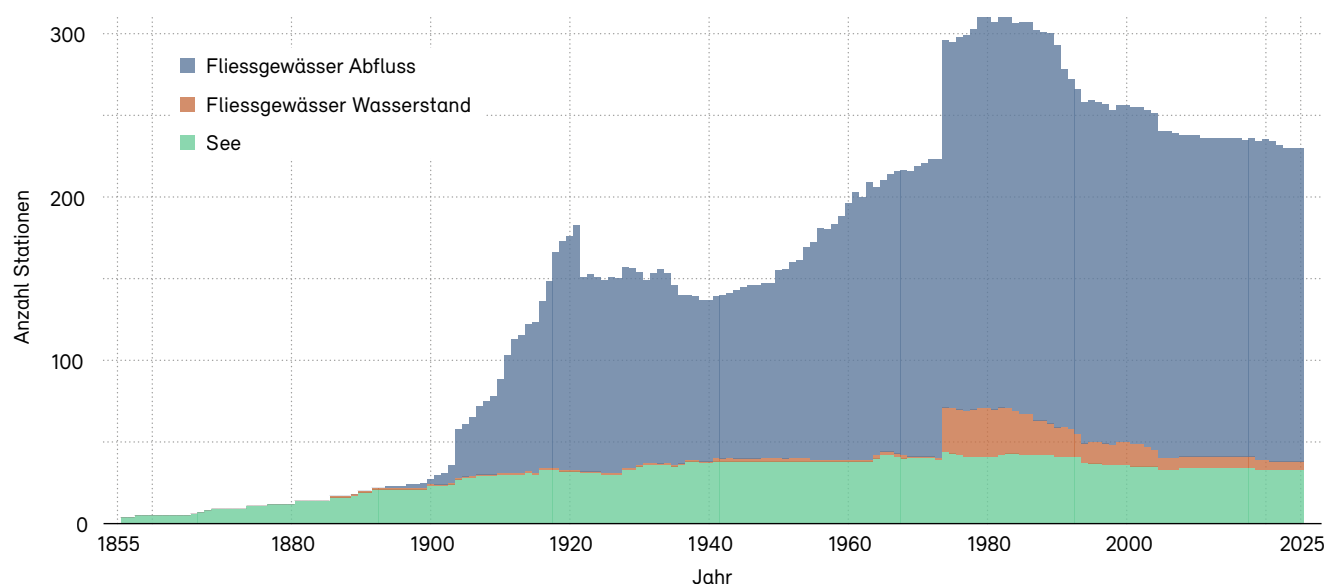
und Seen wurden damals auch sehr viele Stationen im Alpenraum gebaut, die z. T. nur für wenige Jahre in Betrieb waren. Sie dienten zur Abschätzung des Wasserkraftpotenzials und zur Ermittlung von Bemessungswerten für den Bau von Wasserkraftanlagen. In der zweiten Ausbauphase ab 1960 waren Hochwasserschutz und Wasserkraft weiterhin wichtige Treiber für den Stationsbau, aber auch andere Anwendungsgebiete wie Wasserhaushaltsbetrachtungen und hydrologische Forschung wurden wichtiger. Gewässerschutzaspekte und auch der Klimawandel haben bei der Planung des Basismessnetzes bis in die 1990er-Jahre hinein kaum eine Rolle gespielt.

Am Rhein in Basel wird seit 1808 der Wasserstand beobachtet und der Abfluss bestimmt. Tägliche Abflussdaten sind ab 1869 verfügbar. Die Messstation Rhein – Basel, Schifflande ist damit die älteste Abflussmessstation im Basismessnetz. 1995 wurde sie durch die Station Basel – Rheinhalle abgelöst, die Abflusszeitreihe kann aber zusammengesetzt werden. Die längste digitale Datenreihe liegt für die Station Murtensee – Murten vor (ab 1.1.1858).

1957 wurde mit der Errichtung eines Netzes von hydrologischen Untersuchungsgebieten (HUG) begonnen, welches heute 41 Einzugsgebiete umfasst. Dabei stand das Ziel im Vordergrund, mit Langzeitmessungen die natürlichen

Abb. 2: Anzahl in Betrieb stehender Stationen pro Jahr mit digitalen Daten

Auch inzwischen aufgehobene Stationen sind dargestellt.



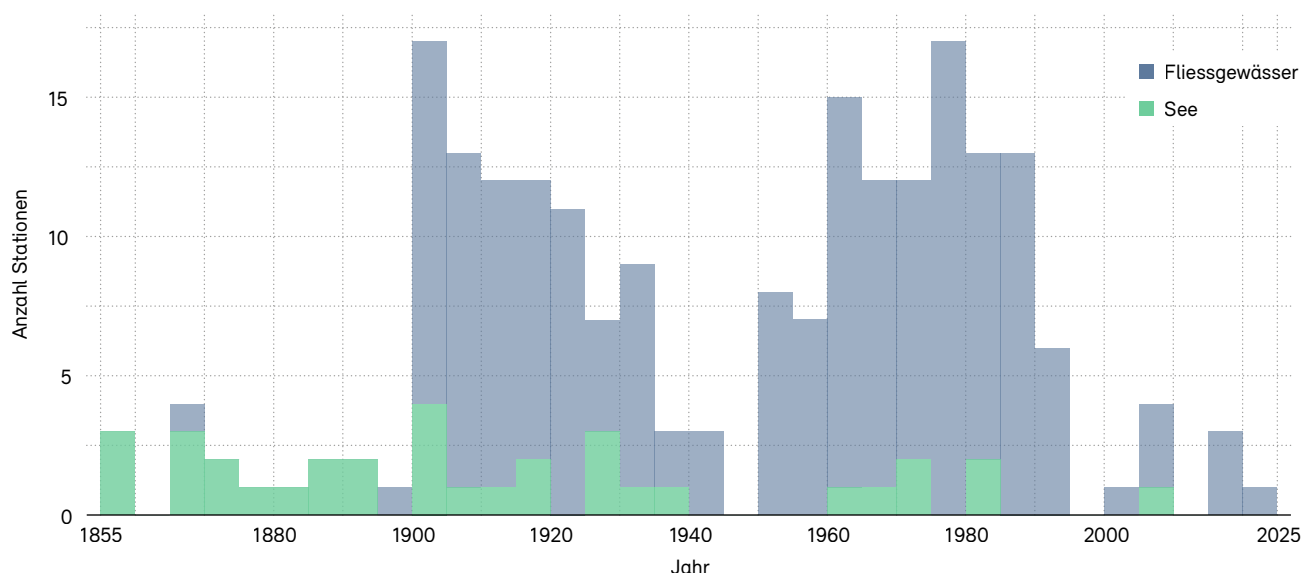
Veränderungen im Wasserkreislauf erfassen zu können. Die HUG müssen deshalb möglichst anthropogen unbeeinflusste Abflussverhältnisse haben.

Ab 1984 wurde ein Hochwassergrenzwertpegel-Messnetz aufgebaut, mit dem Ziel, mehr Informationen über Hochwasserspitzenabflüsse zu sammeln. Rund 115 Messstandorte waren mit Grenzwertpegeln ausgerüstet, an welchen nur wenige Male pro Jahr der zwischen den Ablesungen aufgetretene Höchstwasserstand festgehalten wurde. Einzelne dieser Stationen waren zusätzlich mit einem Hochwasserlimnigraphen ausgerüstet. Mit Hilfe von geeigneten Verfahren (z. B. hydraulischen Berechnungen) sollte der entsprechende Spitzenabfluss bestimmt werden. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass die Bestimmung des Spitzenabflusses schwierig bis unmöglich und sehr aufwändig war. Das Messnetz wurde darum 2005 aufgehoben.

Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts wurde das Eidgenössische Messnetz durch weitere Messnetze ergänzt. So richteten immer mehr Kantone eigene Messstationen ein. Während sich die ersten kantonalen Messstationen auf das Mittelland und die Nordwestschweiz konzentrierten, sind die Messnetze in neuerer Zeit auch in den Alpen

ausgebaut worden. Die kantonalen Stationen erfassen in erster Linie kleinere Fließgewässer (HADES-Tafel 5.12) zur Beantwortung von kantonalen Fragestellungen, insbesondere im Bereich Hochwasser- und Gewässerschutz. Es gibt auch einige Abflussmessstationen, die durch die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und verschiedene Wasserkraftgesellschaften betrieben werden.

Abb.3: Anzahl in Betrieb genommener Stationen, welche heute noch aktiv sind
In Fünfjahresschritten



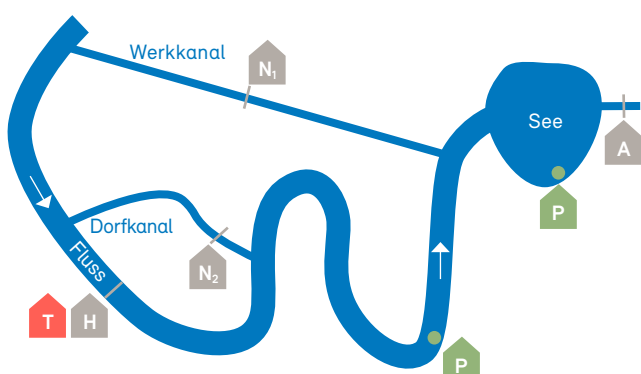
4.2 Stationstypen und Messnetzichte

Das Basismessnetz beinhaltet verschiedene Stationstypen: reguläre Abflussmessstationen im Fließgewässer und Stationen, die nur den Wasserstand messen – insbesondere an Seen. Abflussmessstationen, an denen infolge von Ableitungen nicht das gesamte Wasser aus dem Einzugsgebiet im Messquerschnitt des Hauptgerinnes erfasst wird, heissen Hauptstationen. Stationen, die die zugehörigen Ableitungen erfassen, werden Nebenstationen genannt (Abb. 4).

Das Basismessnetz umfasst 230 Messstationen an Oberflächengewässern (Tab. 3), die vom BAFU selbst betrieben werden (Stand 2023).

Mit den 230 Stationen des Basismessnetzes (Abb. 5) und Abflussdaten von externen Messnetzen (WSL und Kraftwerke) können die Abflüsse für 186 Einzugsgebiete von Fließgewässern und die Wasserstände an 26 Seen (Tab. 4; grosse Seen haben mehr als eine Station) bestimmt werden. Hinzu kommen historische Wasserstände und Abflüsse von über 850 heute aufgehobenen Stationen.

Abb.4: Schematische Darstellung der verschiedenen Stationstypen des Basismessnetzes



- T** **Totalstation:** Abflusswerte Q berechnet auf Basis von mehreren Stationen: $Q_{\text{Totalstation}} = Q_H + Q_{N1} + Q_{N2}$
- H** **Abflussmessstation:**
A = reguläre Station, H = Hauptstation, N = Nebenstation
- P** **Messung des Wasserstands, keine Abflussbestimmung**

Tab.3: Anzahl Stationen des Basismessnetzes, die vom BAFU betrieben werden

Stand 2023

Stationstyp	Gemessene Parameter	Anzahl Stationen
Reguläre Stationen: Es werden keine Zu- oder Ableitungen von Wasser ins oder aus dem Einzugsgebiet oder an der Station vorbei berücksichtigt.	Wasserstand und Abfluss	172
	Nur Abfluss	1 ¹
	Nur Wasserstand	6
Zu- oder Ableitungen (Nebenstationen) und der Abfluss im Gerinne (Hauptstation) werden gemessen und rechnerisch einer Totalstation zugeordnet.	Abfluss Hauptstationen	10
	Abfluss Nebenstationen	9 ²
Seen (26 Seen)	Wasserstand	32
Total		230

1 Für eine weitere Station (2247) wird der Abfluss aus dem Wasserstand einer Seestation berechnet.

2 Für drei weitere Nebenstationen werden von Kraftwerken Daten geliefert.

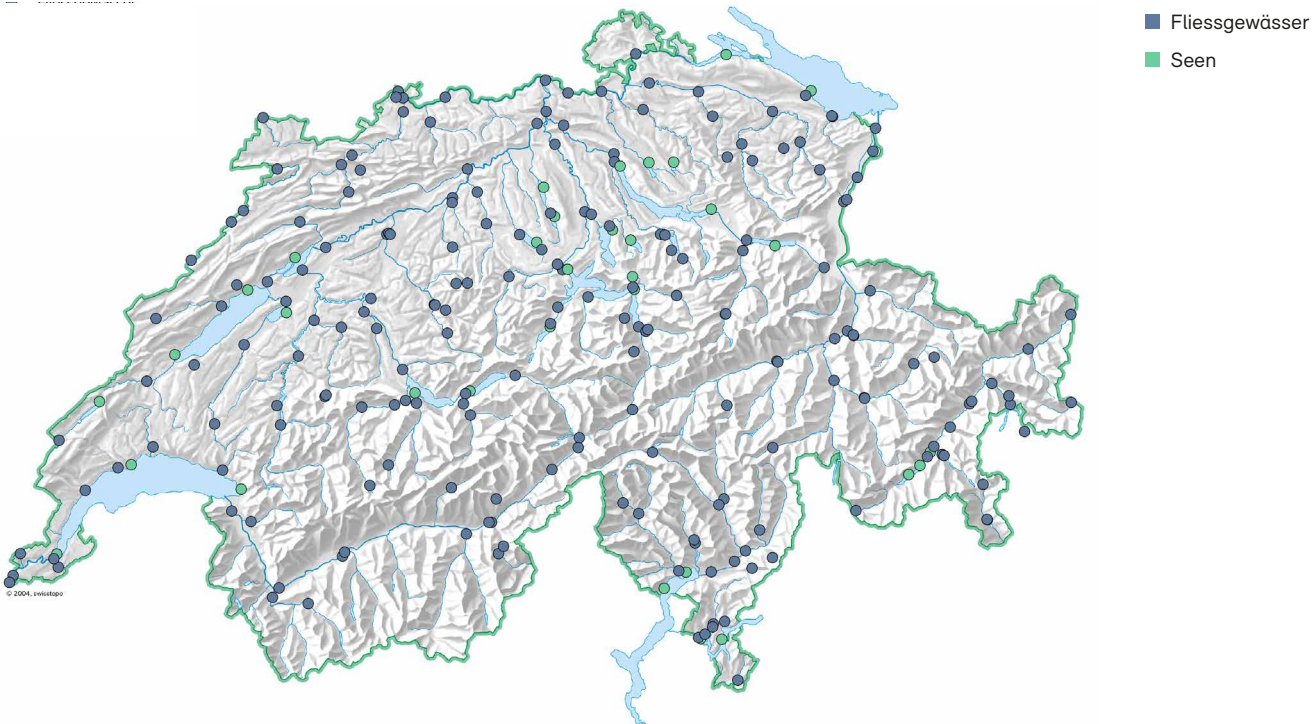
Die Stationen sind entsprechend den naturräumlichen Gegebenheiten über das ganze Land verteilt. Die 182 Abflussmessstandorte, die vom BAFU betrieben werden, ergeben bei einer Gebietsfläche der Schweiz von 41 285 km² eine Stationsdichte von einer Station pro 227 km². Dies liegt im Vergleich mit hydrologischen Messnetzen im benachbarten Ausland unter dem Schnitt (Baden-Württemberg² betreibt

2 Zum hydrologischen (quantitativen) Pegelmessnetz des Landes Baden-Württemberg zählen rund 250 Pegel, an denen kontinuierlich Wasserstände gemessen und daraus Abflüsse ermittelt werden. (Stand 2024: Pegel- und Datendienst – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg).

eine Station pro 143 km² bei einer Fläche von 35 751 km², Bayern³ eine Station pro 122 km² bei einer Fläche von 70 550 km²).

3 Das bayrische Landesmessnetz «Pegel» umfasst Stand 2024 ca. 600 Messstellen. Es ist entsprechend der Bedeutung und Funktion von Gewässer und Pegel in die Kategorien A und B eingeteilt. A-Pegel (Stützpegel) sind die wichtigsten rund 200 Pegel in Bayern. B-Pegel sind die übrigen rund 400 Pegel des Landesnetzes, deren Daten für gewässerkundliche Aufgaben benötigt werden. Davon stehen derzeit 21 Pegel an Seen und Speicherseen in Bayern (Wasserstand und Abfluss – LfU Bayern). Diese wurden bei der Berechnung der Messnetzdicke nicht berücksichtigt.

Abb.5: Die Wasserstands- und Abflussmessstationen des Basismessnetzes (Stand Juli 2022)
Für den grössten Teil der Stationen werden Online-Daten auf dem Webportal Hydrologische Daten und Vorhersagen publiziert.



Tab.4: Anzahl Messstandorte mit Wasserstands- oder Abflussmessungen des Basismessnetzes
Stand 2023

Stationstyp	Anzahl Standorte mit Messung
Stationen an Fliessgewässern mit Abflussmessung	182
Stationen an Fliessgewässern nur Wasserstandsmessung	6
Datenlieferung Abfluss von Externen (WSL)	3
Berechneter Abfluss aus Seepegel	1
Seepegelstationen (an 26 Seen)	32
Total	224

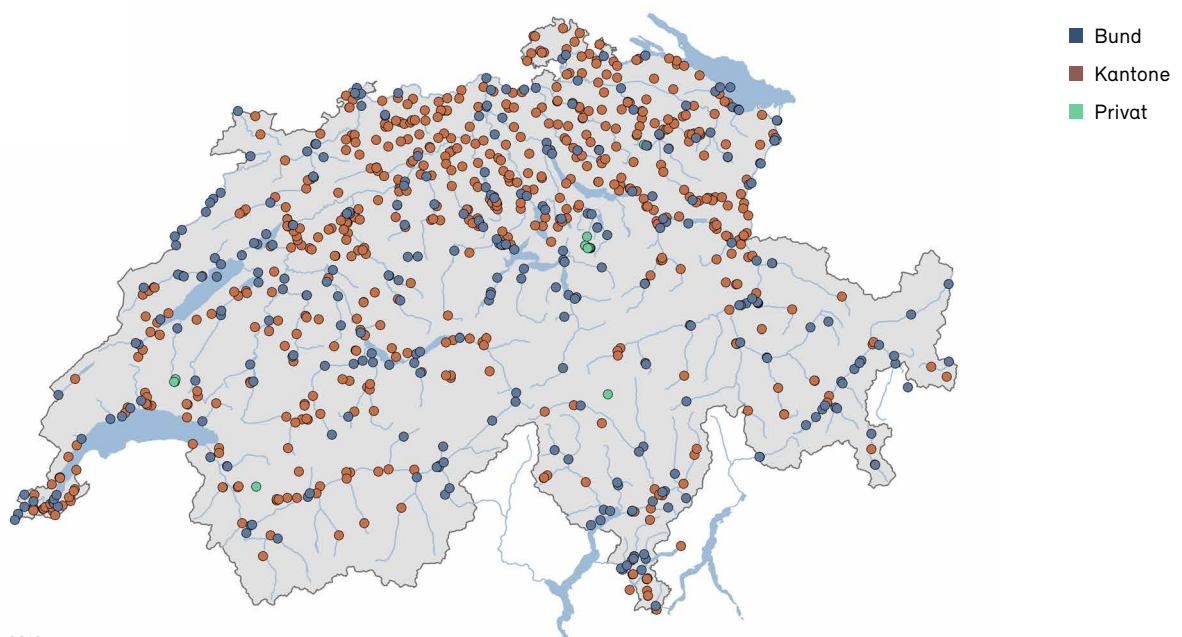
Hinzu kommen noch rund 340 kantonale Abflussmessstationen sowie 27 durch die SBB betriebene Abflussmessstationen, dadurch erhöht sich die Messnetzdicke signifikant (rund 1 Station pro 75 km²) (Abb. 6). Allerdings sind die kantonalen Stationen räumlich sehr ungleich über die Schweiz verteilt und liegen vor allem an kleinen Gewässern im Mittelland. Zudem werden nicht an allen Stationen auch Abflüsse ermittelt, sondern teilweise nur Wasserstände erhoben. Ein Teil dieser Daten werden dem Bund für die Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren GIN zur Verfügung gestellt. Weitere kantonale Daten können zur Verdichtung des Basismessnetzes, als Redundanz der Bundesmessungen sowie für die Plausibilisierung von Basismessnetzdaten sehr hilfreich sein. Die kantonalen hydrologischen Messnetze müssten gemäss GeoIV als kantonaler Geobasisdatensatz an das Koordinationsorgan für Geoinformation des Bundes GKG geliefert und über geodienste.ch zur Verfügung gestellt werden. Im Moment ist der jährliche Datenfluss aber noch nicht implementiert, weshalb keine vollständige Übersicht über die aktuellen kantonalen Messnetze vorliegt.

4.3 Nomenklatur

Die Namensgebung einer Station erfolgt gemäss folgendem Schema: Gewässername – Gemeindename, optional mit Flurnamen oder Präzisierung (Beispiel Aare – Bern, Schönaa). Der Name bleibt bestehen, auch wenn sich Gemeinde- oder Flurname im Laufe der Zeit ändern (z. B. infolge Gemeindefusionen). Jede Station hat eine «Stationssprache» entsprechend der Sprachregion, in der sie liegt, und ihr Name wird ausschliesslich in dieser Sprache in der Datenbank geführt. Auch die Jahrestabellen, Statistiken und andere stationsbezogene Publikationen werden meist nur in der Stationssprache erstellt und nicht in alle Landessprachen übersetzt.

Jede Station hat eine eindeutige vierstellige Stationsnummer, wovon die erste Stelle ein Code ist, gefolgt von einer dreistelligen Nummer. Bei allen regulären Wasserstands- und Abflussstationen sowie den Haupt- und Nebenstationen beginnt die Nummer mit Code 2. Totalstationen beginnen mit Code 0, gefolgt von der dreistelligen Nummer der Hauptstation. Vor 1965 aufgehobene Stationen beginnen mit Code 7 oder 8. Detailliertere Informationen zur Stationsnummerierung findet sich in Anhang 1.

Abb. 6: Die Wasserstands- und Abflussmessstationen an Oberflächengewässern von verschiedenen Betreibern



Quelle: Hydromaps, 2019

4.4 Repräsentativität

Um die Repräsentativität des Basismessnetzes bezüglich Typen von Gewässern in der gesamten Schweiz zu beurteilen, wurden die Einzugsgebiete der Messstellen charakterisiert und wo sinnvoll, mit den entsprechenden Daten für die ganze Schweiz verglichen. Für einige Analysen wurden nur die 141 Abflussmessstationen mit einem Einzugsgebiet von weniger als 1000 km² betrachtet, da grössere Einzugsgebiete zum Beispiel nicht mehr eindeutig einer Klimaregion oder Höhenstufe zugeordnet werden können. Im Basismessnetz sollten idealerweise alle Einzugsgebietsgrössen, Klimaregionen, Landnutzungen und Höhenlagen sowie Abflussregimetypern adäquat abgedeckt werden. Für einige Einzugsgebiete mit grösserem Auslandanteil lagen nicht alle Gebietskennwerte vor. Sie konnten deshalb für die Analyse nicht verwendet werden.

Einzugsgebietsgrösse

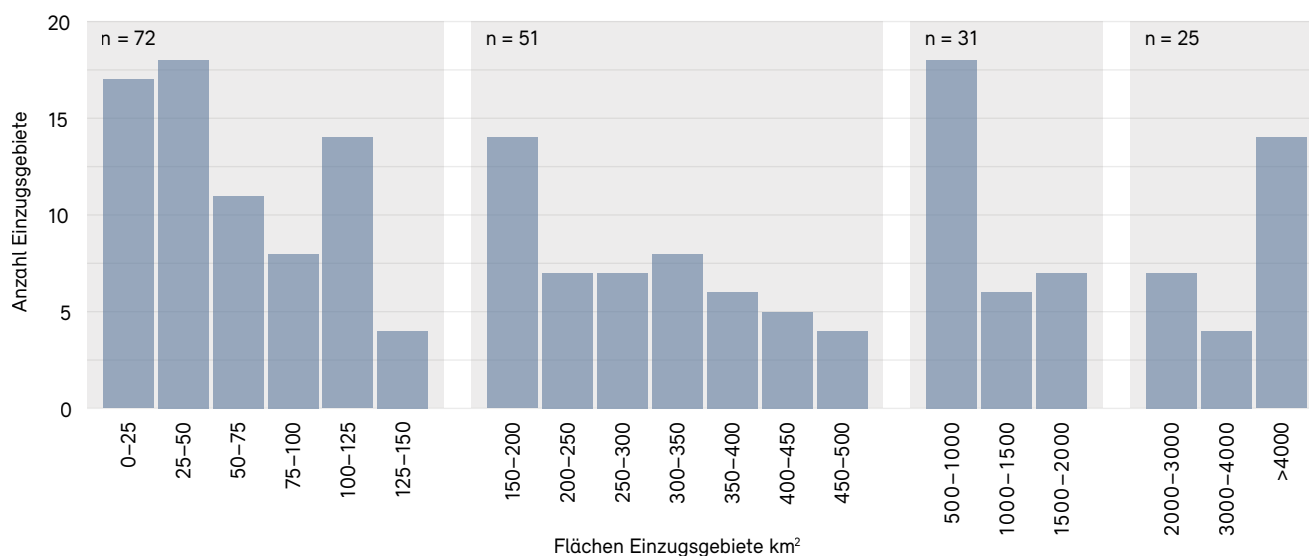
Für die zu den Messstationen gehörenden Einzugsgebiete wurde die Einzugsgebietsfläche von der Topografie abgeleitet, ohne hydrogeologische Phänomene (unterirdische Wasserscheiden, Karst etc.) oder technische Bauwerke (Überleitungen, Siedlungsentwässerung etc.) zu berücksichtigen. Aus diesem Grund können die reellen von den

ausgewiesenen Einzugsgebietsgrenzen abweichen. Dies ist insbesondere in den Karstgebieten im Jura und in den Alpen der Fall. Je nach jeweils verwendeter topografischer Grundlage (Karten, digitale Geländemodelle) veränderte sich die Einzugsgebietsgrösse über die Zeit hinweg leicht. Diese unterschiedlichen Einzugsgebietsgrössen sind als Metadaten in der Datenbank historisiert gespeichert. Es gibt einige wenige Stationen, für die kein oberirdisches Einzugsgebiet bestimmt wurde oder werden kann (alle Nebenstationen und zwei Stationen an Ableitungen).

Praktisch der gesamte Abfluss, der die Schweiz verlässt, wird durch das Basismessnetz erfasst. Auch erlauben die 25 Stationen mit einem Einzugsgebiet grösser als 2000 km² eine Abdeckung aller grossen Flussgebiete in der Schweiz. Die Einzugsgebietsgrössen des Basismessnetzstationen reichen von 0,56 km² (Station Sperbelgraben – Wasen, Kurzeneialp) bis rund 36 000 km² für die Stationen am Rhein in Basel. Dazwischen sind alle Einzugsgebietsgrössen gut abgedeckt (Abb. 7). Der Median der Einzugsgebietsflächen der Gebiete des Basismessnetzes liegt bei 216 km² (Stand 2024) und ist damit deutlich grösser als der Median der kantonalen Stationen von 26 km² (Stand 1999, HADES-Tafel 5.12).

Abb. 7: Flächen der Einzugsgebiete der Abflussmessstationen des Bundes

Die Klassenbreite variiert in den vier Teilgrafiken.



Höhenverteilung

Die Einzugsgebiete des Basismessnetzes repräsentieren alle Höhenlagen gut, mit Ausnahme der tief gelegenen Gebiete unterhalb von 600 m ü. M. (Abb. 8). Da viele Fließgewässer in Alpen, Voralpen oder Jura entspringen, ist die mittlere Höhe bei vielen mittleren und grösseren Einzugsgebieten höher als 600 m ü. M. Insbesondere kleinere Gebiete in tiefen Lagen sind im Messnetz untervertreten. Stationen im Bereich zwischen 2000 und 2500 m ü. M. sind dagegen übervertreten. Die Station mit der tiefsten mittleren Einzugsgebietshöhe ist die Station Aach–Salm-sach mit 467 m ü. M., die mit der höchsten die Station Massa-Blatten bei Naters mit 2945 m ü. M.

Abflussregime

Abbildung 9 zeigt die Abflussregimetypen der Stationen, die eindeutig einem Typ zugeordnet werden können. Es sind alle 16 in der Schweiz vorkommenden Abflussregimetypen, mit Ausnahme des Typs «pluvial méridional», ausreichend repräsentiert. Dieser Regimetyp tritt nur an sehr wenigen Südtessiner Gewässern auf (HADES Tafel 5.2), an denen es zwei kantonale Abflussmessstationen gibt (Faloppia – Chiasso und Laveggio – Mendrisio).

Klimaregionen

Die Schweiz lässt sich in zwölf klimatische Grossregionen nach Schüepp & Gensler (1980) gliedern. Die Wasserressourcen verändern sich in diesen Regionen unterschiedlich. Abbildung 10 zeigt die Zuordnung der 141 Abflussmessstationen mit Einzugsgebieten kleiner als 1000 km² zu den zwölf klimatischen Grossregionen der Schweiz. Alle Regionen sind gut im Messnetz repräsentiert. In den Regionen Alpennordhang und Alpensüdseite liegen überdurchschnittlich viele Stationen, während das Wallis, Graubünden und das Mittelland leicht untervertreten sind. Im Wallis und Graubünden sind die Abflüsse vieler Fließgewässer infolge der Wasserkraftnutzung stark beeinflusst. Stark beeinflusste Fließgewässer eignen sich für viele Anwendungsgebiete nicht als Messstandorte. Viele Abflussmessstationen wurden deshalb nach einem Kraftwerkbau ausser Betrieb genommen. Viele Messstationen mit grossem Einzugsgebiet liegen im Mittelland. Sie sind nicht in der Grafik dargestellt, da sie nicht nur einer Klimaregion zugeordnet werden können. Kleinere Gebiete im Mittelland sind im Messnetz aber untervertreten.

Abb.8: Gegenüberstellung der Flächenanteile der Höhenstufen der Schweiz mit den Einzugsgebieten kleiner als 1000 km² des Basismessnetzes
Dargestellt als Punkte sind sowohl die Höhe der Messstationen als auch die mittlere Einzugsgebietshöhe.

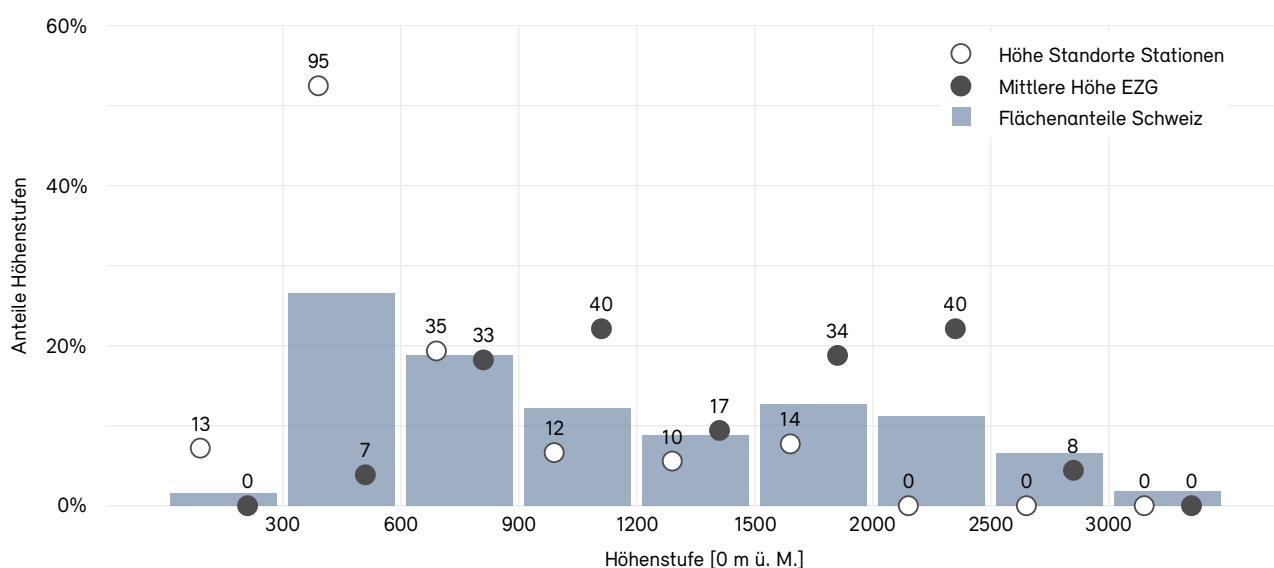
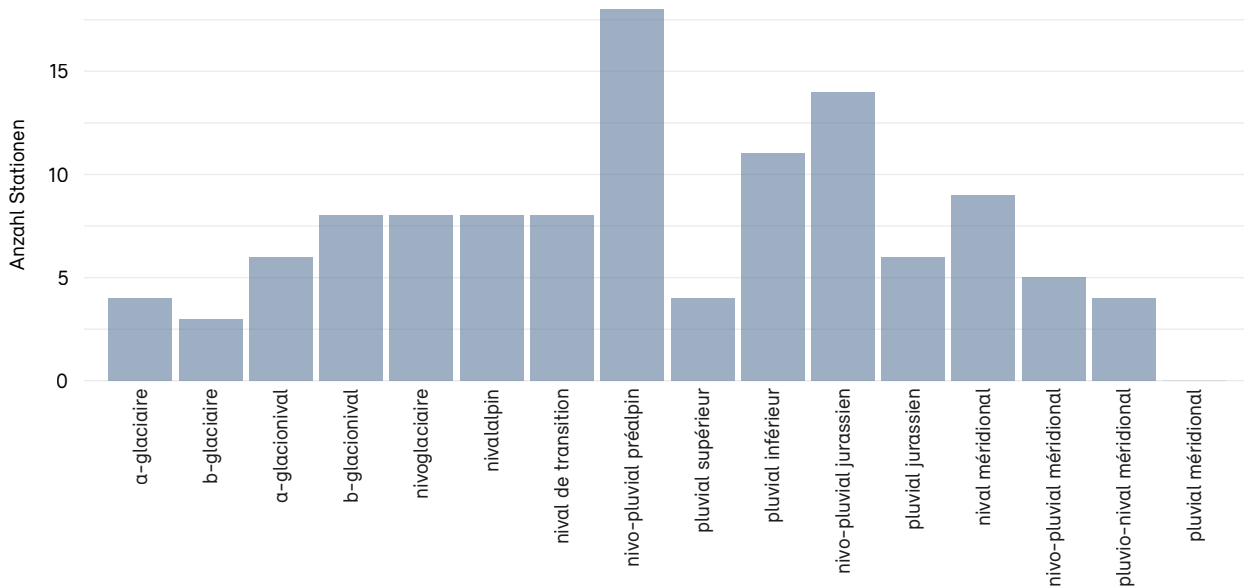
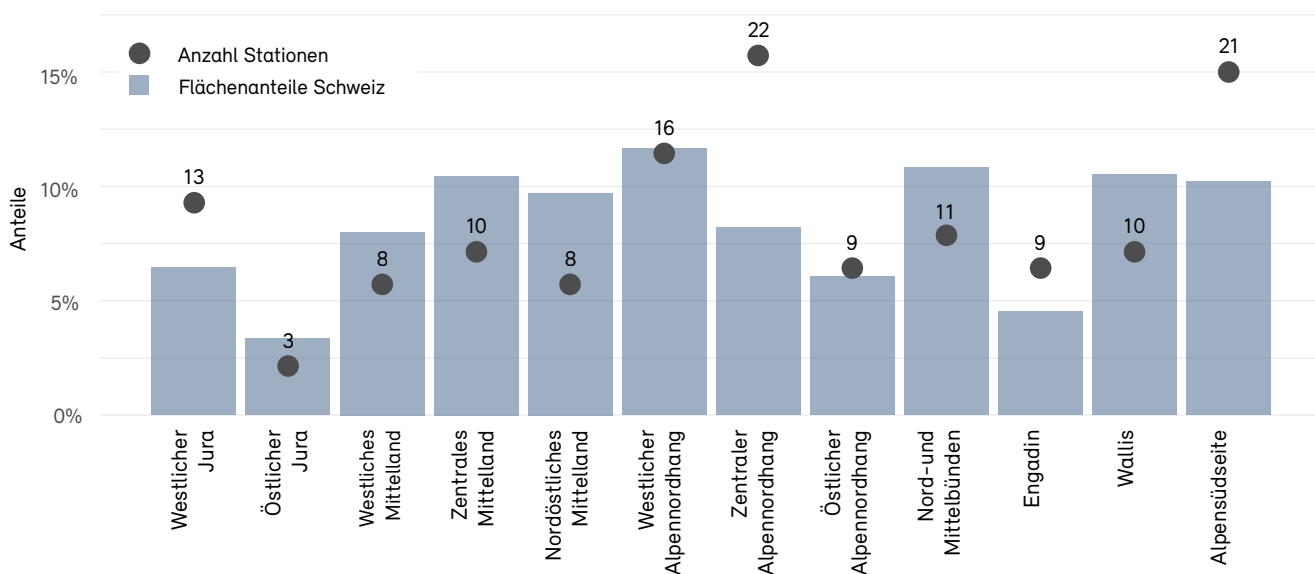


Abb.9: Anzahl der Abflussmessstationen pro Regimetyp

65 Stationen mit Mischregimen, oder nicht eindeutig bestimmbar Regimetyp werden nicht dargestellt.

**Abb.10: Flächenanteile der Klimaregionen in der Schweiz**

Flächenanteile der Klimaregionen in der Schweiz sowie die Anzahl der Abflussmessstationen mit einem Einzugsgebiet kleiner als 1000 km², welche sich in diesen Klimaregionen befinden (n=140).



Gletscher

In etwas weniger als der Hälfte der Einzugsgebiete im Basismessnetz gibt es Gletscher. In 20 Einzugsgebieten liegt der Gletscheranteil bei über 10 %. Den höchsten Gletscheranteil haben die Einzugsgebiete der Stationen Massa – Blatten bei Naters (Abb. 11) mit rund 56 % und Rhone – Gletsch mit 41 % (Stand 2016). Mit diesen beiden Stationen können die Abflüsse von Grosse Aletschgletscher und Rhonegletscher gut erfasst werden. Für alle anderen Schweizer Gletscher liegen keine vergleichbaren Abflussinformationen aus dem Basismessnetz vor, da die Abflussmessstationen weiter vom Gletscher entfernt liegen.

Landnutzung

Für die hydrologische Schweiz⁴ sowie für die Einzugsgebiete kleiner 1000 km² wurde der Flächenanteil der Landnutzungstypen «bebaute Fläche», «Wasser- und Feuchtflächen», «Landwirtschaft» sowie «Wälder und naturnahe Flächen» mit dem CORINE Land Cover-Datensatz⁵ bestimmt und verglichen (Abb. 12). Die Basismessnetzgebiete haben einen etwas höheren Anteil an Wald und naturnahen Flächen als die hydrologische Schweiz, während bebaute Fläche und Landwirtschaftsland etwas untervertreten sind.

4 Als «Hydrologische Schweiz» wird das gesamte Gebiet bezeichnet, welches ins Schweizer Staatsgebiet entwässert. Dieses umfasst die ganze Schweiz, das Fürstentum Liechtenstein und weitere benachbarte Gebiete in Frankreich, Deutschland, Österreich und Italien."

5 CORINE Land Cover 2018. European Union's Copernicus Land Monitoring Service information DOI: 10.2909/960998c1-1870-4e82-8051-6485205ebbac

Abb. 11: Station Massa-Blatten

Aufgrund ihrer hochalpinen Lage ist die Abflussmessung technisch sehr aufwendig.



Bild: BAFU

Beim Betrachten der Flächenverteilung in den einzelnen Einzugsgebieten fällt jedoch auf, dass es wenige Gebiete mit einem hohen Landwirtschaftsanteil gibt und stark urbane Gebiete völlig fehlen (Abb. 13).

Anthropogene Beeinflussung

Mit der Methode HydCheck (Steeb et al., 2024) wurde ein automatisiertes Screening-Tool entwickelt, um an einem beliebigen Standort entlang Schweizer Fließgewässer die anthropogene Beeinflussung des Abflusses beurteilen zu können. Es wird der Grad der Beeinflussung durch sieben Beurteilungskategorien (Wasserspeicherung/Regulierung,

Wasserkraft, Abwasser, Bauwerke, Landwirtschaft, Trink-/ Brauchwasser, Grundwasser) evaluiert. Des Weiteren wird mithilfe eines Ampelsystems die Art und das Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung bewertet und anhand von fünf hydrologischen Kenngrößen dargestellt: Niedrigwasserregime, Mittelwasserregime, Hochwasserregime, Kurzzeiteffekte (Schwall/Sunk) sowie Hydraulik: Die Hydraulik wird hier nicht weiter betrachtet, da sie für die Abflussmenge keine Rolle spielt. Die Resultate dienen als Indikator für die mögliche Beeinflussung des Abflusses am Untersuchungsstandort und geben Hinweise, wo aus hydrologischer Sicht ein ökologisches Defizit vorhanden

Abb.12: Flächenanteile der Landnutzungskategorien

Gemäss CORINE Land Cover 2018 der hydrologischen Schweiz und der Einzugsgebiete der hydrologischen Messstationen kleiner 1000 km²

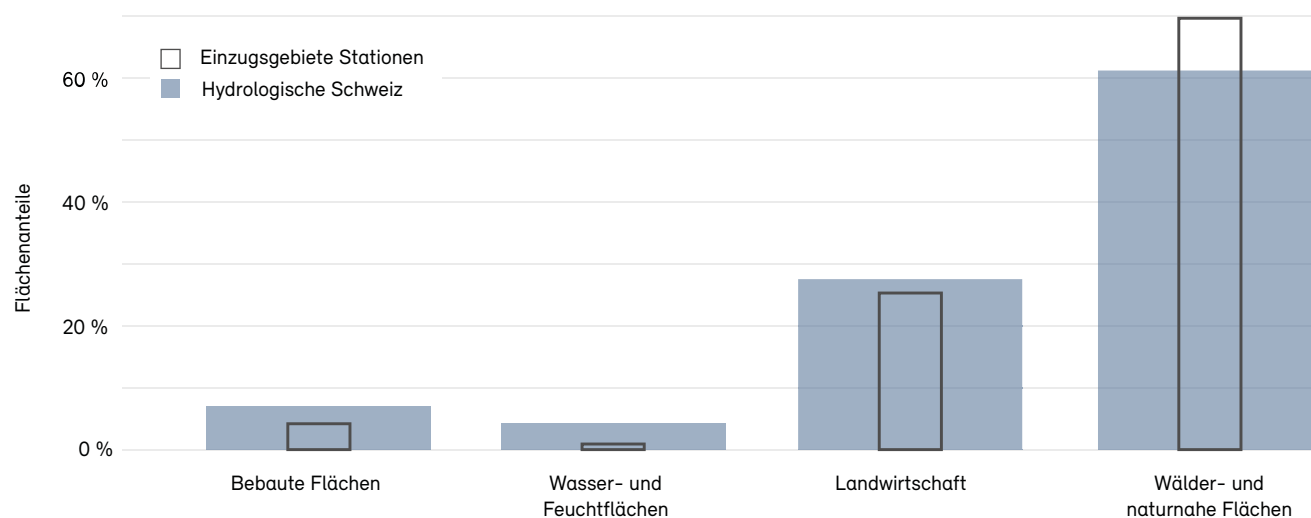
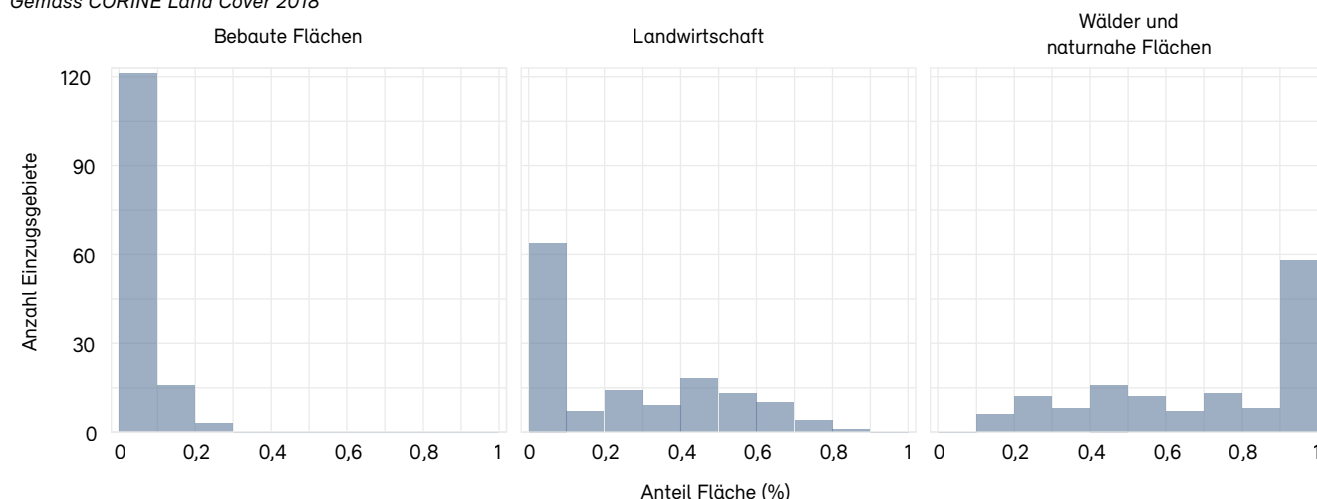


Abb.13: Histogramme mit prozentualen Flächenanteilen der Einzugsgebiete der Abflussmessstationen pro Landnutzungskategorie

Gemäss CORINE Land Cover 2018



sein könnte. Gebiete mit einem Auslandsanteil von mehr als 30 % können mit dieser Methode nicht bewertet werden.

Die Gewässer in der Schweiz werden stark wasserwirtschaftlich genutzt. Deshalb ist auch die anthropogene Beeinflussung der Abflüsse hoch. So sind rund 63 % der 157 untersuchten Messstellen des Basismessnetzes über alle Abflussbereiche hinweg mittel bis stark anthropogen beeinflusst und rund 20 % der Messstellen erfahren eine mittlere bis starke Beeinflussung durch Kurzzeiteffekte

wie Schwall/Sunk (Abb. 14). Deutlich weniger beeinflusst sind die hydrologischen Untersuchungsgebiete (HUG), für deren Auswahl möglichst anthropogen unbeeinflusste Abflüsse das Hauptkriterium sind (Abb. 15). Im HUG-Messnetz gibt es keine stark beeinflussten Gebiete. Nur im Niedrigwasserbereich zeigen auch rund 20 % der HUG eine mittlere Beeinflussung. Kurzzeiteffekte (Tagesgang im Abfluss) zeigen die Stationen Necker – Mogelsberg und Alp – Einsiedeln, in deren Einzugsgebiete sich Abwasserreinigungsanlagen befinden.

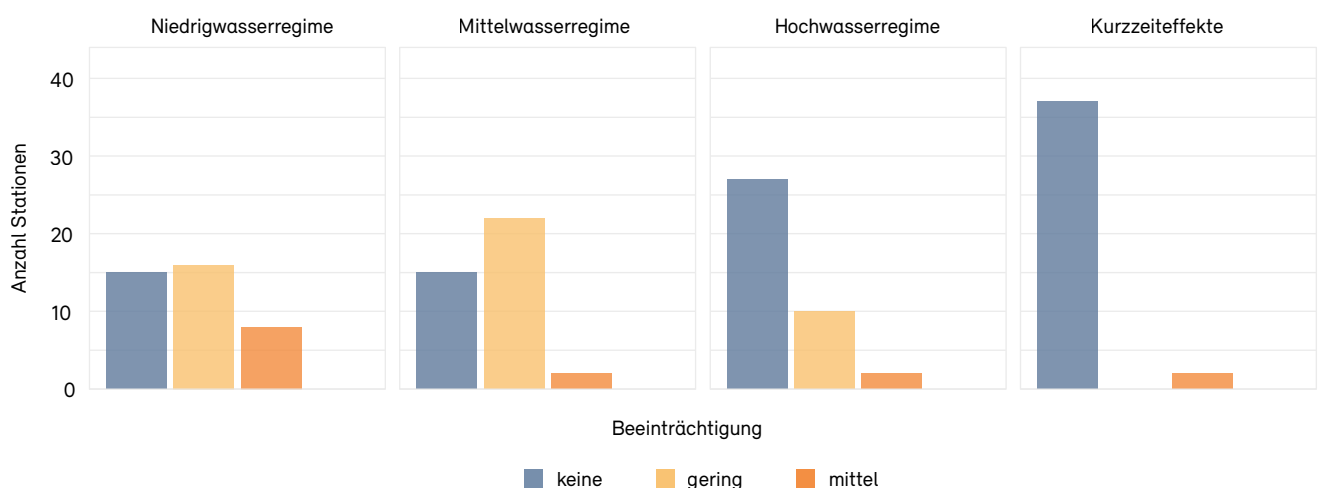
Abb. 14: Beeinflussung der hydrologischen Abflussmessstationen

Gemäss HydCheck (n=157)



Abb. 15: Beeinflussung der Messstationen der hydrologischen Untersuchungsgebiete (HUG)

Gemäss HydCheck (n=38)



Fazit Repräsentativität

Das Basismessnetz repräsentiert die hydrologischen und naturräumlichen Gegebenheiten in der Schweiz gut. Folgende Stationsstandorte sind leicht untervertreten:

- Kleine, stark landwirtschaftlich genutzte Gebiete insb. im Mittelland
- Urbane Einzugsgebiete
- Abflussstationen direkt unterhalb von (kleineren) Gletschern

Diese Untervertretung kann damit erklärt werden, dass der Fokus des Basismessnetzes bis in die 1990er-Jahre vor allem auf Hochwasserschutz, Wasserkraftnutzung und der Schifffahrt lag. Gewässerschutzaspekte und der Klimawandel wurden erst später relevant. Für diese Fragestellungen wären Daten von den unterrepräsentierten Gebieten von grossem Interesse.

4.5 Standortqualität Messstationen

Die Messgenauigkeit an einem Standort ist abhängig vom Fliessgewässer selbst (Abflussmenge, Gewässertiefe, Gewässerbreite, siehe Abb. 16), der Messstandortqualität (z. B. Stabilität Fliessquerschnitt, Geschiebetrieb, hydraulische Einflussfaktoren wie Fliesswechsel, Rückstau, Verkrautung, Vereisung, etc.) sowie dem Messbereich, also ob im Niedrigwasser- (NQ), im Mittelwasser- (MQ) oder im Hochwasserbereich (HQ) gemessen wird. Die stationsverantwortlichen Mitarbeitenden kennen die Standortqualität der von ihnen betreuten Stationen. Allerdings wurde diese bisher nicht systematisch erfasst und in der Datenbank gespeichert. Damit ist sie für die Datennutzer nicht einfach zugänglich. Es ist geplant, für alle Stationen des Basismessnetzes die Standortqualität systematisch zu erheben, in der Datenbank zu erfassen und sie somit den Datennutzern zur Verfügung zu stellen. Dies ist auch eine Voraussetzung dafür, dass eine fortlaufende Überprüfung (Rolling-review) für das Messnetz überhaupt durchgeführt werden kann. Auch Massnahmen zur Qualitätsverbesserung können so gezielter ergriffen werden.

Abb.16: Drei Stationen des Basismessnetzes mit unterschiedlichen Standorteigenschaften

Von links nach rechts Stationen Dischmabach – Davos, Schächen – Bürglen, Aare – Untersiggenthal



Bilder: Fritz Epp und BAFU

5 Anwendungsgebiete

Jede BAFU-Station kann einem oder mehreren Anwendungsgebieten zugeordnet werden. Diese Anwendungsgebiete wurden aus den in Kapitel 2 genannten gesetzlichen Aufträgen, die das Basismessnetz zu erfüllen hat, abgeleitet. So entsteht ein modular aufgebaut Messnetz: Je nach Anwendungsgebiet wird ein spezifisches Set von Stationen einbezogen. Die Bezeichnung «Anwendungsgebiete» lehnt sich an die von der WMO vorgegebene Nomenklatur «Application area» (WMO, 2021) an und bezeichnet eine spezifische Aufgabe des Messnetzes. Im Folgenden werden diese Anwendungsgebiete mit ihren spezifischen Zielen und Nutzern kurz beschrieben.

Folgende Anwendungsgebiete wurden für das Basismessnetz identifiziert:

1. Erhebung natürlicher Wasserressourcen und deren Veränderung (3.1)
2. Vorhersage von und Warnung vor Hochwasser (5.2)
3. Information, Vorhersage und Frühwarnung bei Trockenheit (5.3)
4. Datengrundlage zu Seen und für die Seeregulierungen (5.4)
5. Bereitstellung der Datengrundlagen für die Wasserwirtschaft, den Hochwasserschutz und die Forschung (5.5)
6. Abflussdaten als Grundlage zur Beurteilung der Gewässerqualität (5.6)
7. Überwachung der ökologischen Verträglichkeit der Nutzung (Vollzug, Gewässerschutz) (5.7)
8. Einhaltung von internationalen Verpflichtungen (5.8)

5.1 Erhebung natürlicher Wasserressourcen und deren Veränderung

Als Grundlage für eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung ist es notwendig, immer die aktuellen natürlichen Wasserressourcen und deren Veränderung, insbesondere im Kontext des Klimawandels und der Wassernutzung, zu kennen. Eine wesentliche Aufgabe des Basismessnetzes ist daher die langfristige, räumlich und zeitlich repräsentative Beobachtung der Wasserhaushaltskomponenten «Abfluss» und «Speicher» bzw. «Speicheränderung» in der Schweiz.

Von der WMO wird eine Minimdichte des Messnetzes von einer Abflussmessstation pro 1000 km² in gebirgigem Terrain empfohlen (WMO, 2008). Für die bezüglich Topografie, Geologie und Klima sehr heterogene Schweiz, mit intensiver Nutzung der Wasserressourcen und dichter Besiedelung, ist dieser Wert nicht ausreichend.

Der Hydrologische Atlas der Schweiz (HADES) stellt die Wasserbilanz der Schweiz mit Bilanzierungsgebieten mit einer Fläche von 150 km² dar. Dies ist eine Gebietsgrösse, die auch für praktische und wissenschaftliche Anwendungen im Bereich Wassermanagement oft gefragt ist. Die nördlichen Nachbarländer Baden-Württemberg und Bayern haben eine Messnetzdichte in dieser Grössenordnung. Die Stationsdichte des Schweizer Basismessnetzes mit einer Station pro 227 km² ist kleiner.

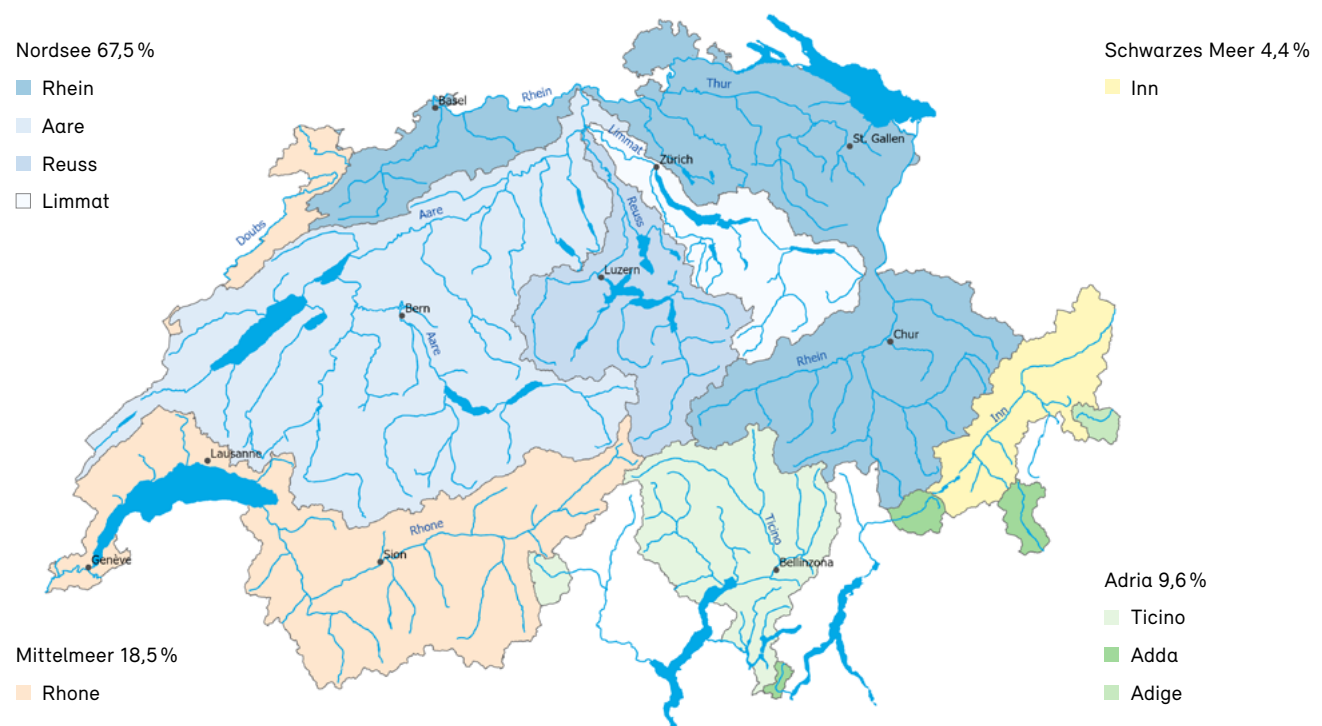
Im Rahmen einer Analyse im Auftrag des BAFU (Schädler, 2015) zeigte sich, dass mit den 145 Stationen des Basismessnetzes, die eine Einzugsgebietsfläche grösser als 50 km² haben, der Wasserhaushalt der Schweiz gut erfasst werden kann:

- Mit den bestehenden Stationen ist für einen grossen Teil der Schweiz die durchschnittliche (Differenz-)Einzugsgebietsgrösse⁶ bei 300 km² oder kleiner. Ausnahmen gibt es im Wallis und in Graubünden, wo die durchschnittliche (Differenz-)Einzugsgebietsgrösse meist grösser ist als 300 km².
- Es gibt einige Differenz- oder Zwischenwasserhaushaltsgebiete mit einer Fläche über 600 km² oder sogar 1000 km². Hier wäre eine Verdichtung des Messnetzes zu prüfen.
- Das Messnetz ist bezüglich Höhenlage, Abflussregimen, Landnutzung, etc. repräsentativ für die Schweiz (siehe Kapitel 5.4)

⁶ Als Differenz- oder Zwischeneinzugsgebiet wird das Gebiet bezeichnet, welches das Gebiet zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abflussmessstationen entwässert.

In Zusammenarbeit mit der WSL werden jährlich die Wasserbilanzen der Schweiz in monatlicher Auflösung erstellt (Lustenberger et al., 2023). Für die Berechnung der Wasserbilanzen werden die grossen Flussgebiete weiter in Teilgebiete untergliedert (Abb. 17) und die mit einem hydrologischen Modell simulierten Abflüsse mit gemessenen Werten verglichen. So können das Modell geeicht und die modellierten Werte justiert werden. Neben dem gemessenen Abfluss ist man bei der hydrologischen Modellierung auf Messwerte aus meteorologischen Messnetzen angewiesen (Niederschlag, Temperatur, Wind, Strahlung, Bewölkung). Dabei ist es sehr wichtig, dass mit den vorhandenen Wetterstationen für ein Einzugsgebiet repräsentative Werte abgeleitet werden können.

Abb. 17: Gliederung der Schweiz in die grossen Flusseinzugsgebiete.



Auftrag	Anforderungen	Stakeholder/Nutzer
Erhebung natürlicher Wasserressourcen und deren Veränderung	Um eine repräsentative nationale Übersicht über den aktuellen Zustand und die Veränderungen der natürlichen Wasserressourcen zu erhalten, werden langfristig hydrometrische Messstationen an Fließgewässern und Seen betrieben.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Kantone • Forschung • Private • Internationale Partner

5.2 Vorhersage von und Warnung vor Hochwasser

Das BAFU hat den gesetzlichen Auftrag, die Behörden und die Bevölkerung vor Hochwasser zu warnen. Für die Gewässer von gesamtschweizerischem Interesse (Abb. 18) werden die Warnungen für 13 Seen und 41 Flussabschnitte ausgegeben. Für kleine und mittlere Fliessgewässer werden sie wegen der nicht ausreichenden Qualität der Niederschlagsvorhersage nicht für einzelne Gewässer, sondern nur für Regionen abgesetzt. Es werden 38 Warnregionen unterschieden.

Damit rechtzeitig gewarnt werden kann, müssen Hochwasservorhersagen erstellt werden. Hierzu betreibt das BAFU ein hydrologisches Vorhersagesystem. Das System muss sowohl für kleine wie auch für grosse Gewässer möglichst zuverlässige Vorhersagen liefern.

Abb. 18: Gewässer für welche das BAFU-Hochwasserprognosen publiziert

Stand 2025



Hydrologische Messdaten sind für Hochwasservorhersagen und -warnungen von entscheidender Bedeutung. Für den operationellen Betrieb von hydrologischen Modellen ist die zeitnahe und zuverlässige Verfügbarkeit der Messdaten in hoher zeitlicher Auflösung unabdingbar:

- Hydrologische Modelle bilden die Grundlage für Hochwasservorhersagen. Bevor sie im operationellen Dienst zum Einsatz kommen, müssen sie anhand von Messdaten kalibriert werden. Für die Kalibrierung und die Verifikation der hydrologischen Modelle braucht es langjährige Messreihen.
- Im Hochwasserfall werden von den Prognostikerinnen und den Prognostikern neben den Modellen auch die gemessenen Werte berücksichtigt. Damit können die Modellergebnisse überprüft werden.
- In einigen Vorhersagemodellen können durch die Anbindung der Modellergebnisse an die Messwerte ausserdem die Modellzustände (Boden- und Schneespeicher, etc.) justiert werden.
- Die gemessenen Abflüsse werden an die unterliegenden Vorhersagestationen weitergegeben (Routing). Dadurch steigt die Güte der Vorhersagen in grossen Einzugsgebieten, in denen mehrere Stationen flussaufwärts berücksichtigt werden.

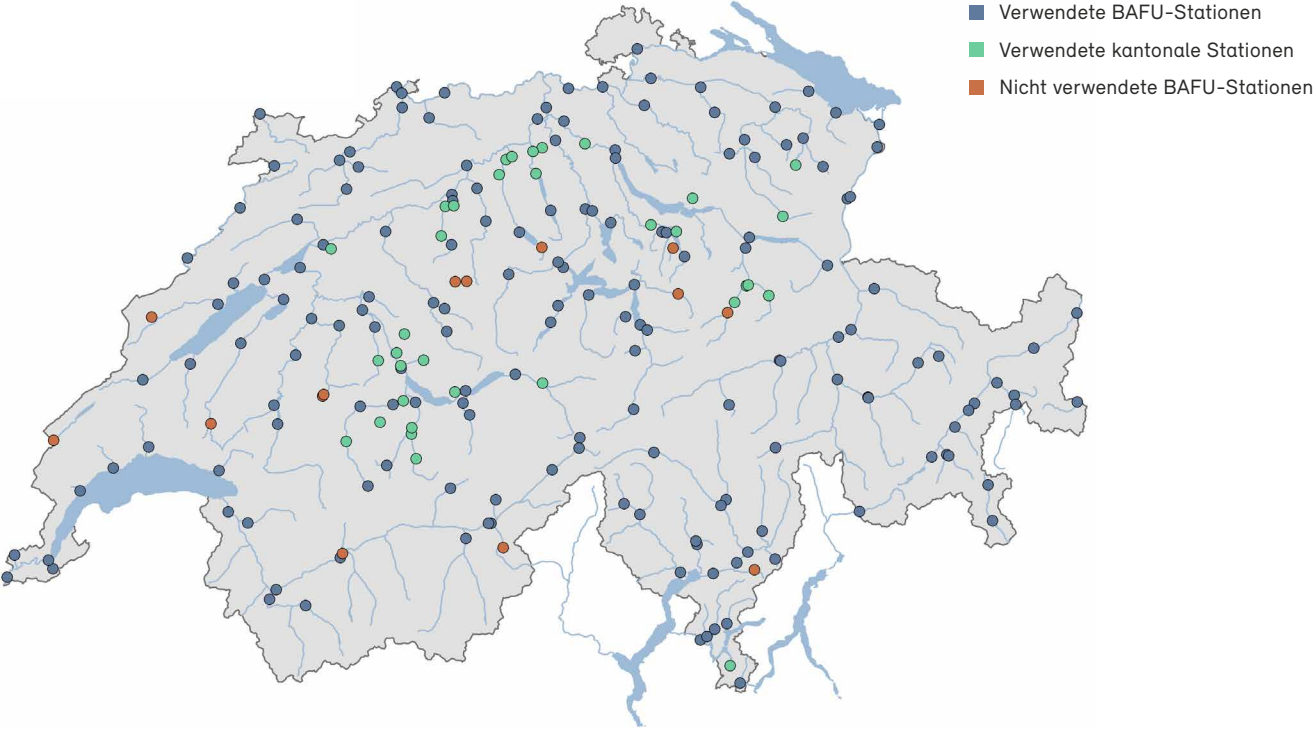
Abflussdaten in Echtzeit sind bei der Erstellung von Warnungen, welche den Zeitraum der nächsten rund drei bis sechs Stunden betreffen, sehr wichtig, da sie helfen, die Situation richtig einzuschätzen. Von ausgewählten Messstationen werden zudem direkt ab der Station Alarme abgesetzt (Hochwassermeldung). Diese werden von den Empfängern als Weckruf für allfällige Hochwasserschutzmassnahmen benötigt. In beiden Fällen ist die zeitnahe und zuverlässige Verfügbarkeit der Messdaten unverzichtbar und sie müssen schon als ungeprüfte Rohdaten nutzbar sein.

Zur Einordnung der Messdaten und für Vorhersagen im Hochwasserfall müssen hydrologische Hochwasserkennwerte (z. B. HQ_{30} , HQ_{100}) vorliegen und Gefahrenstufen definiert werden. Für die Bestimmung von Hochwasserkennwerten sollten die Reihen möglichst lange sein. Die verfügbaren Messreihen sind vielfach zu kurz, um wirklich seltene Hochwasser zu enthalten. Es muss deshalb extrapoliert werden. Der zulässige Extrapolationsbereich ist von der Länge der Stichprobe, den Eigenschaften des Gebietes, den Vertrauensintervallen

usw. abhängig und kann nicht generell festgelegt werden. Eine Extrapolation auf die doppelte Länge der Stichprobe erscheint in vielen Fällen sinnvoll, also z. B. 50 Jahre für die Bestimmung des HQ_{100} (BWG, 2003).

Von den 182 Abflussmessstationen des Basismessnetzes werden 168 Stationen für die Hochwasservorhersage verwendet. Ergänzend werden auch kantonale Stationen für die Hochwasservorhersage eingesetzt (Abb. 19).

Abb.19: Verwendung von Stationen des Basismessnetzes des Bundes sowie von kantonalen Stationen für die Hochwasservorhersage
Stand 2025



Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Hochwasservorhersage und -warnung	Die Messstationen für die Hochwasservorhersage müssen langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten zur Eichung der Modelle und zur statistischen Einordnung der Messwerte zur Verfügung stellen. Für die Vorhersage selbst müssen Abflüsse und Wasserstände zeitnah (innerhalb einer Stunde), zuverlässig und bereits als Rohdaten nutzbar vorliegen.	<ul style="list-style-type: none">• BAFU• Andere Bundesämter und SBB• Kantone• Blaulichtorganisationen• Internationale Partner (Hochwasservorhersagezentralen Rhein)• Private (Kraftwerke und Schifffahrt)• Forschung• Bevölkerung• Medien
Hochwassermeldungen	Von ausgewählten Messstationen müssen direkt ab der Station Alarme zeitnah und gesichert abgesetzt werden können.	

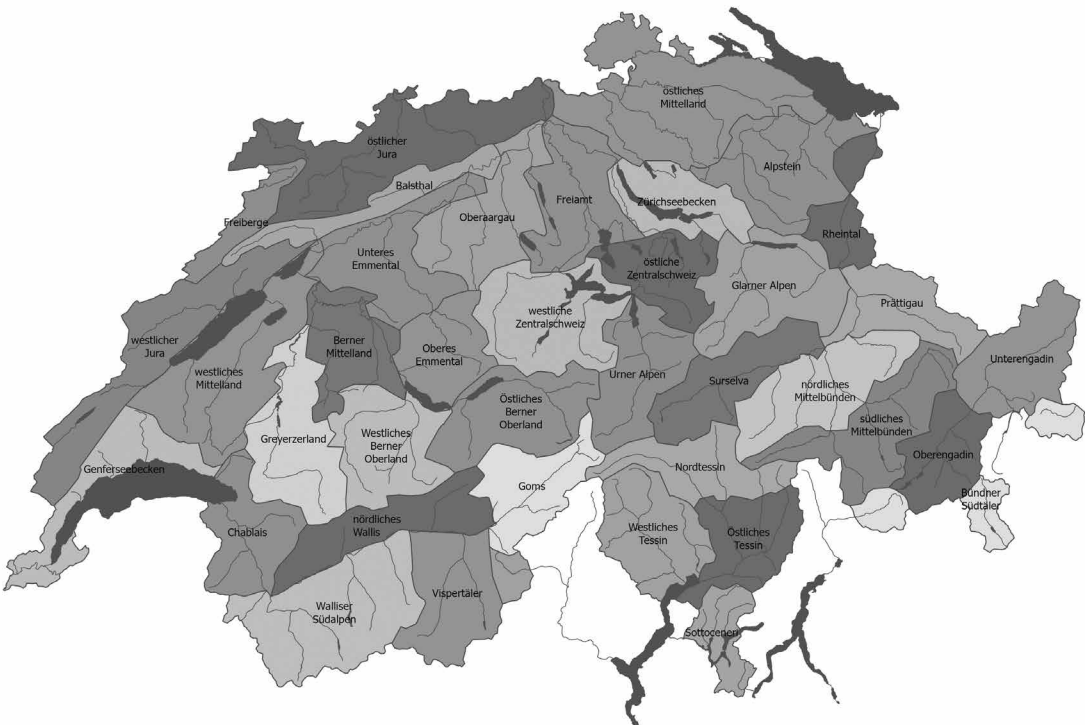
5.3 Information, Vorhersage und Frühwarnung bei Trockenheit

Das BAFU hat den gesetzlichen Auftrag, die Behörden und die Bevölkerung vor Trockenheit zu warnen und über den aktuellen Trockenheitszustand zu informieren. 2025 hat der Bund sein Trockenheitsinformations- und Frühwarnsystem in Betrieb genommen. Darin werden für 38 Regionen Trockenheitsindikatoren sowie Abflussvorhersagen gerechnet. Damit dies möglich ist, muss es in jeder Region repräsentative Abflussmessstationen geben (Abb. 20).

Bei akuter Trockenheit können zudem aufgrund aktueller Messwerte Entnahmeverbote oder Nutzungseinschränkungen ausgesprochen werden (z. B. Verbot von Wasserentnahmen für die landwirtschaftliche Bewässerung). Lange und qualitativ gute Messreihen im Niedrigwasserbereich sind wichtig für die Ermittlung statistischer Kennwerte wie dem Q_{347} , auf dessen Basis Restwassermengen bestimmt und Konzessionen zur Wassernutzung erteilt werden. Der Artikel 4 des GSchG geht bei der Bestimmung der Abflussmenge Q_{347} von einer Beobachtungsdauer von zehn Jahren aus. Infolge des Klimawandels muss zunehmend mit Niedrigwasser- und

Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Monitoring Niedrigwasser für Analysen und Vorhersage/ Frühwarnung	Es müssen langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten zur Eichung der Modelle und Ermittlung statistischer Kennwerte zur Verfügung stehen. Für die operationelle Vorhersage müssen diese Daten täglich aktualisiert zur Verfügung stehen.	<ul style="list-style-type: none">• BAFU• Andere Bundesämter und SBB• Kantone• Forschung• Private (Landwirtschaft, Energieerzeuger, Schifffahrt)• Internationale Partner (Rheinschifffahrt, Energieerzeuger)• Bevölkerung• Medien

Abb.20: Regionen der regionalen Hochwasserwarnung und der Trockenheitsinformationsplattform des Bundes



Wasserknappheitssituationen gerechnet werden. Qualitativ gute Niedrigwasserdaten gewinnen deshalb an Bedeutung.

Bei Niedrigwasser ist die Messgenauigkeit an vielen Messstationen wegen der zu geringen Wassertiefen, der zu geringen Fließgeschwindigkeiten oder dem nicht genau bekannten Abflussquerschnitt klein. Für eine qualitativ hochstehende Abflussbestimmung kann es deshalb notwendig sein, die Station baulich anzupassen (z. B. Einbau einer Niedrigwasserrinne, Abb. 21).

5.4 Datengrundlage zu Seen und für die Seeregulierungen

Der Wasserstand eines Sees ist ein wichtiger Parameter im Zusammenhang mit ökologischen und limnologischen Fragestellungen. Gerade auch vor dem Hintergrund des zunehmenden Trockenheitsrisikos und der Erwärmung der Seen infolge des Klimawandels nehmen diese Daten an Bedeutung zu. Hierzu können auch Beobachtungen an kleinen Seen (wie z. B. am Hallwilersee, am Ägerisee oder an den Engadiner Seen) aufschlussreiche Erkenntnisse liefern.

Die Wasserstandsdaten der Seen bilden auch eine wichtige Grundlage für die Seeregulierung und die Wasserstandsvorhersage. Zusätzlich zu den Seepegeln werden für die Regulierung auch Stationen an den Zu- und Ausflüssen der Seen benötigt. Gewisse Seeregulierungen haben zudem eine wichtige Bedeutung für den Hochwasserschutz an unterliegenden Orten. Dazu sind auch weitere Stationen wichtig, wie z. B. Emme – Emmenmatt oder Aare – Murgenthal unterhalb des Bielersees. Die Messstationen des Seeausflusses dienen

auch zur Kontrolle der Einhaltung der Reguliervorschriften (Anhang 6).

5.5 Bereitstellung der Datengrundlagen für die Wasserwirtschaft, den Hochwasserschutz und die Forschung

Um die Wasserressourcen und Gewässer nachhaltig nutzen zu können, müssen die verfügbaren Wassermengen heute und in Zukunft bekannt sein. Für den Schutz vor den Gefahren des Wassers müssen die möglichen Hochwasserabflüsse und ihre Auftretenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden können. Die Forschung wiederum möchte das hydrologische, limnologische und ökologische Prozessverständnis verbessern und Methoden für die Wasserwirtschaft und den Hochwasserschutz entwickeln. Alle drei Nutzer benötigen langjährige, homogene und möglichst lückenlose Beobachtungsreihen des Abflusses und der Wasserstände für folgende Aufgaben:

- Ermittlung statistischer Kennwerte für die Wasserwirtschaft, z. B. als Grundlage für die Konzessionserteilung oder als Bemessungswerte für Wasserkraftanlagen.
- Ermittlung statistischer Kennwerte für den Hochwasserschutz, z. B. als Grundlage für Bemessungswerte von Hochwasserschutzmassnahmen und Wasserbauprojekten.
- Entwicklung von Methoden zur Abschätzung der statistischen Kennwerte und Bemessungswerte in ungemessenen Gebieten.
- Entwicklung, Kalibrierung und Validierung hydrologischer Modelle.
- Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels und anderer anthropogener Einflüsse auf die

Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Grundlagen für Seeregulierungen bereitstellen	Von den international und überregional wichtigen Seen und deren massgeblichen Zu- und Ausflüssen stehen langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten zur Verfügung. Die Messdaten, insbesondere bei den Seeausflüssen, sind in genügend hoher Qualität vorhanden. Für die Steuerung der Schleusen und Wehre sind diese Daten redundant, zeitnah und gesichert verfügbar.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Kantone • Private (Schifffahrt) • Internationale Partner
Grundlagen für die Forschung bereitstellen	Qualitativ gute Wasserstandsdaten von rund 20 Seen werden systematisch an das Global Climate Observing System (GCOS) übermittelt. An grösseren Seen und Seen in verschiedenen Höhenlagen liegen langjährige, qualitativ gute Wasserstandsmessreihen vor.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Kantone • Forschung • Private • Internationale Partner

Wasserressourcen (Trendanalysen, Berechnung von hydrologischen Zukunftsszenarien).

- Verbesserung des hydrologischen, limnologischen und ökologischen Prozessverständnisses und anderer Forschungsfragen.

Wie lange die Messreihen für die einzelnen Aufgaben mindestens sein müssen, ist je nach Aufgabengebiet unterschiedlich. Für Analysen in den Bereichen Klimawandel und Hochwasserschutz sollten die Reihen möglichst lange sein, mindestens aber 50 Jahre für die Bestimmung des HQ_{100} (BWG, 2003) und noch länger für Fragestellungen zum Klimawandel. Für die Vergabe von Konzessionen werden Zeitreihen mit einer Länge von zehn Jahren benötigt. Bei den anderen Aufgaben, wie z. B. der Kalibration hydrologischer Modelle oder für die Verbesserung des Prozessverständnisses können auch kürzere Messreihen wertvoll sein. Hier ist es entscheidender, dass ein möglichst grosser Abflussbereich

(Niedrigwasser bis Hochwasser) in der Messreihe enthalten ist. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist in langen Messreihen jedoch deutlich grösser.

Die notwendigen langjährigen, homogenen und lückenlosen Beobachtungsreihen können nur gewonnen werden, wenn die Messstationen langfristig kontinuierlich gesichert betrieben und unterhalten werden und die Datenbearbeitung eine permanente Qualitätssicherung bietet. Sie müssen zudem repräsentativ sein bezüglich:

- Klimaregionen
- Abflussregimetypen
- Höhenlagen
- Einzugsgebietsgrösse
- Gebietseigenschaften wie Geologie, Böden, Landnutzung

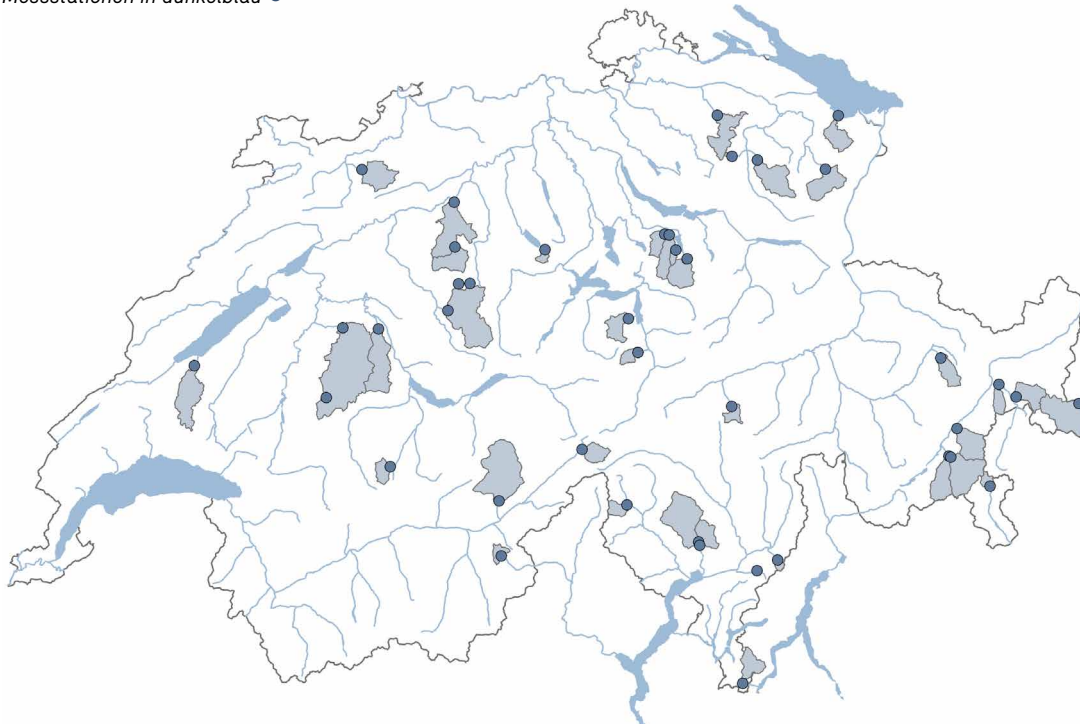
Mit dem Programm der Hydrologischen Untersuchungsgebiete (HUG) wurden Abflussmessstationen des

Abb.21: Niedrigwasserrinne an der BAFU-Station Breggia – Chiasso, Ponte di Polenta



Abb.22: Hydrologische Untersuchungsgebiete der Schweiz

Messstationen in dunkelblau ●



Auftrag	Anforderungen	Stakeholder/Nutzer
Bereitstellung der Datengrundlagen für die Wasserwirtschaft	Es stehen langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten zur Verfügung.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB Kantone • Forschung • Private • Internationale Partner
Bereitstellung von Grundlagen für Hochwasserschutz (Bemessung, Abschätzung)	Für möglichst alle Messstationen, die nicht stark beeinflusst sind (HUG, weitere kleine Einzugsgebiete), werden langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten angestrebt und es stehen daraus abgeleitete, belastbare Extremwertstatistiken zur Verfügung.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Kantone • Forschung
Bereitstellung von Grundlagen für die Forschung	<p>Repräsentativität: Für jedes Regime gemäss HADES 6.2 ist mindestens ein Hydrologisches Untersuchungsgebiet (HUG) oder Kleineinzugsgebiet hydrometrisch erfasst. Messstationen naturnaher Kleineinzugsgebiete im Allgemeinen und vergletscherte Einzugsgebiete im Speziellen müssen möglichst erhalten bleiben.</p> <p>Für Einzugsgebiete mit wichtigen naturräumlichen Gegebenheiten z. B. bzgl. Geologie oder Landnutzung, die nicht in den HUG erfasst sind, stehen repräsentative Messdaten zur Verfügung.</p> <p>Lange Messreihen: Es liegen langjährige, qualitativ gute und homogene Datenreihen vor, idealerweise im Zusammenhang mit repräsentativen Messwerten aus meteorologischen Messnetzen (Niederschlag, Temperatur, Wind, Strahlung, Bewölkung) als Input für die hydrologische Modellierung (Modellkalibrierung, Grundlage für Forschung).</p> <p>Für ökologische und limnologische Fragestellungen stehen qualitativ gute, möglichst lange Zeitreihen der Wasserstände von Seen in unterschiedlichen Höhenlagen zur Verfügung.</p> <p>Es liegen lange und qualitativ gute Zeitreihen für anthropogen beeinflusste Gebiete vor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Forschung • Private • Internationale Partner

Basismessnetzes ausgewählt, die für die Schweiz bezüglich der oben genannten Faktoren repräsentativ sind (Abb. 22). Das Messnetz der HUG wurde ab 1957 systematisch aufgebaut und umfasst heute 41, möglichst wenig anthropogen beeinflusste Einzugsgebiete mit gut validierten Zusatzinformationen. Bei den HUG wird angestrebt, in allen schweizerischen Regimetypen vertreten zu sein. In Regionen mit starker Wasserkraftnutzung wie dem Wallis oder Teilen von Graubünden kann dieses Ziel allerdings nicht erreicht werden, da dort praktisch alle Einzugsgebiete beeinflusst sind.

Für die Forschung sind aber auch langfristige Messungen an beeinflussten Standorten sehr interessant. Zum Beispiel um die Veränderungen der Abflussschwankungen infolge Schwall-Sunk im Laufe der Zeit zu beobachten.

Mit Hilfe der aktuellen Messwerte und Vorhersagen können zudem wasserwirtschaftliche Anlagen (v. a. die Laufkraftwerke) gesteuert oder Nutzungseinschränkungen, insbesondere bei Trockenheit, durch die Kantone ausgesprochen werden. Auch die Schifffahrt benötigt aktuelle Wasserstandsdaten und -vorhersagen, insbesondere für den Rhein in Basel aber auch für andere Fließgewässerabschnitte und Seen mit Kursschifffahrt.

5.6 Abflussdaten als Grundlage zur Beurteilung der Gewässerqualität

Die Gewässerqualität wird in der Schweiz im Rahmen der «Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität» (NAWA) in verschiedenen Messprogrammen erhoben. Bei der Erhebung und Überwachung der Gewässerqualität spielt der Abfluss in vielen Fällen eine entscheidende Rolle. Zur Berechnung der Frachten von Wasserqualitäts-Parametern muss zwingend auf Abflussmessdaten zurückgegriffen werden können, die zeitgleich und in der Nähe der Wasserqualitäts-Messstelle erfasst werden. Abflussmessdaten sind des Weiteren für eine abflussproportionale Steuerung der Probenahme nötig, welche die zweite notwendige Grundlage für die Berechnung der Frachten ist. Frachten erlauben allgemein die Erfolgskontrolle von Massnahmen und sind speziell für die Einhaltung internationaler Abkommen wichtig (z. B. exportierte Nitratfracht bei Basel). Auch für die Interpretation von Befunden der chemisch-physikalischen und biologischen Erhebungen sind Abflussdaten unabdingbar. Sie erlauben auch Aussagen über Veränderungen der Wasserführung etwa durch Nutzung der Wasserkraft oder über andere Beeinflussungen. Bei Seen ist der Wasserstand bei der Beurteilung der Wasserqualität und bei der Bearbeitung ökologischer Fragestellungen von grosser Bedeutung. Wegen dieser sehr engen Verknüpfung werden die Abfluss- und Wasserstandsmessstationen der Beobachtungsmodule NAWA TREND zur langfristigen Daueruntersuchung der Wasserinhaltsstoffe,

Abb.23a: Messstellen der «Nationalen Daueruntersuchung der Stofffrachten in schweizerischen Fließgewässern»

NAWA FRACHT, Stand 2023.

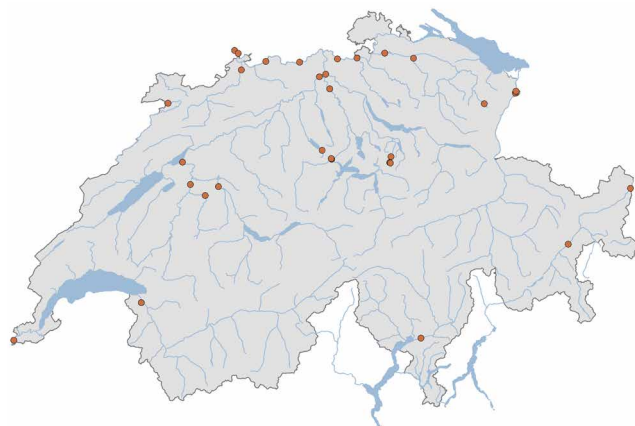
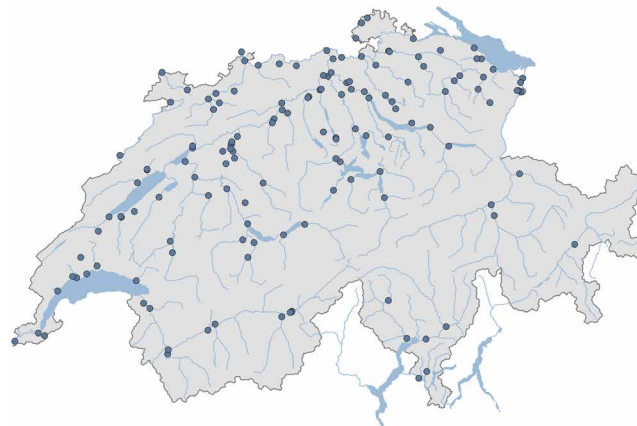


Abb.23b: Messstellen der «Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität»

NAWA TREND, Stand 2024.



NAWA FRACHT zur Daueruntersuchung der Stofffrachten, Wassertemperatur und Feststoffe auch im vorliegenden Konzept behandelt.

NAWA TREND und NAWA FRACHT

Im Beobachtungsprogramm NAWA FRACHT (ehem. NADUF) werden an 20 Messstellen des Basismessnetzes und an 3 Messstellen der WSL (Stand 2023, Abb. 23 links) Daueruntersuchung der Stofffrachten durchgeführt. Im Programm NAWA TREND wird zusammen mit den Kantonen an 145 Messstellen (Stand 2024, Abb. 23 rechts) die Stoffkonzentrationen gemessen. Neben der Beobachtung der Entwicklung der Wasserinhaltsstoffe (z. B. Nährstoffe und Mikroverunreinigungen) haben die Messungen zum Ziel, die Wirksamkeit von Gewässerschutzmassnahmen zu beurteilen. Analysen zur Wasserqualität fokussieren daher auf längerfristige Veränderungen und weniger auf saisonale Schwankungen.

An den meisten NAWA FRACHT-Messstellen wird auch der Abfluss bestimmt und für die Probenahme wird, wenn möglich, die Basismessnetzinfrastruktur verwendet. An zwei NAWA FRACHT-Stationen wird kein Abfluss bestimmt. Hier wird der Abfluss von weiter entfernt liegenden Stationen rechnerisch übertragen. Zusätzlich werden an den NAWA FRACHT-Stationen auch die Wassertemperatur, die elektrische Leitfähigkeit, der gelöste Sauerstoff und der pH kontinuierlich gemessen.

2011 wurde das NAWA TREND-Messnetz mit 111 Messstellen in Betrieb genommen (BAFU, 2013) und in den letzten Jahren auf insgesamt 145 Messstellen erweitert (Stand 2024). Bei 80 dieser NAWA TREND-Messstellen befindet sich eine Abflussmessstation des Bundes am gleichen Standort oder in deren Nähe, sodass die Abflussdaten repräsentativ sind, oder die Abflüsse mithilfe von Daten mehrerer Bundesstationen abgeschätzt werden können. Für die restlichen NAWA TREND-Messstellen sind die Kantone verpflichtet, die Abflüsse selbst zu messen (kantonale hydrometrische Stationen) oder abzuschätzen. Für einige NAWA TREND-Messstellen in sehr kleinen Fliessgewässern werden von den Kantonen nur Pegelmessungen verlangt. Derzeit werden die Abflussdaten in NAWA TREND als Tagesmittelwerte (Stichproben) oder als Mittelwerte über die Probenahmedauer (Sammelproben) verwaltet. Es ist jedoch möglich, dass zukünftig auch zeitlich hochaufgelöste Abfluss- oder Pegeldata für Auswertungen benötigt werden, z. B. für die Untersuchung der Eintragswege

verschiedener Pestizide. In diesem Fall müssten dem BAFU auch die hochaufgelösten Zeitreihen der kantonalen hydrometrischen Stationen zur Verfügung stehen.

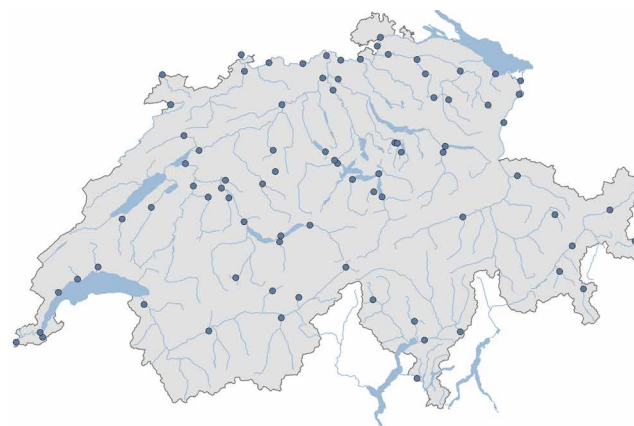
Wassertemperatur

Die Wassertemperatur ist ein Schlüsselfaktor für den Zustand eines Oberflächengewässers. Alle Stoffwechselvorgänge, die Entwicklung sowie die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften werden von ihr beeinflusst. Lebensfähigkeit und Lebensaktivität der Wasserorganismen sind an bestimmte Temperaturgrenzen und Temperaturoptima gebunden. Deshalb sind Kenntnisse über die Temperaturdynamik sehr wichtige Interpretationshilfen für den biologischen Zustand eines Gewässers. Die Wassertemperatur eines Fliessgewässers wird durch die Abflussdynamik des Gewässers (z. B. bei Niedrigwasser oder bei Gewittern) stark beeinflusst. Für die Beurteilung der Qualität der Temperaturdaten werden Informationen zum Abfluss des Gewässers benötigt. Ausserdem können mit der Koppelung der Daten der beiden Parameter Wassertemperatur und Abfluss Wärmebilanzen gerechnet werden. Im Rahmen des Ausbaus der nationalen Trockenheitsplattform sollen in Zukunft auch Wassertemperaturvorhersagen gerechnet werden. Dazu müssen Wassertemperaturdaten und Abflussdaten in Echtzeit zur Verfügung stehen.

In den meisten Fällen werden der Abfluss und die Wassertemperatur an derselben Messstation gemessen (Abb. 24). Dort, wo das nicht möglich ist – z. B. wegen ungünstiger

Abb. 24: Messstationen Wassertemperatur (Stand 2022)

Die Stationen mit Online-Daten finden sich auf dem Portal Hydrologische Daten und Vorhersagen.



Durchmischungsverhältnisse bei der Abflussmessstation – findet die Temperaturmessung an einem anderen Standort in der Nähe statt. Beispiele sind: Ticino – Bellinzona (Abfluss) und Ticino – Riazzino (Temperatur); Rhone – Gletsch (Abfluss) und Rhone – Oberwald (Temperatur). An vier Wassertemperaturstationen fehlen Abflussmessungen.

Feststoffe

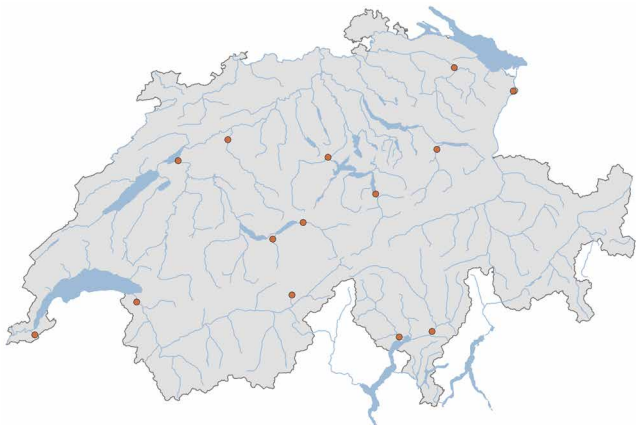
Das Geschiebe wird auf dem Grund der Bäche und Flüsse transportiert. Es besteht aus Sand und gröberem Geschiebe bis hin zu Blöcken. Schwebstoffe sind feine Partikel aus Ton und Schluff und manchmal auch in der Partikelgrösse von Sand. Das BAFU betreibt ein Monitoring des Feststofftransports in den Schweizer Fliessgewässern.

Schwebstoffkonzentrationen werden an 14 Stationen in Form von Stichproben zweimal pro Woche erhoben (Abb. 25). Um die Schwebstoffkonzentrationen interpolieren zu können, wird an diesen Stationen zusätzlich kontinuierlich die Trübung gemessen. Die Verknüpfung mit Abflussdaten ist bei der Schwebstoff- und Trübungsmessung zwingend notwendig, um Schwebstofffrachten berechnen zu können. Die Kenntnis der Schwebstofffrachten ist die Basis für die Bilanzierung von partikelgebundenen Schadstofffrachten und damit wichtig für das Verständnis der Verlagerung und Transportprozesse solcher Schadstoffe. Das Schwebstoffmonitoring ist für ökologische (u.a. Laichplätze für Fische) und (öko-)toxikologische Fragen sowie auch für

wirtschaftliche/technische Fragestellungen von Bedeutung (z. B. für Schifffahrt, Erosion und Bodenverluste, Kolmation von Flusssohlen, Deltabildung, usw.).

Geschiebefrachten werden mit niedriger zeitlicher Auflösung (wenige Messungen pro Jahr bis mehrere Jahre) in 104 kantonalen Geschiebesammlern erhoben. An diesen Stationen gibt es meist keine Abflussdaten, was eine Interpretation der Geschiebedaten sehr schwierig macht. An ausgewählten Stationen wäre daher in Zusammenarbeit mit den Kantonen eine Erfassung des Abflusses wünschenswert

Abb.25: Schwebstoff- und Trübungsmessnetz des Bundes
Stand 2024



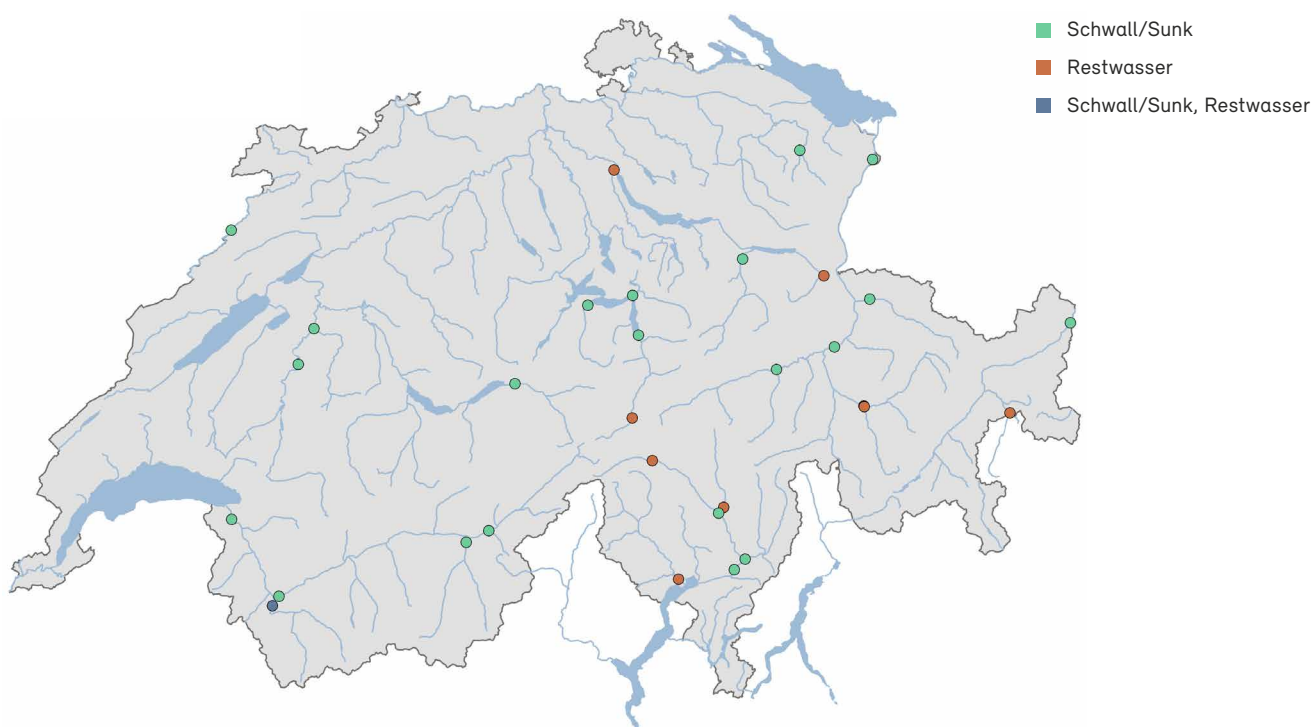
Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Erhebung und Überwachung der Gewässerqualität	An den Messstationen von NAWA FRACHT und NAWA TREND stehen qualitativ gute Abflusswerte bereit, um Frachten zu rechnen. Für die abflussproportionale Steuerung der Probenahme liegen diese Daten vor Ort zeitnah und gesichert vor. Für die Interpretation und Beurteilung der Korrektheit der Temperaturdaten stehen an den Temperaturmessstationen zuverlässige Abflussdaten zur Verfügung. Wasserstandsmessungen an Seen stehen zur Erhebung von anderen Parametern (z. B. Wassertemperatur im Oberflächen- und Tiefenwasser, Trübung, etc.) zur Verfügung. Für die Bestimmung der Schwebstofffrachten liegen zuverlässige Abflussdaten in unmittelbarer Nähe der Probenahme zwingend vor.	• BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Kantone • Forschung • Private • Internationale Partner
Monitoring Wassertemperatur für Analysen und Vorhersage/Frühwarnung	Für ausgewählte Messstationen müssen langjährige, qualitativ gute Abflussdaten zur Kalibrierung der Wassertemperatur-Vorhersagemodelle zur Verfügung stehen. Für die Prognose selbst müssen diese Daten in Echtzeit zur Verfügung stehen.	• BAFU • Kantone • Private (Fischerei)

5.7 Überwachung der ökologischen Verträglichkeit der Nutzung (Vollzug, Gewässerschutz)

Das Gewässerschutzgesetz verlangt, dass für jede Gewässernutzung der Behörde die ökologische Verträglichkeit der Nutzung nachgewiesen werden muss. Dieser Nachweis kann oft nur mit Messungen erbracht werden (z. B. Einhaltung Restwassermengen). Der Bund ist nicht verpflichtet, z. B. für Kraftwerksgesellschaften Abflussmessungen durchzuführen. Er ist jedoch verpflichtet, Grundlagen zu schaffen und Methoden zu erarbeiten, die es erlauben, Nachweise über die ökologische Verträglichkeit der Nutzung zu erbringen. Im

vorliegenden Messnetzkonzept werden diejenigen Stationen gekennzeichnet, die sich für die Erarbeitung von Methoden im Themenbereich von Schwall/Sunk und Restwasser eignen könnten (Abb. 26). Es stehen dabei Einzugsgebiete im Vordergrund, die stark von der Wasserkraftnutzung betroffen sind (z. B. Station Aare – Brienzwiler).

Abb.26: Stationen, die sich für die Erarbeitung von Methoden im Themenbereich von Schwall/Sunk sowie Restwasser eignen
Stand 2018



Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Überwachung der Nachhaltigkeit der ökologischen Verträglichkeit der Nutzung	Für die Messstationen von gesamtschweizerischem Interesse stehen langjährige, qualitativ gute hydrometrische Daten zur Verfügung.	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Kantone • Forschung • Andere Vollzugsbehörden

5.8 Einhaltung von internationalen Verpflichtungen

In Staatsverträgen werden grenzüberschreitende wasserwirtschaftliche Vereinbarungen zwischen Nachbarländern ausgehandelt. Dies kann für ausgewählte Messstationen konkret bedeuten, dass sie nicht aufgehoben und gewisse Leistungen nicht abgebaut werden dürfen. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Stationen, welche solchen Vereinbarungen unterliegen. Die letzten noch im Basismessnetz verbleibenden Wasserstandstationen ohne Abflussbestimmung an Fließgewässern liegen alle an Grenzgewässern und werden vielfach ausschliesslich im Zusammenhang mit internationalen Verpflichtungen betrieben.

Die Schweiz liefert Messdaten an verschiedene internationale Institutionen, so z. B. an das Global Runoff Data Center (GRDC) und das Global Climate Observing System (GCOS), welches die Klimabeobachtung global koordiniert. Um die Veränderungen aufgrund des Klimawandels zu überwachen und klimarelevante Fragestellungen zu beantworten, sind möglichst lange, homogene Messreihen und deren Weiterführung von grossem Interesse. Im Weiteren werden auch Daten an die Europäische Umweltagentur (EUA) geliefert.

- Aus dem Basismessnetz werden momentan die Abflussdaten von 75 Fließgewässern an GCOS und das GRDC geliefert.
- Aus dem Basismessnetz werden momentan die Wasserstanddaten von 11 Seen und die Abflussdaten von 74 Fließgewässern an die EUA geliefert.

Tab.5: Stationen, für deren Betrieb internationale Verpflichtungen bestehen.

Zusammenarbeit mit ...	Flussgebiet	Betroffene Station(en)
Deutschland, Frankreich	Rhein	Rhein – Basel, Rheinhalle Rhein – Basel, Klingenthalfähre (nur Wasserstand)
Fürstentum Liechtenstein	Rhein	Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell
Österreich	Alpenrhein	Rhein – Diepoldsau, Rietbrücke
Frankreich	Doubs	Doubs – Sortie du lac des Brenets ¹ Doubs – Combe des Sarrasins (nur Wasserstand) Doubs – Le Noirmont
Italien	Ticino	Maggia – Locarno, Solduno
Italien	Adda	Derivazione Alto Spöl – San Giacomo di Fraéle

1 Abfluss wird ausgehend vom Wasserstand der Station Les Brenets berechnet. Die Station Sortie du lac des Brenets hat selbst keine Pegelmessung mehr.

Auftrag	Anforderung	Stakeholder/Nutzer
Einhaltung internationaler Verpflichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • An vertraglich definierten Messstationen werden langjährige, qualitativ gute Daten angestrebt. • Abfluss und Wasserstand im Hochrhein sind wichtig für die Rheinschifffahrt und andere wasserwirtschaftliche Fragestellungen der Unterlieger. Deshalb müssen sie zeitnah und gesichert verfügbar sein. • Die Messnetzdichte und die Messqualität entspricht den Mindestanforderungen der WMO. • Wassertemperatur, Wasserstand und Abfluss für GCOS/ GRDC und EUA stehen bereit, langjährige Zeitreihen sind dabei sehr wichtig. • Abfluss für die Berechnung von Stofffrachten und die abflussproportionale Probenahme (z. B. Gesamtstickstofffracht in Basel). 	<ul style="list-style-type: none"> • BAFU • Andere Bundesämter und SBB • Forschung • Internationale Partner

Von der WMO gibt es internationale Vorgaben für die Erhebung physikalischer Variablen (wie Abfluss und Wasserstand) (WMO, 2025a) um eine repräsentative globale Abdeckung anzustreben (WMO, 2025b) und globale Modelle zu optimieren.

Um die internationale Zusammenarbeit zu erleichtern, hat die WMO mit der Resolution 40 (Cg-XII), der Resolution 25 (Cg-XIII) sowie der Resolution 60 (Cg-17) ihre Mitglieder verpflichtet, freien und ungehinderten Zugang und Austausch von Daten, Informationen, Produkten und Dienstleistungen im Zusammenhang mit der Sicherheit und dem wirtschaftlichen Wohlergehen der Gesellschaft und dem Schutz der Umwelt zu gewährleisten. Dies trifft auch auf die im Basismessnetz erhobenen Daten und die daraus abgeleiteten Produkte zu.

Um die Bedeutung langjähriger Daten als Referenz für die Bewertung von Klimaschwankungen und -änderungen hervorzuheben, hat die WMO einen Mechanismus zur Anerkennung von hundertjährigen Beobachtungsstationen eingerichtet, um nachhaltige Beobachtungsstandards und bewährte Verfahren zu fördern, die die Erstellung hochwertiger Zeitreihendaten erleichtern. Es wurden bisher sechs Abflussmessstationen des Basismessnetzes (Sitter – Appenzell, Thur – Andelfingen, Simme – Oberwil, Lütschine – Gsteig, Gürbe – Belp, Birs – Münchenstein) und zwei Seepegelstationen (Walensee – Murg, Bodensee (Untersee) – Berlingen) von der WMO als hundertjährige Beobachtungsstationen anerkannt.

6 Anforderungen aus den Anwendungsgebieten

Die Anforderungen an die Messdaten werden im Rolling Review Requirements Process in Form von sechs Kriterien ausgedrückt: Unsicherheit (uncertainty), horizontale Auflösung/Flächenabdeckung (horizontal resolution), vertikale Auflösung (vertical resolution; v. a. für atmosphärische Messungen, nicht relevant für Hydrologie), Messfrequenz (observing cycle), zeitliche Verfügbarkeit der Messdaten nach Messabschluss (timeliness) und zeitliche Stabilität (stability [where appropriate]). Diese Kriterien (Qualitätsmerkmale) wurden entsprechend für dieses Konzept wie folgt angepasst:

- Messgenauigkeit des Wasserstands für relevante Bereiche: Niedrigwasser (NQ), Mittelwasser (MQ) und Hochwasser (HQ) für Fließgewässer und Seen.
- Genauigkeit der Abflussbestimmung für relevante Abflussbereiche (NQ, MQ und HQ) für Fließgewässer.
- Zeitliche Auflösung kontinuierlicher Wasserstandsmessungen bzw. daraus abgeleiteter Abflussbestimmungen an Fließgewässern und Seen.
- Zeitliche Verfügbarkeit der Rohdaten nach Messung (für automatische Messungen) und zeitliche Verfügbarkeit validierter Daten.
- Maximale Ausfalldauer bzw. notwendige räumliche Redundanz (Oberlieger/Unterlieger).
- Räumliche Abdeckung: Relevante Gewässer und Standorte sowie minimale Messnetzdichte.
- Schlüsselstationen: Stationen, ohne welche die Anforderung eines Anwendungsgebiets nicht erfüllt werden können (z. B. Grenzstationen zur Einhaltung internationaler Verpflichtungen).
- Kontinuität der Zeitreihe (Länge der Messreihe) und ihre Homogenität.
- Beeinflussung des Abflusses einer Station: Relevanz der anthropogenen Beeinflussung des Abflusses der Stationen für das jeweilige Anwendungsgebiet.
- Datenbearbeitung: Benötigte Bearbeitungsstufe (siehe auch Kap. 7.3) der Daten (Rohdaten, vorgeprüfte Daten, geprüfte Daten, validierte Daten, aggregierte Daten/Statistiken wie Jahresminima/-maxima, Hochwasser oder Niedrigwasserstatistiken, usw.).

Für die oben genannten Anforderungen werden drei Wertebereiche festgelegt: Der «Schwellenwert» ist die Mindestanforderung, die erfüllt werden muss, um sicherzustellen, dass die Daten nützlich sind. Das «Ziel» ist eine ideale Anforderung, über die hinaus keine weiteren Verbesserungen erforderlich sind. Der «Durchbruch» ist ein Zwischenwert zwischen «Schwellenwert» und «Ziel», der, wenn er erreicht wird, zu einer erheblichen Verbesserung für die angestrebte Anwendung führen würde. Das Durchbruchsniveau kann bei der Planung oder dem Aufbau eines Messnetzes als Kosten-Nutzen-Optimum betrachtet werden.

6.1 Messgenauigkeit und Datenqualität

Die geforderte Messgenauigkeit ist nicht für alle Anwendungsgebiete und Abflussbereiche identisch. Beispielsweise benötigt man zur Erstellung einer Wasserbilanz mit monatlicher Auflösung keine Höchstqualität im Hochwasserbereich. Umgekehrt genügen für die Hochwasservorhersagen Daten mit eingeschränkter Qualität im Niedrigwasserbereich. Für ein Anwendungsgebiet wird allen Stationen dieselbe erforderliche Datenqualität zugeordnet. Wird eine Station für verschiedene Anwendungsgebiete verwendet, ist die höchste geforderte Qualität in den vorgegebenen Abflussbereichen (Niedrigwasser NQ, Mittelwasser MQ und Hochwasser HQ) ausschlaggebend.

Oftmals fehlen die wissenschaftlichen Grundlagen, um die geforderte Messgenauigkeit für ein Anwendungsgebiet präzise zu beziffern. Dafür wären beispielsweise Sensitivitätsanalysen ein hilfreiches Mittel. Deshalb wird die Angabe der notwendigen Messgenauigkeit in den Anforderungstabellen der einzelnen Anwendungsgebiete oftmals nur als Qualitätsklasse (z. B. Qualität hoch oder mittel) und nicht als Wert (absolut oder in Prozent) angegeben.

Hinzu kommt die Schwierigkeit, die Datenqualität von gemessenem Wasserstand (P) und Abfluss (Q) an einer Station effektiv für alle Abflussbereiche ausweisen zu können. Zwar ist jeweils eine vom Hersteller des eingesetzten Messgeräts angegebene Genauigkeit bekannt, diese entspricht aber der Genauigkeit unter Laborbedingungen und kann deshalb nicht mit der Genauigkeit der Messung in-situ gleichgesetzt werden. Eine grobe Richtlinie bezüglich der Qualitätsmerkmale ist in Tabelle 6 zu finden.

Die Vorgaben der WMO sind für Wasserstand: ± 10 mm (95 % Konfidenzintervall CI) unter normalen Bedingungen, ± 20 mm (95 % CI) unter schwierigen Bedingungen, für Abfluss (Messung im Gerinne): 5 % (95 % CI) unter normalen Bedingungen, 10 % (95 % CI) unter schwierigen Bedingungen (WMO, 2008 [updated in 2020]). Die Vorgaben der WMO werden vom BAFU nicht für generell anwendbar gehalten. So ist in einem Wildbach bei Hochwasser eine Wasserstandsmessung mit einer Genauigkeit von ± 20 mm hydraulisch nicht möglich.

Fachpersonen, die in den verschiedenen Anwendungsgebieten mit den Abflussdaten arbeiten, wurden im Rahmen der Konzepterstellung gebeten, untenstehende Tabelle 6 auszufüllen und somit ihre Qualitätsanforderungen an die Daten festzulegen. Dabei hat sich gezeigt, dass es ihnen meistens nicht möglich war, quantitative Qualitätsanforderungen für die Genauigkeit von Abfluss- und Wasserstandsmessungen anzugeben. Es scheint, dass sich viele Nutzende keine Überlegungen zur Datenqualität machen oder sie nehmen an, dass die Daten genau sind (z.B. 2 bis 5 % Fehler in der Abflusszeitreihe). Dabei wurde oft die in der Literatur genannte Genauigkeit von einer einzelnen Abflussmessung im Gerinne auf die Genauigkeit der ganzen Abflusszeitreihe übertragen. Die Fehler, die durch Fehler im Wasserstand und in der Wasserstande-Abflussbeziehung (P/Q-Beziehung) resultieren, wurden also von ihnen nicht berücksichtigt. Auch im Rahmen einer kurzen Literaturstudie konnten ausser den WMO-Anforderungen keine quantitativen Qualitätsanforderungen an die Genauigkeit von Abflussdaten gefunden werden. Die erhobenen Anforderungen pro Anwendungsgebiet befinden sich in Anhang 2, Tabelle 14 bis Tabelle 21.

Tab.6: Grobe Richtlinien des BAFUs bezüglich der Qualitätsmerkmale für Wasserstand und Abfluss

Die Begriffe «ideal», «real» und «worst case» entsprechen ungefähr der WMO-Nomenklatur von «Ziel», «Durchbruch» und «Schwellenwert». Im Einzelfall können diese Werte in beide Richtungen abweichen.

Qualitätsmerkmale Wasserstand	Niedrigwasser	Mittelwasser	Hochwasser
Wasserstand Seen (real)	± 2 cm	± 2 cm	± 2 cm
Wasserstand Seen (worst case, Wind, Wellen)	± 5 cm	± 5 cm	± 5 cm
Wasserstand Fließgewässer (real)	± 2 cm	± 2 cm	± 10 cm
Wasserstand Fließgewässer (worst case)	± 2 cm	± 5 cm	± 20 cm
Messtechnische Auflösung des Wasserstands	2–5 mm	2–5 mm	2–5 mm

Qualitätsmerkmale Abfluss			
Abfluss (ideal)	± 5 %	± 2 %	± 10 %
Abfluss (real)	± 10 %	± 5 %	± 20 %
Abfluss (worst case)	± 30 %	± 10 %	± 30 –50 %

Zeitmassstab			
Zeitliche Auflösung	5 Min.	5 Min.	5 Min.
Zeitliche Verfügbarkeit nach Messabschluss	1 Std.	0.5 Std.	10 Min.

Störungsbehebung			
Interventionszeiten bei «remote access»	Wenige Std.	Wenige Std.	Wenige Std.
Interventionszeiten bei nötigem Stationsbesuch	Wenige Tage	Wenige Tage	Wenige Std.
Installation einer Ersatzstation	Wenige Tage	Wenige Tage	Wenige Tage

Die Verteilung der Qualitätsanforderungen im gesamten Messnetz ist wichtig bei der Zuteilung von knappen Ressourcen. Zum Beispiel kann für Stationen, die im Niedrig- resp. Hochwasserbereich keine hohen Qualitätsansprüche haben, der Aufwand für Abflussmessungen im Gerinne stark reduziert werden, indem die Station von den Stationsverantwortlichen weniger häufig besucht wird. Wird die geforderte Qualität an einer Station mit hohen Qualitätsanforderungen in einem Abflussbereich nicht erreicht, sollte hingegen versucht werden, die Qualität zu verbessern. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten wie eine bauliche Anpassung der Station (z.B. Einbau einer Schwelle oder einer Niedrigwasserrinne, vgl. Abb. 27), die Erhöhung der Frequenz der Abflussmessungen im Gerinne, hydraulische Modellierungen oder die Verwendung anderer Messgeräte und -methoden. Aufgrund von

Hochwasserschutz- und Gewässerschutzmassnahmen (Revitalisierungen und Längsvernetzung in den Gewässern) werden in den nächsten Jahren vermehrt Messstationen umgebaut und Überfälle am Messquerschnitt beseitigt, falls sie die Fischwanderung behindern. Dies birgt die Gefahr, dass sich die Qualität der Wasserstandsmessung und Abflussbestimmung verschlechtern kann.

Insbesondere wegen der Langzeitausrichtung des Messnetzes ist durch ein Qualitätsmanagement sicherzustellen, dass die Daten über die Jahre hinweg miteinander vergleichbar bleiben. Dies sowohl in der Datenerhebung als auch im Datenmanagement. Dieses Qualitätsmanagementsystem muss festlegen, welche Datenbestände – von Rohdaten über Zwischendatenbestände, Metadaten sowie Bearbeitungsdokumentationen bis hin zu validierten

Abb.27: Mit einer Niedrigwasserrinne wird die Gerinnebreite eingeschränkt und damit die Sensitivität der Pegelmessung erhöht

Wie hier an der Station Grossbach – Einsiedeln. Damit kann die Erfassung von Niedrigwasserabflüssen verbessert werden. Allerdings können dadurch hydraulische Probleme in anderen Abflussbereichen entstehen.



Bild: Esther Scheidegger

Daten – sichergestellt und archiviert werden müssen. Nur so ist es möglich, dass Manipulationen an Datenbeständen auch nach Jahrzehnten nachvollziehbar bleiben.

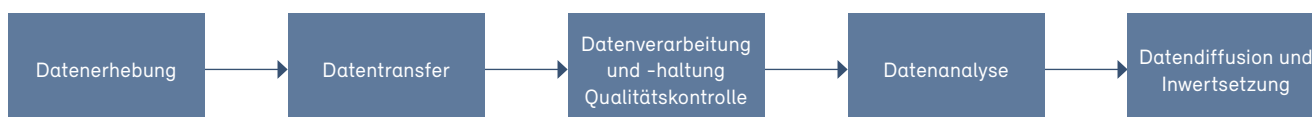
6.2 Räumliche Abdeckung und Schlüsselstationen

Je nach Anwendungsgebiet ist eine flächendeckende räumliche Abdeckung mit Stationen notwendig. Ein Beispiel hierfür ist das Anwendungsgebiet «Wasserhaushalt», bei dem für die Schweiz im Idealfall für alle Gebiete mit einer Fläche von 150 km² eine Messreihe vorliegt und im worst case eine Messreihe für alle Gebiete von 600 km² (WMO 1000 km²). Als realer Wert wurde 300 km² festgelegt (vgl. 5.1). Für andere Anwendungsgebiete wie z. B. internationale Verpflichtungen oder die Seeregulierung sind es eher einzelne Schlüsselstationen, die entscheidend sind. Im Anwendungsgebiet Forschung und Wasserwirtschaft geht es hingegen darum, eine repräsentative Auswahl an Gebieten für die Schweiz zu haben, so dass es Messdaten für Gebiete in möglichst allen Klimaregionen, Abflussregimetypen, Höhenlagen und mit verschiedenen Gebietseigenschaften gibt. Das Anwendungsgebiet Hochwasservorhersage benötigt eine Mischung aus flächendeckender räumlicher Abdeckung (für Modellkalibrierung und Warnung) und Schlüsselstationen (z. B. Stationen oberhalb von Gebieten mit grossem Schadenspotenzial). Beim Anwendungsgebiet «Wasserqualität» werden die räumliche Abdeckung und Schlüsselstationen im Basismessnetz durch die jeweiligen Messnetzkonzepte bestimmt (z. B. Messnetzkonzepte Temperatur, NAWA TREND, NAWA FRACHT und Feststoffe).

7 Datenmanagement und Datenqualität

Im Folgenden wird die Aufbereitung der gemessenen Daten von der Datenerhebung bis hin zur Datenpublikation kurz beschrieben (Abb. 28). Dadurch sollen die Rahmenbedingungen sowie die Faktoren aufgezeigt werden, welche schliesslich die Qualität der Daten massgeblich beeinflussen. Diese Prozesse sind für die Beurteilung der Lücken (Kapitel 8) und des Handlungsbedarfs relevant (Kapitel 9).

Abb.28: Datenaufbereitungskette in der Abteilung Hydrologie



7.1 Datenerhebung

Kontinuierlich erhoben werden die Wasserstands- und Geschwindigkeitsdaten. Periodisch finden zudem Abflussmessungen an den Stationen statt. Der kontinuierliche Abfluss wird in den meisten Fällen indirekt mit Hilfe der Wasserstandsmessung und einer Wasserstand-Abflussbeziehung (P/Q-Beziehung) bestimmt.

7.1.1 Wasserstand

Im Basismessnetz werden folgende Messsysteme für Wasserstandsmessungen eingesetzt:

- Manuelle Ablesung an Pegellatte
- Pneumatische Messsysteme
- Drucksonden
- Radar
- Schwimmer

Ein detaillierterer Beschrieb der eingesetzten Messsysteme findet sich in Anhang 3. Zu Beginn der Wasserstandsmessung im 19. Jahrhundert wurde ein- oder mehrmals täglich der Wasserstand manuell abgelesen (z. B. bei Rhein – Basel, Schiffflände seit 1808). Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde mit der kontinuierlichen Wasserstandsmessung mittels Schwimmer als Messsystem und Limnigraphen zur Aufzeichnung des Wasserstands begonnen. Im Zuge der Digitalisierung ab den 1990er-Jahren wurden diese nach und nach durch pneumatische Messsysteme mit Datenloggern ersetzt und später zusätzlich durch Radarmessungen und Drucksonden ergänzt. Ziel ist es, dass an einer Station immer zwei unabhängige Messsysteme für den Wasserstand

vorliegen. Einerseits als Redundanz, um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, andererseits zur Plausibilisierung der Messung durch Vergleich der Sonden. Damit können die Datenbearbeitung vereinfacht, sowie Arbeiten zur Störungsbehebung und Wartung ausgelöst werden. Neu werden heute hauptsächlich Radar oder Drucksonden installiert, da diese weniger Aufwand bei Installation und Wartung generieren. Zudem ist die Betriebssicherheit höher, da sie länger über Notstrom betrieben werden können als die Pneumatik-Systeme.

Die Papier-Aufzeichnungsbögen aus den Limnigraphen wurden rückwirkend ab dem Jahr 1974 manuell digitalisiert, so dass die Wasserstandsdaten heute hoch aufgelöst vorliegen. Seit 2018 sind alle Stationen mit Datenloggern ausgestattet und eine manuelle Digitalisierung ist nicht mehr notwendig. Vor 1974 liegen keine hochaufgelösten digitalen Wasserstandsdaten vor. Es sind aber die Tagesmittel und die Monatsmaxima für die gesamte Messperiode digital verfügbar. Es handelt sich dabei um digitalisierte Werte aus den früher publizierten Jahrestabellen in den hydrologischen Jahrbüchern. Zurzeit laufen Abklärungen, ob eine Rückdigitalisierung für Daten vor 1974 ab Limnigramm sinnvoll wäre.

Heute werden alle Wasserstandsdaten digital kontinuierlich aufgezeichnet. Die Abtastrate am Sensor beträgt wenige Sekunden. Die Werte werden dann auf dem Datenlogger in der Regel als 5-Minuten-Mittelwerte für Fliessgewässer und 10-Minuten-Mittelwerte für Seen gespeichert. Es finden keine weiteren Korrekturen der Messungen auf dem Datenlogger statt. Es wird aber geprüft, ob zum

Beispiel gewisse messtechnisch bedingte Ausreisser bei der Wasserstandsmessung schon hier korrigiert werden könnten.

Für die meisten Stationen im Basismessnetz besteht eine Mehrfachmessung des Wasserstands (mehrere Messsysteme und/oder mehrere Übertragungssysteme als Redundanz), um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, damit insbesondere im Hochwasserfall immer Abflussdaten vorliegen. Bei gewissen Stationen werden zudem unterschiedliche Messsysteme verwendet, um bestimmte Wasserstandsbereiche genauer erfassen zu können (z. B. Drucksonde für mittlere Abflüsse und Radar für Hochwasserabflüsse). Die Datenerhebung erfolgt mittels standardisierter Komponenten. An einer Station kann an mehreren Messpunkten der Wasserstand gemessen werden. Diese können auch grössere Distanzen voneinander oder von der Station entfernt liegen. Dies erlaubt die Messung an idealen Messquerschnitten für verschiedene Abflussgrössen. Im Rahmen der Datenbearbeitung wird entschieden, welche Wasserstandsmessung für die validierten Daten verwendet wird. Die validierte Wasserstandszeitreihe wird häufig aus mehreren Wasserstandszeitreihen zusammengesetzt, wobei pro Station und Wasserstandsbereich immer ein Hauptsensor definiert ist und die anderen Sensoren nur bei Ausfall oder Störung des Hauptsensors verwendet werden.

Jede Station ist mit einer Pegellatte oder einer Vorrichtung zur Abstichmessung zur Kontrolle des Wasserstands ausgerüstet. Im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern und einigen Kantonen wird im Basismessnetz der Wasserstand in absoluten Werten (m ü. M.) angegeben. Dies bedingt regelmässig Präzisionsnivelements der Pegelhöhen an die Höhenfixpunkte der Landesvermessung für jede Station (Seen ca. alle 5 bis 10 Jahre, Fliessgewässer alle 10 bis 20 Jahre). Die Höhe des Referenzpegels (Pegellatte) wird regelmässig überprüft und bei Bedarf korrigiert (z. B. bei Terrainabsenkungen insbesondere bei Seestationen). Ändert sich bei einem Fliessgewässer die Höhe des Referenzpegels, so ändern sich folglich auch die Messwerte der Pegelsonden sowie die P/Q-Beziehung um denselben Wert.

Regelmässig werden Referenz-Pegelablesungen von Beobachtern und Stationsverantwortlichen an den Stationen durchgeführt, um die automatisch gemessenen

Wasserstandswerte zu überprüfen und zu validieren. Je nach hydraulischen Verhältnissen kann eine manuelle Ablesung aber ungenau sein. Bei mehr als 2 cm Abweichung des Wasserstands zwischen Gerätemessung und mehreren aufeinanderfolgenden Referenzmessungen wird eine Wartung der Messgeräte und/oder der Messinfrastruktur durchgeführt. Auch werden die Daten entsprechend korrigiert.

7.1.2 Abfluss

Im Gegensatz zum Wasserstand wird der Abfluss an den meisten Stationen nicht kontinuierlich gemessen. Daher werden mit periodisch ausgeführten Abflussmessungen P/Q-Beziehungen erstellt. Diese ermöglichen es, mit Hilfe des kontinuierlich gemessenen Wasserstandes den Abfluss zu bestimmen. Für die Abflussmessung existieren unterschiedliche Geräte und Methoden. Die am häufigsten vom BAFU verwendeten Messmethoden für die momentane Abflussmessung sind:

- Flügelmessung
- ADCP-Messung (Acoustic Doppler Current Profiler)
- Tracermessung
- RP30-Radarmessung
- Gefässmessung

Kontinuierliche Messungen der Fliessgeschwindigkeit können mit folgenden Methoden durchgeführt werden.

- Ultraschall-Strömungsmessung
- Berührungslose Messung der Fliessgeschwindigkeit: Horizontaler ADCP und optische Messmethoden zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit

In Anhang 4 werden die Methoden der Abfluss- bzw. Geschwindigkeitsmessung beschrieben.

An den meisten Stationen sind die P/Q-Beziehungen über die Zeit nicht konstant, sondern verändern sich infolge Veränderungen des Abflussquerschnitts (z. B. wegen Sedimentation, Erosion, Verkrautung im Gerinne). Es gibt aber auch Stationen mit sehr stabilen P/Q-Beziehungen (z. B. ausbetonierte Kanäle).

Alle Stationen wurden gemäss der Stabilität ihrer P/Q-Beziehung eingeteilt und dann die notwendige minimale Anzahl Abflussmessungen pro Jahr festgelegt (siehe auch Kapitel 7.3.2). Bei Stationen mit häufigem Wechsel der

P/Q-Beziehung sollte monatlich gemessen werden. An den meisten Stationen des Basismessnetzes wird vier- bis fünfmal pro Jahr der Abfluss gemessen, an einzelnen Stationen genügt auch eine Messung pro Jahr. Die Abflussmessungen sollten zusätzlich das ganze Abflussspektrum von Nieder- bis Hochwasser abdecken. Deshalb werden zu den geplanten regelmässigen Abflussmessungen zusätzliche Messungen bei Hochwasser- oder Niedrigwasserereignissen durchgeführt. Häufigere Messungen können bei Neu- oder Umbau von Stationen oder Baustellen im Gerinne notwendig werden.

Die am meisten angewendete Methode zur Abflussmessung ist die Flügelmessung. In Gewässern mit turbulenter Strömung (alpine Gewässer) und geringen Abflussmengen kommen auch – oder nur – Tracer-Methoden zum Einsatz. An grossen und mittleren Gewässern wird der Abfluss auch mit ADCP-Geräten gemessen.

An einigen Stationen gibt es keine eindeutige P/Q-Beziehung. Dies betrifft besonders Stationen an Kanälen zwischen zwei Seen, bei denen die Fliessrichtung je nach Wasserstand in den Seen die Richtung ändern kann, sowie Stationen im Einflussbereich von Laufwasserkraftwerken. An diesen Stationen wird der Abfluss mit Ultraschallgeräten gemessen. Diese sind jedoch anspruchsvoll in der Wartung und aufwändig in der Datenbearbeitung.

Die Oberflächenfliessgeschwindigkeit kann kontinuierlich auch mit einem horizontalen ADCP oder bildbasierten Methoden gemessen werden. Diese Methoden sind noch im Entwicklungsstadium und werden an mehreren Pilotstationen getestet. Ziel ist es, diese Messmethodik operativ einzusetzen, um die Datenqualität zu erhöhen und den manuellen Messaufwand zu reduzieren.

7.1.3 Störungsmanagement

Aufgrund der Anforderungen nach hochverfügbaren sowie möglichst lückenlosen Daten, sind bei Messausfällen die nötigen Reparaturen an der Messinfrastruktur möglichst schnell auszuführen. Die Interventionszeiten sind in Abhängigkeit der Grösse der Hochwasserereignisses geregelt, und das Management erfolgt über das

Betriebsmanagementtool «Intervento». Störungen können per Fernzugriff oder vor Ort behoben werden. Um die Vorhersage auch im Ereignisfall aufrecht erhalten zu können oder Datenausfälle zu verhindern, sind die meisten Stationen mit redundanten Systemen ausgestattet. Die Messinfrastruktur sollte so ausgelegt sein, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit ein 100-jährliches Hochwasser schadlos übersteht.

7.1.4 Stationsunterhalt

Neben den regelmässigen Abflussmessungen, welche an den Basismessstationen ausgeführt werden, fallen auch Unterhaltsarbeiten an. Ziel ist es, die Messsysteme zur Wasserstandsmessung in einem technisch einwandfreien Zustand zu halten, um eine möglichst hohe Ausfallsicherheit und eine hohe Datenqualität zu erreichen. Dies hilft dabei, aufwändige Abklärungen und Datenkorrekturen im Nachhinein zu vermeiden. Die Unterhaltsarbeiten lassen sich in die folgenden Teilaufgaben gliedern:

1. Routinekontrolle: Ablesen des Wasserstands und der Wassertemperatur, optische Prüfung der Messstation und Meldung relevanter Beobachtungen (z. B. Schäden an Messinfrastruktur, Veränderungen im Querschnitt, Eisbildung, Baustellen, usw.)
2. Stationsbegehung bei Störungen, bei Abflussmessungen und bei Arbeiten an der Messinfrastruktur (inkl. Dokumentation der geleisteten Arbeiten)
3. Unterhaltsarbeiten und periodische Arbeiten an der Station: z. B. Gehölzpflege, Mäharbeiten, Beheben baulicher Schäden, Kalibrierung, usw.

Diese Arbeiten an der Station sind zentral für den einwandfreien Betrieb des Messnetzes und die resultierende Datenqualität. Eine systematische Dokumentation der Unterhaltsarbeiten, welche einen Einfluss auf den Messwert bzw. die Datenreihe haben könnten, ist für die anschliessende Datenbearbeitung und für Zeitreihenanalysen wichtig.

7.1.5 Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die geltenden Rahmenbedingungen sowie die Einflussfaktoren auf die Qualität der Rohdaten und dient somit als Grundlage für die

Ableitung potenzieller Massnahmen zur Optimierung im Basismessnetz.

7.2 Datentransfer

Der Datentransfer ab Station verläuft über das standardmässig eingebaute Mess- und Übertragungssystem (PLC-System). Auf diesem werden die Daten (ein Wert pro Sekunde) erfasst, gespeichert und über einen gewissen Zeitraum gemittelt: Beim Wasserstand typischerweise über fünf Minuten, vereinzelt aber auch über andere Zeitintervalle (z. B. zwei Minuten in Gewässern mit grosser Abflussdynamik). Diese Mittelwerte werden typischerweise alle zehn Minuten in die Datenbanken und an die Vorhersagesysteme übermittelt. Dies erfolgt via das Abfragesystem von MeteoSchweiz (DataWareHouse DWH-HydroServices).

Das PLC-System ermöglicht des Weiteren jederzeit die Fernüberwachung der Stationen. Auch eine Fernwartung ist dadurch in gewissen Fällen und in begrenztem Ausmass über diesen Zugriff möglich. Für die Datenübermittlung

stehen bei mit Strom- und Telefonanschluss erschlossenen Stationen mit dem Fest- und Mobilfunknetz zwei unabhängige Kommunikationswege zur Verfügung. Zudem ist jede Station mit einer Notstromversorgung ausgestattet, welche den Weiterbetrieb der elementaren 24V-Komponenten während max. 48 Stunden gewährleistet. Bezüglich Stromversorgung erfüllen autonome Messsysteme den gleichen Zweck mit eingeschränkter Funktionalität (stündliche Datenübermittlung).

Für den Datentransfer der kontinuierlichen Daten existiert ein hochverfügbarer, schneller sowie ein normaler, etwas langsamerer Weg. Für die hydrologischen Vorhersagemodelle, die Online-Publikation der Daten auf Internetportalen wie «Hydrologische Daten und Vorhersagen» des BAFU, dem Kartenportal des Bundes (map.geo.admin.ch) und der Gemeinsamen Informationsplattform Naturgefahren (GIN) (gin.admin.ch) sowie für ausgewählte Kantone und Kunden müssen die Daten hochverfügbar sein und so schnell wie möglich zur Verfügung stehen. Deshalb werden die Wasserstände noch im DWH mittels hinterlegter aktueller P/Q-Beziehungen in Abflüsse umgerechnet und direkt

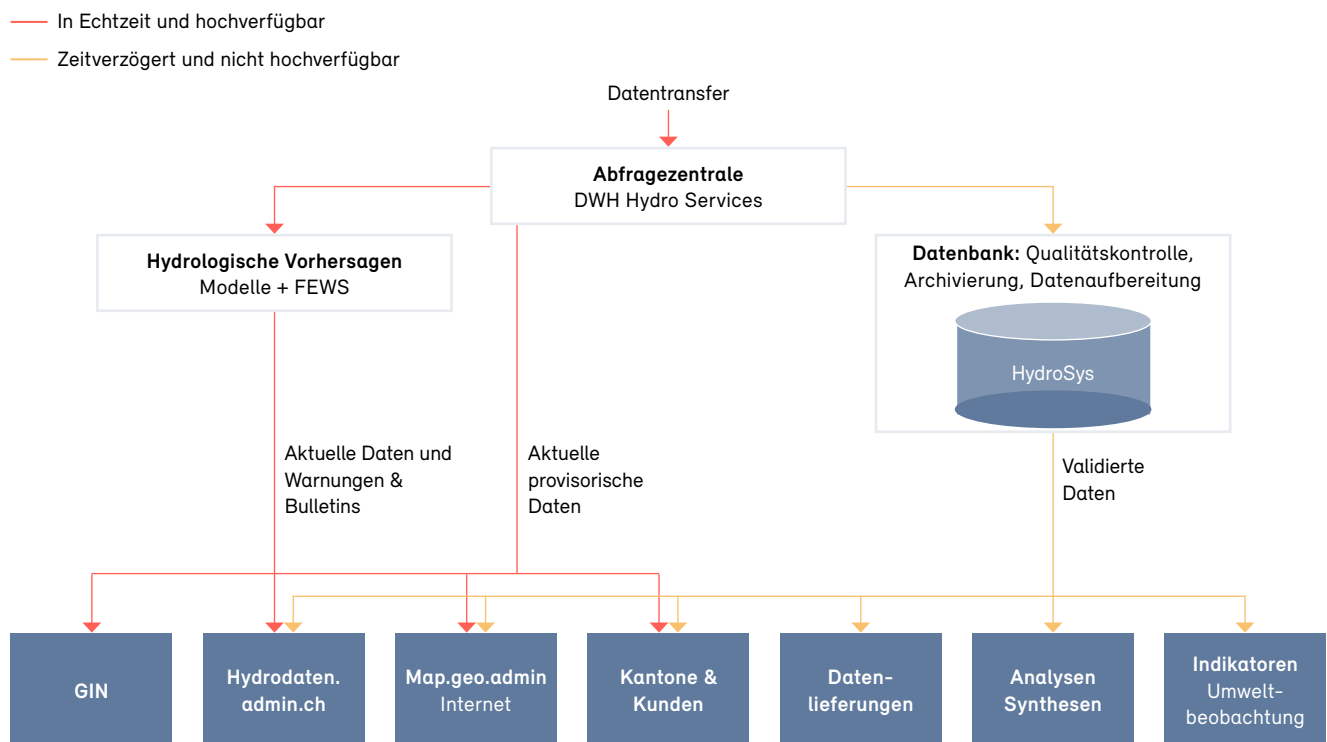
Tab.7: Rahmenbedingungen der Datenerhebung und Einflussfaktoren auf die Qualität der Rohdaten

	Rahmenbedingungen	Einflussfaktoren Datenqualität
Datenerhebung	<ul style="list-style-type: none"> • Naturräumliche Gegebenheiten an der Messstelle: Hydrologisches Verhalten des Einzugsgebietes (Ereignisdauer, Ausprägung der Ganglinie), Lage (Örtlichkeit) der Messstation, lokale hydraulische Verhältnisse (Beschaffenheit der Gewässersohle, Einbauten, Änderung Querschnitt, Effekte Feststofftransport wie z. B. Erosion/Deposition, etc.) • Vorgaben der Messstellenausrüstung: z. B. messtechnische Auflösung des Wasserstands (Sensorqualität) gemäss Anforderungen aus den Messprogrammen • Personensicherheit an Stationen • Lage und Zugänglichkeit Pegellatte für manuelle Wasserstandsablesungen. • Zusammenarbeit mit METAS • Ökologische Ansprüche (z. B. Fischdurchgängigkeit vs. Messgenauigkeit) • Zur Verfügung stehende finanzielle und personelle Ressourcen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl Abflussmessungen im Gerinne (jahreszeitliche Verteilung; in verschiedenen Wasserstandsbereichen) • Interventionsmanagement/Sicherstellung Betrieb • Umgang mit Pegelabweichungen/Datenkorrektur (z. B. wird Einfluss von Pflanzenwachstum mittels Verkrautungskurve korrigiert) • Kontrollablesungen Wasserstand • Montageort der Sonde in Bezug zu hydraulischen Beeinflussungen • Sondenwahl (Messprinzip, Messbereich) • Montageart (mechanischer Schutz, Halterung, an Brücke) • Feststellung Störung mit Hilfsgrössen (z. B. Kompressordruck) • Sondenwartung und -prüfung (Intervall, Ausführungsqualität) • Wartung Umfeld Messeinrichtung (Anströmung, Versandung, Einkiesung) • Wahl des geeigneten Abflussmessverfahrens in Abhängigkeit von Station, Umweltbedingungen, Pegelschwankungen, korrekte Anwendung des Verfahrens, Arbeitssicherheit

verteilt (Abb. 29 rote Pfeile). Gleichzeitig werden die Messdaten vom DWH aus auch an das zentrale Wasserinformationssystem HydroSys geliefert (Abb. 29, blaue Pfeile). Sekundärparameter mit Informationen über Messgeräte und Systemzustände in den Stationen werden ebenfalls in das HydroSys übermittelt. Zum Teil müssen Daten auch noch manuell importiert werden (z. B. Daten von Dritten, von autonomen Datenloggern während Bauarbeiten, etc.). Im Zuge der Automatisierung der Datenbearbeitung ist zu prüfen, ob in Zukunft alle Daten über die Datenbank HydroSys verteilt werden und die Unterscheidung

in schnellen und langsamen Weg aufgehoben wird. Dies hätte den Vorteil, dass auch für die Vorhersage und die Online-Publikation bereits vorkorrigierte Daten verwendet werden könnten.

Abb. 29: Datenfluss und Publikation der Daten des Basismessnetzes



Tab. 8: Rahmenbedingungen des Datentransfers und Einflussfaktoren auf die Qualität der Rohdaten.

	Rahmenbedingungen	Einflussfaktoren Datenqualität
Datentransfer	<ul style="list-style-type: none"> • Qualität der Leitungen/Infrastruktur (DSL/Mobile) • Dienstleistung Provider Leitungen (SLA mit definierten Reaktionszeiten) • Qualität Softwareentwicklung und Deployment (PLC und Campbell) • Interventionsmanagement (inkl. SLA mit definierten Reaktionszeiten) • Informatiksicherheit (nötig ab Stationszugang bis Endprodukte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrolle, ob Daten z. B. in HydroSys eingetroffen sind • Standardisierung Messnetz (Produktion) und separate Testsysteme • Mittelwertbildung auf dem eingebauten Mess- und Übertragungssystem (aus 300 Einzelwerten wird ein 5-Minuten-Mittelwert gebildet, Ausreisser können grossen Einfluss haben) • Redundante Datenerfassung

7.3 Datenbearbeitung und -haltung, Qualitätsmanagement

Die Daten des Basismessnetzes werden in der zentralen Datenbank HydroSys gespeichert, bearbeitet und archiviert. Es handelt sich hierbei sowohl um kontinuierliche Daten, als auch um Einzelwerte. Zu den kontinuierlichen Daten gehören die Messwerte selbst (z. B. Wasserstand) aber auch Sekundärparameter zur Überwachung der Messsysteme und als Hilfsmittel für die Datenbearbeitung (z. B. Kompressordruck). Zu den Einzelwerten gehören die bei der Station manuell abgelesenen Wasserstände und Wassertemperaturen (Referenz- und Kalibrierungsdaten) sowie die punktuellen Abflussmessungen im Gerinne. Ebenfalls sind ausgewählte historische Daten und Metadaten in HydroSys gespeichert, die Informationen über das Einzugsgebiet, die Stationsausrüstung sowie die Stationsgeschichte geben. Ein Metadatenkonzept für das Basismessnetz liegt vor.

Die Wasserstands- und Abflussdaten durchlaufen vom Status «Rohdaten» bis zu den «validierten Daten» verschiedene Qualitätskontrollen. Sie werden dabei bei Bedarf automatisiert oder manuell durchgeführt. Abbildung 30 gibt einen Überblick über die Abläufe im Datenmanagement, inkl. Fristen für die Datenverfügbarkeit, bearbeitete Datentypen und implementierte Qualitätskontrollen.

7.3.1 Qualitätskontrolle und Korrektur Wasserstandsdaten

In einem ersten Schritt erfolgt als Qualitätskontrolle die automatische Prüfung auf die Aktualität der Daten, d. h. ob die Daten einer Station übermittelt werden oder ob eine Störung im Datentransfer vorliegt (Abb. 29, QK I a). In einem nächsten Schritt werden die Rohdaten wöchentlich visuell oder automatisch innerhalb der Datenbank auf Vollständigkeit, Ausreisser, Sprünge, u. a. kontrolliert, um Störungen im Messsystem zu erkennen und zu melden (QK I b). Innerhalb von zwei Monaten werden die erkannten Fehler, wenn möglich, korrigiert und auf innere (Vergleich von zwei Sensoren an derselben Station oder mit manueller Wasserstandsablesung) und räumliche (Vergleich mit Oberlieger-/Unterlieger-Station) Kohärenz geprüft (QK II). Nach diesem Schritt sind die Wasserstandsdaten geprüft und es liegen so genannte «geprüfte» Abflussdaten vor. Abbildung 31 stellt die am häufigsten beobachteten Fehler in den Wasserstandsdaten, sowie die zur deren Korrektur angewendeten Methoden dar.

Eine besondere Herausforderung für die Datenkorrektur sind Ausreisser und Lücken. Bei den Ausreissern sollten nur diejenigen korrigiert werden, die eindeutig einem Messfehler zugeordnet werden können (z. B. Fehler im Messsignal, vereister Messsensor). Nicht korrigiert werden sollten Ausreisser, die durch Prozesse im Gewässer verursacht wurden (z. B. Eisstau im Gerinne mit Anstieg Wasserstand, Schwall/Sunk). Situationen also, bei denen effektiv der Wasserstand im Gerinne diese Ausreisser verursacht hat. Eine Unterscheidung ist je nach Situation nicht immer einfach. Kurze Lücken (weniger als 15 Min.) werden in der Datenbank automatisch linear geschlossen. Längere Lücken werden, wenn möglich, mit Vergleichsreihen geschlossen. Die Reihenfolge der Auswahl der Vergleichsreihe lautet wie folgt:

1. Anderer Sensor am gleichen Messpunkt
2. Anderer Sensor an gleicher Station
3. Anderer Sensor an Oberlieger-/Unterlieger-Station
4. Anderer Sensor von Dritten (Kanton, Kraftwerk, etc.)

Liegen keine Vergleichsreihen vor, muss abhängig von der hydrologischen Situation und der Dauer der Lücke entschieden werden, ob diese linear geschlossen werden kann. Es laufen Untersuchungen, ob in diesen Fällen Lücken auch mit Hilfe von Niederschlag-Abflussmodellen geschlossen werden könnten. Bis Ende 2024 wurden Fehler noch hauptsächlich manuell identifiziert und korrigiert. Mit der Inbetriebnahme eines Datenvalidators in der Datenbank Anfang 2025 werden aber möglichst viele dieser Arbeiten automatisiert.

Alle Veränderungen an den Rohdaten werden durch Kommentare markiert, so dass die Korrekturen immer nachvollzogen werden können. Seit 2004 werden korrigierte Daten als neue Datenreihe in der Datenbank abgespeichert, die Rohdaten bleiben somit unverändert erhalten. Vor diesem Zeitpunkt wurden die Rohdaten nicht archiviert oder liegen nur analog als Limnigramme vor. Allgemein gute Vorgaben zum Datenmanagement sind u. a. zu finden in CEN/TC (2017).

7.3.2 Prozess Erstellung Wasserstand/Abfluss-Beziehung

Werden bei verschiedenen Wasserständen manuell Abflussmessungen ausgeführt, kann aus den Pegel- und Abflussdaten eine P/Q-Beziehung bestimmt werden.

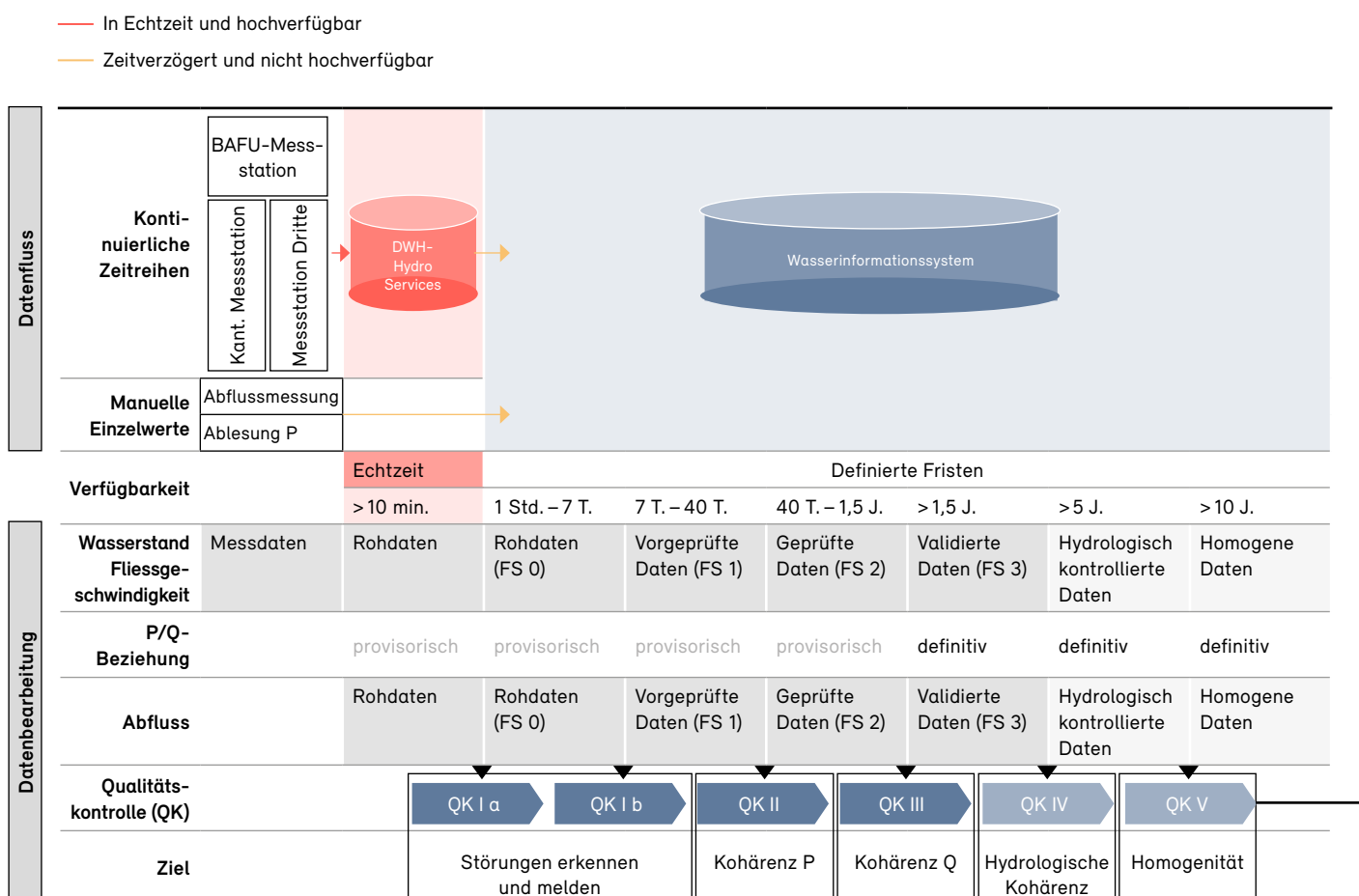
Diese ermöglicht für jeden Wasserstand die Ableitung der zugehörigen Abflussmenge. Die P/Q-Beziehung kann in Form einer Kurve (Schlüsselkurve) (Abb. 32) oder einer Werteliste angegeben werden.

Die Güte der P/Q-Beziehung ist einerseits abhängig von den natürlichen Gegebenheiten (z. B. lokale hydraulische Verhältnisse an der Messstelle, wie die Beschaffenheit der Gewässersohle oder Einbauten, Verkrautung etc.), andererseits von der Anzahl Abflussmessungen an einer bestimmten Station. Zusätzlich ist es wichtig, Abflussmessungen während statistisch selteneren Ereignissen wie Niedrigwasser- oder Hochwasser-Situationen zu erheben, um eine zuverlässige P/Q-Beziehung über einen grossen Abflussbereich zu erhalten. Dies ist jedoch vor allem bei

Hochwasser nicht immer möglich, da das Hochwasser zu schnell abläuft oder die Situation eine gute und sichere Messung nicht zulässt (z. B. bei Gewitter oder nachts). Hinzu kommen weitere erschwerende Faktoren wie Pegelschwankungen während der Messung, Sohlenlageveränderungen und/oder Treibholz. Die P/Q-Beziehung muss deshalb meistens über den gemessenen Bereich hinaus, von der Installationshöhe bis zum maximal messbaren Wasserstand erweitert (extrapoliert) werden.

Die Qualitätssicherung in der Festlegung der aktuellen P/Q-Beziehung erfolgt über die zuständigen Messstationsverantwortlichen nach dem Vier Augen-Prinzip sowie über ein abschliessendes Stichproben-Controlling durch die Sektionschefin/den Sektionschef Hydrometrie.

Abb.30: Workflow Datenmanagement und Qualitätskontrolle Daten Basismessnetz unter Angabe der Datenverfügbarkeit, der Datentypen sowie der Qualitätskontrolle



Die aktuelle Praxis sieht bei Abweichungen der Einzelmessung von der P/Q-Beziehung von weniger als 20 mm beim Wasserstand oder weniger als 2 % beim Abfluss keine Erstellung einer neuen Kurve vor. Weicht eine Abflussmessung stärker ab, wird vor der Erstellung einer neuen P/Q-Beziehung noch überprüft, ob es sich um eine «Ausreissermessung» handelt (z. B. Messfehler bei der Abflussmessung) und die Folgemessungen wieder auf der alten Wasserstand-Abfluss-Beziehung liegen. In diesem Fall wird keine neue Kurve erstellt. Momentan gibt es Bestrebungen, den Prozess der Erstellung der P/Q-Beziehungen abzuändern und zu optimieren nach den Methoden, die in Darienzo et al. (2021) und Puechberty et al. (2017) vorgeschlagen werden.

Insbesondere im Rahmen von Wasserbau- oder Forschungsprojekten wurden für einige Stationen hydraulische Berechnungen durchgeführt, um die Extrapolation

der P/Q-Beziehung zu verbessern. Diese Methode sollte in Zukunft systematisch zur Extrapolation von P/Q-Beziehungen eingesetzt werden. An einigen kleinen Stationen mit klar definierten V-Überfällen wird inzwischen die P/Q-Beziehung sogar nur noch rechnerisch ermittelt und es wird auf Abflussmessungen verzichtet, da die Abflussmessungen die Datenqualität nicht erhöhen (z. B. Stationen Schwändlibach und Rotenbach). Für einzelne Stationen wurden von der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich im Rahmen von Hochwasserschutzprojekten auch physikalische hydraulische Modelle erstellt, um die P/Q-Beziehung im Hochwasserfall zu verbessern (z. B. für die Station Schächen – Bürglen).

7.3.3 Qualitätskontrolle und Korrektur Abflussdaten



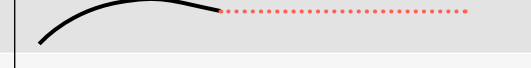

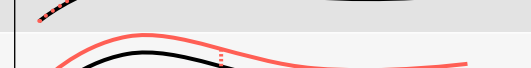


Nach Erstellung der definitiven P/Q-Beziehungen werden die resultierenden Abflussdaten noch einmal auf innere und räumliche Konsistenz hin überprüft. Insbesondere

QK	Intervall	Ziel	Datenprüfung	Datenkorrektur/Massnahmen
QK I a	täglich	Sicherstellung Datenfluss	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Prüfung Datenfluss • Aktualitätsprüfung 	<ul style="list-style-type: none"> • Interventionsmanagement (Betrieb Systeme); Verantwortung SHI
QK I b	wöchent- lich	Störungen erkennen und melden	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrologische Störungs- und Fehlererkennung • Prüfung auf Vollständigkeit, Ausreisser, Sprünge, etc. (mit autom. Datenvalidieren und visuell) 	<ul style="list-style-type: none"> • Interventionsmanagement (Störungsbehebung)
QK II	monatlich	Innere räumliche Kohärenz P	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung auf Vollständigkeit, Ausreisser, Sprünge, etc. (mit autom. Datenvalidieren und visuell) • Vergleich mit anderen Sensoren, Kontrollwerten, anderen Parametern und ggf. Daten Dritter (Kantone, Kraftwerke, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenkorrekturen im Wasserstand (Ausreisser entfernen, Lücken schliessen, Driftkorrekturen, etc.) • Hinzufügen von Kommentaren, Informationen aus Feld → Fokus Wasserstand • Erstellung neue provisorische P/Q-Beziehungen
QK III	jährlich	Innere räumliche Kohärenz Q	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche mit Ober- und Unterliegerstationen mittels Summen und Differenzen • Berechnung von Bilanzen, Prüfung der Daten im Jahresverlauf Prüfung P/Q-Beziehung 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenkorrekturen im Wasserstand • Hinzufügen von Kommentaren, Informationen aus Feld, • Nivellementkorrekturen mit Pegelnullpunkt • Erstellung definitive P/Q-Beziehungen (Bestätigung der letzten P/Q durch Messung im Folgejahr) → Fokus Abfluss
QK IV <i>in Planung</i>	alle 3-5 Jahre	Hydrologische Kohärenz	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleiche mit angrenzenden Einzugsgebieten • Berechnung und Vergleich hydrologischer Kenngrößen (statistische Einordnung) • Abfluss- und Niederschlagsvergleiche • Hydrologische Modellierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenkorrekturen im Wasserstand • Anpassungen P/Q-Beziehungen
QK V <i>in Planung</i>	in Projekten	Homogene Daten	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenitätsanalyse • Überprüfung Auswerteperioden 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenkorrekturen im Wasserstand • Anpassungen P/Q-Beziehungen

muss sichergestellt werden, dass es nicht zu Sprüngen in den Abflussdaten bei Wechsel von P/Q-Beziehungen kommt. Ebenfalls wird geprüft, ob es Lücken im Abfluss gibt, weil nicht alle gemessenen Wasserstände auch durch die P/Q-Beziehungen abgedeckt sind. Als letzter Schritt erfolgt dann noch ein Vergleich der Abflüsse mit benachbarten sowie Ober- und Unterlieger-Stationen. Nach Abschluss dieser Qualitätskontrollen (QK III in Abb. 30) werden die Wasserstand- und Abflussdaten als «validiert» bezeichnet.

In grösseren zeitlichen Abständen werden die Daten auch noch hydrologisch analysiert (z. B. Analyse der Zeitreihen der statistischen hydrologischen Kennwerte und Berechnung von Wasserbilanzen) und es werden Homogenitätsanalysen durchgeführt (QKIV und QKV in Abb. 30). Diese Arbeiten haben bisher jedoch eher Projektcharakter und sind noch nicht im operativen Datenbearbeitungsprozess integriert. Im Rahmen von Studien Dritter werden ebenfalls Qualitätsprüfungen der Daten durchgeführt (z. B. hydraulische Nachrechnungen von P/Q-Beziehungen im Rahmen von Hochwasserschutzprojekten) und Fehler in den Daten dem BAFU gemeldet. Es ist noch zu klären, wie mit diesen nachträglich gefundenen Fehlern umzugehen ist und ob sie korrigiert werden sollen oder überhaupt korrigiert werden können. Bei den Daten vor 2018 und insbesondere vor 1974 ist dies aus technischen Gründen schwierig, sehr aufwändig oder sogar unmöglich.

Abb.31: Auftretende Fehler in den Messreihen und mögliche Massnahmen zu ihrer Korrektur

	Beobachtung	Massnahme
	Ausreisser	<ul style="list-style-type: none"> • Löschen • Lücke füllen
	Lücke	<ul style="list-style-type: none"> • Lücke füllen
	Frozen signal	<ul style="list-style-type: none"> • Löschen • Lücke füllen
	Unterschreitung (Minuswerte)	<ul style="list-style-type: none"> • Löschen • Lücke füllen
	Versatz	<ul style="list-style-type: none"> • Lineare Drift
	Versatz	<ul style="list-style-type: none"> • Konstante Drift
	Genauigkeit ausserhalb	<ul style="list-style-type: none"> • Driften auf Referenzwerte
	Genauigkeit überdeckend	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Drift

7.4 Datenanalysen und Publikation

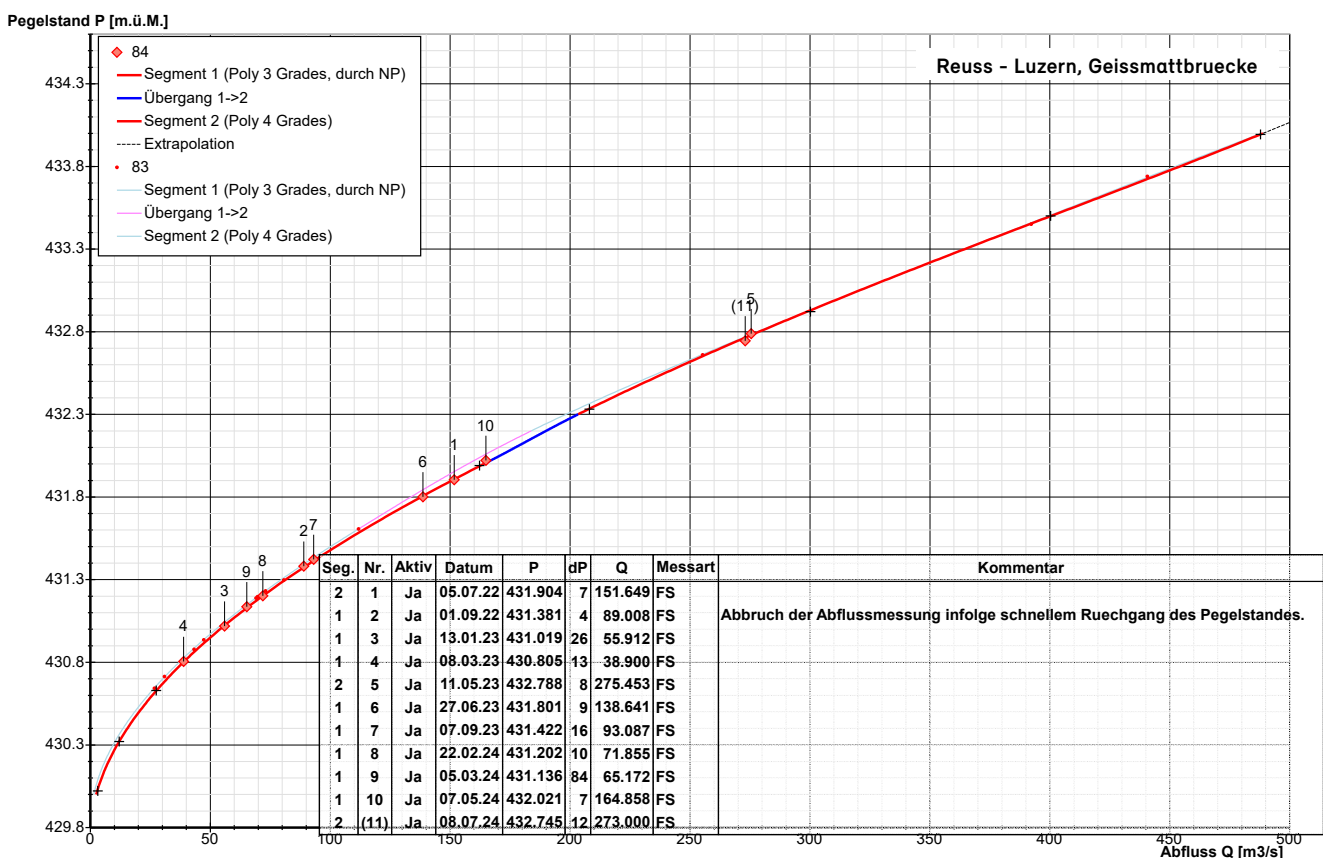
Die Abteilung Hydrologie ist verpflichtet, die Daten in geeigneter Form unter Einbezug der heutigen technischen Möglichkeiten zu analysieren und zu veröffentlichen. Früher erfolgte die Publikation der Daten hauptsächlich über das Hydrologische Jahrbuch. Eine gute Zusammenfassung der Geschichte des hydrologischen Jahrbuchs und seiner Inhalte findet sich in BAFU (2017). Produkte, die heute regelmässig erstellt oder aktualisiert werden, sind u. a. das Hydrologische Jahrbuch, die Indikatoren der Umweltbeobachtung, die Abflussstatistiken, der digitale «Hydrologische Atlas der Schweiz» (HADES) sowie die Lieferung von Daten und Indikatoren an Externe (z. B. EUA, GRDC, GCOS). Hinzu kommen Auswertungen und Analysen

der Daten in unregelmässigen Abständen, z. B. im Rahmen von Forschungsaktivitäten und für spezifische Fragestellungen. Im Rahmen der neuen Open Data-Gesetzgebung müssen alle Daten des Basismessnetzes online und in maschinenlesbarer Form zur Verfügung gestellt werden. Technische Lösungen für einen öffentlichen Zugang zu diesen Daten sind zurzeit in Erarbeitung.

7.5 Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren

Die Tabelle 9 gibt einen Überblick über die geltenden Rahmenbedingungen sowie die Einflussfaktoren auf die Datenqualität und dient somit als Grundlage für die Ableitung potenzieller Massnahmen zur Optimierung im Basismessnetz.

Abb.32: Wasserstand-Abfluss-Beziehung der Reuss bei Luzern



8 Vergleich Soll-Ist-Zustand und Identifikation bestehender Lücken

8.1 Datenqualität

Die Qualität der Rohdaten ist stark abhängig von der Messstelle und durch verschiedene hydrologische und hydraulische Faktoren beeinflusst. Eine Bewertung der einzelnen Stationen in Bezug auf ihre Standortqualität und die Qualität der Wasserstands- und Abflussdaten in den verschiedenen Abflussbereichen (NQ, MQ und HQ) ist für eine gezielte und wirtschaftliche Massnahmenableitung notwendig. Eine solche systematische Stationsbewertung, welche einen detaillierten Vergleich zwischen Ist- und Sollzustand auf Ebene Messstelle ermöglichen würde, fehlt bis anhin. Gerade in den Bereichen Niedrigwasser und Hochwasser könnte diese als gute Grundlage für gezielte Verbesserungen dienen, z.B. durch häufigere Abflussmessungen, hydraulische Modellierung, bauliche Anpassungen an der Messstelle oder Wechsel der Messmethodik.

Eine automatisierte Vorkontrolle/Ausreisserkontrolle für die hochverfügbaren Rohdaten existiert zurzeit nicht. Insbesondere für das Anwendungsgebiet «Hochwasservorhersage» könnte dies eine erhebliche Verbesserung bringen.

Die Daten sollten vermehrt auch hydrologisch validiert werden (z. B. Vergleich mit Modellierungen, Quer- und Längsvergleiche mit anderen Stationen) und es müssen Homogenitätsanalysen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass Daten über verschiedene Perioden hinweg vergleichbar sind.

8.2 Messfrequenz, zeitliche Verfügbarkeit und maximale Ausfalldauer

Die Anforderungen an die Messfrequenz, die zeitliche Verfügbarkeit und die maximale Ausfalldauer sind für alle Anwendungsgebiete in den meisten Fällen gewährleistet. Provisorisch validierte Daten stehen nach rund drei Monaten zur Verfügung. Der Prozess für die Bereitstellung der validierten Daten dauert aus verschiedenen Gründen aktuell zu lange, so dass diese erst nach rund drei Jahren für alle Abflussstationen zur Verfügung stehen. Gemäss Soll-Prozess stehen die validierten Daten des Berichtsjahres im Herbst des Folgejahres zur Verfügung. Zudem müssen alle hydrologischen Daten gemäss der gesetzlichen Verpflichtung (EMBAG) maschinenlesbar und frei zugänglich zur Verfügung stellen.

Tab.9: Rahmenbedingungen des Datenmanagements und Einflussfaktoren auf die Datenqualität

	Rahmenbedingungen	Einflussfaktoren Datenqualität
Datenmanagement und Qualitätssicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Informatiksicherheit • Stand und technische Möglichkeiten der Softwareentwicklung HydroSys und DWH • IT-Infrastruktur: Betrieb • Zur Verfügung stehende finanzielle und personelle Ressourcen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentation Metadaten (evtl. Sekundärparameter) • Automatisierte Datenkontrolle beim Import der Daten • Standardisierung unter Vorgabe klarer Kriterien für manuelle Datenkontrolle, Datenkorrektur und Kohärenzprüfung • Einhalten von Vorgaben des Europäischen Komitees für Normung CEN (CEN/TC, 2017) wie z. B. Beibehalten der Rohdaten • Homogenisierung (lange Messreihen)
Datenanalysen und Publikation	<ul style="list-style-type: none"> • «Nutzerbedürfnisse» bzw. Bedürfnisse aus den Anwendungsgebieten • Informatiksicherheit • Performanz der IT-Systeme • Open data-Gesetzgebung Bund 	<ul style="list-style-type: none"> • Aggregation: Mittelwertbildung, Zeitreihenanalyse • Berechnung standardisierte Analysen (z. B. HW-/NW-Statistik, Trends), Aufbereitung Indikatoren • Freien Zugang zu Daten gewährleisten • Standardisierte Formate/Schnittstellen, idealerweise nur mittels moderner API (Application Programming Interface) • Standardisierte Stationsmetadaten (Stationsnummer, Parametername) • Prüfung von Kosten und Nutzen einer weiteren Rückdigitalisierung

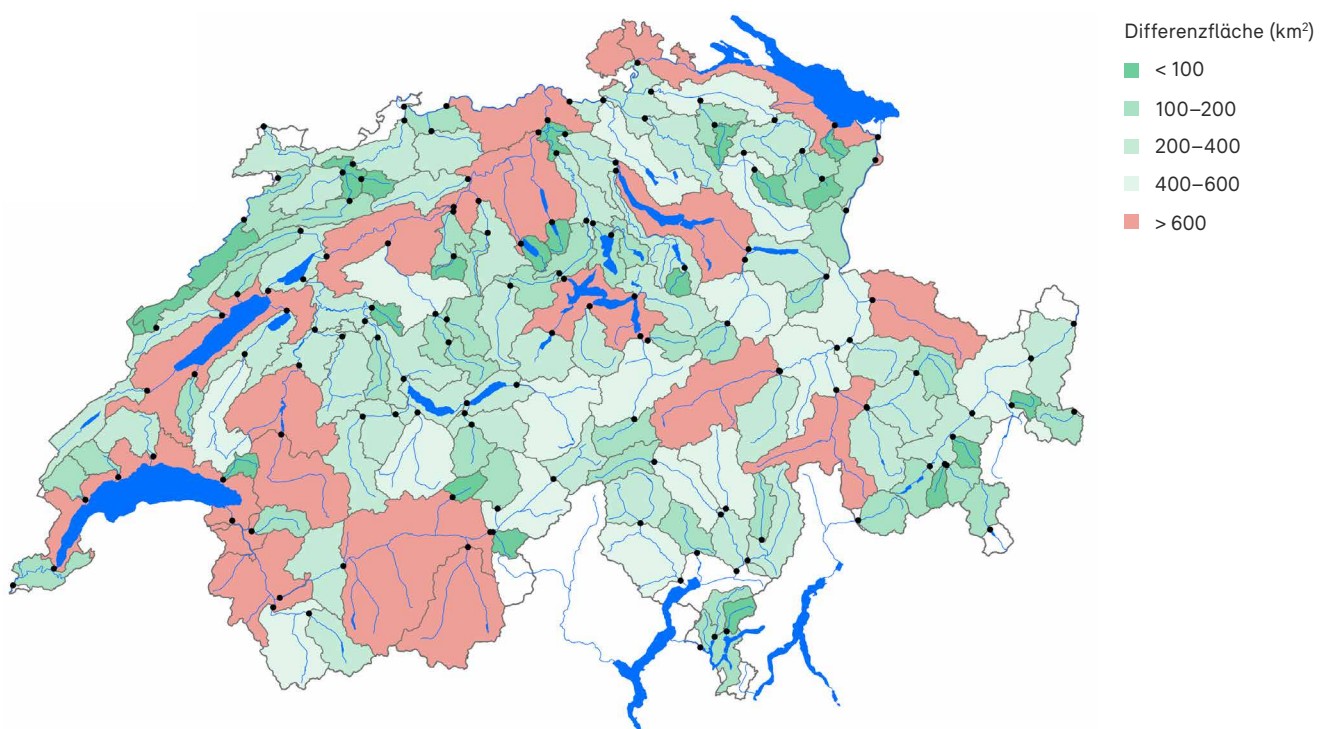
8.3 Räumliche Abdeckung und Schlüsselstationen

Das Messnetz Wasserstand und Abfluss der Oberflächengewässer repräsentiert die hydrologischen und naturräumlichen Gegebenheiten in der Schweiz gut. Jedoch gibt es aus den verschiedenen Anwendungsgebieten heraus Bedürfnisse nach einer gezielten Messnetzverdichtung.

8.3.1 Anwendungsgebiet Wasserhaushalt

Mit dem heute bestehenden Messnetz Wasserstand und Abfluss der Oberflächengewässer ist es grundsätzlich möglich, einen Verbund von Messstationen mit einer mittleren (Zwischen-)Einzugsgebietsgrösse von 300 km² zu etablieren. Allerdings ist die Variationsbreite der Grösse der Wasserhaushaltsgebiete von 51 km² bis 1611 km² sehr gross. Ein Maximalwert von 600 km² sollte möglichst nicht überschritten werden (Abb.33) (Schädler, 2015). Die

Abb.33: Die Einzugsgebietsgrössen der 138 Basismessnetzstationen mit einem Einzugsgebiet grösser als 50 km², dargestellt ohne die ausländischen Einzugsgebietsanteile



Tab.10: Einzugsgebiete zur Bestimmung des Wasserhaushalts

Für diese sieben Gebiete besteht Abklärungs- bzw. Handlungsbedarf bezüglich Verdichtung des Messnetzes.

Stations-Nr.	Stationsname	Grossregion	Diff.-Fläche (km ²)
2150	Landquart – Felsenbach	Innere Alpen	614
2033	Vorderrhein – Ilanz	Innere Alpen	774
2351	Vispa – Visp	Innere Alpen	778
2011	Rhône – Sion	Innere Alpen	1611
2387	Hinterrhein – Fürstenu	Innere Alpen	681
2009	Rhône – Porte du Scex	Innere Alpen	659
2160	Sarine – Broc, Château d'en bas	Voralpen	636

Messstationen der grössten Wasserhaushaltsgebiete sind teilweise am Ausfluss der grossen Seen zu finden. Wenn die Seefläche von der Differenzeinzugsgebietsfläche abgezogen wird, verkleinert sich diese oft unter die 600 km²-Marke. Da an allen grossen Seen die Wasserstände gemessen werden, können die Seevolumen-Änderungen quantifiziert werden. Eine Verdichtung des Basismessnetzes für diese Gebiete ist deshalb nicht notwendig und wäre auch schwierig, da dazu viele Stationen an kleinen Seezuflüssen erstellt werden müssten. Die grossen Differenzeinzugsgebiete bei den Stationen Rhein – Rheinfelden, Sarine – Fribourg, Aare – Murgenthal und Aare – Brugg sind ebenfalls nicht so kritisch, da das Abflussgeschehen weitgehend durch die Wehranlagen an den oberhalb liegenden Seen bestimmt wird und/oder das Differenzeinzugsgebiet im Vergleich zum Gesamteinzugsgebiet klein ist. Hingegen besteht bei sieben Stationen, die mit Ausnahme der Station Sarine – Broc durchwegs in den inneren Alpen liegen, ein Abklärungs- bzw. Handlungsbedarf für eine Verdichtung des Messnetzes (vgl. Tab. 10). Problematisch in allen sieben Gebieten ist die starke Beeinflussung durch die Wasserkraftnutzung und die damit verbundenen Zu- und Ableitungen von Wasser in das bzw. aus dem Gebiet. Dies erschwert Berechnungen zum Wasserhaushalt erheblich oder macht sie sogar unmöglich. Dies gilt allerdings auch für bestehende Stationen des Basismesses (z. B. Hinterrhein – Fürstenaau). Hier müsste abgeklärt werden, ob Ab- und Zuleitungen nicht (besser) erfasst werden könnten, um sie für Berechnungen des Wasserhaushalts nutzbar zu machen. Überprüft werden sollte auch, ob durch die Berücksichtigung bestehender kantonaler Messstationen die Differenzeinzugsgebiete weiter verkleinert werden könnten.

8.3.2 Anwendungsgebiet Vorhersagen und Warnungen vor Hochwasser

Die grössten Lücken für die Hochwasservorhersage in den bestehenden Messnetzen des BAFU und der Kantone wurden in den alpinen Gebieten, insbesondere im Wallis und Graubünden festgestellt. Die Qualität der Hochwasservorhersagen könnte erheblich verbessert werden, wenn an folgenden Standorten Abflussdaten durch das BAFU erhoben würden:

- Rhone – Region Leuk
- Hinterrhein – Andeer

Der Kanton Wallis ist daran, ein eigenes Messnetz aufzubauen. In den letzten Jahren wurden mehrere Stationen gebaut und weitere sind in Planung. Von den bereits gebauten Stationen ist insbesondere die Matter Vispa – St. Niklaus von grossem Interesse für das BAFU. Zudem könnten die Stationen La Navisence – Chippis, Lonza – Gampel, Saaser Vispa – Saas-Balen, Dranse d'Entremont – Orsières und Dranse de Ferret – Orsières nützlich sein. Von den neu geplanten Stationen wären folgende Standorte für die Hochwasservorhersage interessant: Rhône – Sierre; Binna – Binn; La Vièze de Champéry – Troistorrens, Salentse – Saillon, La Losentse – Chamoson, La Fare – Riddes, La Rèche – Chalais, La Dixence – Hérémence; Wysswasser – Fiesch, La Printse – Nendaz, Salanfe – Vernayaz.

Auch der Kanton Graubünden hat in den letzten Jahren sein Messnetz auf 32 Wasserstands- und/oder Abflussstationen ausgebaut. 13 Stationen davon könnten für die Hochwasservorhersage interessant sein. Entsprechende Abklärungen dazu laufen. Ein regelmässiger Austausch mit allen Kantonen ist wünschenswert, insbesondere wenn sie ihr Messnetz ausbauen.

Die Hochwasservorhersage benötigt Messdaten der wichtigsten ausländischen Zuflüsse. Dazu hat das BAFU Abkommen mit den ausländischen Partnerdienststellen. Gleiches gilt für Messdaten von Privaten (z. B. Kraftwerken). Diese Abkommen müssen regelmässig angepasst und bei Bedarf müssen neue abgeschlossen werden.

8.3.3 Alle anderen Anwendungsgebiete

Bei allen anderen Anwendungsgebieten besteht kein oder nur geringer Bedarf nach neuen Abflussmessstationen oder der Bedarf ist noch nicht genügend konkretisiert, um daraus schon Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Tabelle 11 gibt einen Überblick über den möglichen Bedarf.

8.3.4 Nicht mehr benötigte Messstationen

Im heutigen Basismessnetz gibt es Stationen, die keinem Anwendungsgebiet zugeordnet werden können. Für diese Stationen muss mittels einer strategischen Planung geprüft werden, ob eine Aufhebung möglich ist, bzw. welche Schritte dafür besonders in Zusammenarbeit mit den Kantonen und dem Ausland erforderlich sind (z. B. Anpassung Verträge, Übergabe Stationen an Kantone, etc.).

8.3.5 Gesamtbeurteilung

Ein Abgleich der vorliegenden Anforderungen mit dem tatsächlich bestehenden Basismessnetz (Stand 2023) zeigt auf, dass das bestehende Messnetz im Bereich Quantität Oberflächengewässer eine sehr gute Grundlage bildet, um die Mindestanforderungen für alle Anwendungsgebiete zu erfüllen.

Weitere Qualitätsmerkmale wie räumliche Abdeckung, Schlüsselstationen, Kontinuität der Zeitreihen zeigen bei einem generellen Soll-Ist-Vergleich v. a. Lücken in der räumlichen Abdeckung im Wallis und in Graubünden sowie eine zunehmende Wichtigkeit von langen, homogenen Zeitreihen

für nachgelagerte Analysen (z.B. Niedrigwasser, Veränderungen im Wasserhaushalt) auf (Tab.12). Es gibt auch Stationen, die von keinem der Anwendungsgebiete mehr als dringend notwendig erachtet werden und deshalb nach ausführlichen Abklärungen gegebenenfalls aufgehoben werden können.

Für eine hohe Qualität der Abflussdaten sind eine ausreichende Anzahl an Messungen im Feld (Abflussmessungen und Wasserstands-Kontrollablesungen) sowie ein guter Stationsunterhalt entscheidend. Zudem sollte die Erstellung von P/Q-Beziehungen insbesondere im Extrapolationsbereich verbessert werden (z. B.

Tab.11: Anwendungsgebiete und ihr möglicher Bedarf an zusätzlichen Abflussmessstationen.

Anwendungsgebiet	Möglicher Bedarf	Bewertung
Information, Vorhersage und Frühwarnung bei Niedrigwasser	Evtl. neue Stationen notwendig	Für jede der 38 regionalen Warnregionen müssen repräsentative Abflussmessstationen vorliegen. Dies ist allein mit den Stationen des Basismessnetzes nicht möglich, kantonale Stationen müssen einbezogen werden. Welche kantonalen Stationen berücksichtigt werden können und ob es eventuell auch noch neue Stationen braucht, wird erst im Verlauf des weiteren Ausbaus der Trockenheitsinformationsplattform festgelegt.
Wasserwirtschaft, Hochwasserschutz und Forschung	Unterhalb von Gletschern	Die Forschung hat sich in der Vergangenheit Stationen unterhalb von Gletschern gewünscht. Infolge des rapiden Gletscherschwundes ist dies aber für die meisten kleinen Gletscher nicht mehr relevant. Die bestehenden Stationen unterhalb von Gletschern (z.B. Massa – Blatten oder Rhone – Gletsch) müssen aber unbedingt erhalten werden.
	Kleine Mittellandgebiete im Landwirtschaftsgebiet	Kleine Mittellandgebiete sind wichtig für Fragestellungen zur Gewässerqualität und dem Trockenfallen von Gewässern. Hier sollte überprüft werden, inwieweit bestehende kantonale Stationen das Messnetz ergänzen könnten.
	Urbane Gebiete	Das Wassermanagement in städtischen Gebieten wird immer wichtiger (z. B. infolge Zunahme Starkniederschläge und Oberflächenabfluss). Auch hier sollte geprüft werden, ob das Messnetz mit bestehenden kantonalen Stationen ergänzt werden könnte.
	Temporäre Abflussmessstationen	Aus Sicht Forschung wäre es interessant, temporäre Abflussmessstationen über wenige Jahre in möglichst vielen Gebieten zu haben, um die hydrologischen Modelle besser kalibrieren zu können. Allerdings ist der Aufwand für qualitativ gute temporäre Messungen sehr gross. Ein Konzept, welche Gebiete in welcher Qualität gemessen werden sollten, gibt es nicht.
	Universitäre Forschungsgebiete	Einige Hochschulen betreiben Abflussmessstationen in Forschungsgebieten, z. T. schon seit mehreren Jahrzehnten. In der Vergangenheit hat das BAFU solche Stationen teilweise ins Basismessnetz aufgenommen, um den langfristigen Betrieb sicherzustellen. Eine Übernahme muss immer im Einzelfall beurteilt und entschieden werden.
Wasserqualität	Kantonale NAWA-Stationen	Abfluss- und Wassertemperaturmessungen an allen NAWA-Stationen wären wünschenswert, um die chemischen und biologischen Messungen besser interpretieren zu können. In Zukunft sollen die Daten der kantonalen Abfluss- und Wassertemperatur-Stationen in die Bundesdatenbank übernommen werden, um Analysen der NAWA-Daten zu vereinfachen.
	Kantonale Wassertemperaturstationen	Das Bundesmessnetz der Wassertemperatur soll durch Messstellen der Kantone ergänzt werden. Im Idealfall werden an diesen Stationen auch Abflussdaten erhoben.
Vollzug	Bei Kläranlagen	Um den Einfluss von Kläranlagen und insbesondere den Verdünnungsgrad von Abwasser im Gewässer unterhalb der Kläranlage bestimmen zu können, wären Abflussmessstationen nützlich.

Tab.12: Generelle Übersicht über den Grad der Erfüllung der Anforderungen im bestehenden Messnetz

■ = Mehrheitlich erfüllt (Mindestanforderungen); ■ = teilweise erfüllt, es besteht Verbesserungspotenzial.

Anwendungsgebiete								
	Wasserhaushalt	Hochwasservorhersage	Niedrigwasser	Gewässerqualität	See-regulierung	Wasserwirtschaft und Forschung	Vollzug GschG	International
Messqualität	■ Systematische hydrologische Qualitätskontrolle langer Messreihen fehlt	■ Automat. Vor- kontrolle fehlt P/Q-Beziehungen zum Teil zu ungenau im Hochwasserbereich	■ Automat. Vor- kontrolle fehlt P/Q-Beziehungen zum Teil zu ungenau im Niederwasserbereich	■	■ Messqualität der Ultraschallstationen ist ungenügend, z. B. Aare-Brügg und Aare-Ringgenberg	■ Systematische hydrologische Qualitätskontrolle langer Messreihen fehlt	■	■
Messfrequenz	■	■	■	■	■	■	■	■
Zeitliche Verfügbarkeit	■	■	■	■ Validierte Daten sollten bis Juni des Folgejahres vorliegen	■	■ Validierte Daten sollten bis Juni des Folgejahres vorliegen	■	■ Validierte Daten sollten bis Juni des Folgejahres vorliegen
Räumliche Abdeckung	■ Lücken im Wallis und in Graubünden	■ Lücken im Wallis und am Hinterrhein	■ Nicht alle Warnregionen sind genügend abgedeckt	■ Lücken bei Messstellen für NAWA Biologie bzw. NAWA TREND	■	■ Es fehlen urbane Gebiete und kleine Mittelland-Gebiete	■ Lücken bei Kläranlagen	■
Datenearbeitung	■ Gute Metadaten erforderlich. Lange homogene Zeitreihen wichtig	■ Automatische Plausibilisierung für die Vorhersage	■ Gute Metadaten erforderlich Lange homogene Zeitreihen wichtig	■	■	■ Gute Metadaten erforderlich Lange homogene Zeitreihen wichtig	■	■

durch hydraulische Berechnungen oder berührungslose Geschwindigkeitsmessungen). Die gesicherte Verfügbarkeit der Messdaten ist aus Sicht der Hochwasser- und Niedrigwasser-Vorhersage sehr wichtig. Messlücken sind möglichst zu verhindern.

Die validierten Daten müssen zeitlich schneller als heute zur Verfügung stehen. Dies soll durch eine Anpassung des Prozesses zur Erstellung der P/Q-Beziehungen erreicht werden. Auch müssen die Daten maschinenlesbar und frei zugänglich sein. Dies soll in Zukunft für Umweltdaten des BAFU möglich sein.

Die bestehenden Arbeitsabläufe/Prozesse in der Datenerhebung und Datenbearbeitung sind gut etabliert, wenn auch teilweise noch nicht ausreichend dokumentiert. Zudem fehlt eine systematische Metadatenstrategie mit einer detaillierten Dokumentation von der Datenerhebung bis hin zur Datenbearbeitung. Solche systematischen Metadaten sind vor allem für Anwendungsgebiete, die auf nachgelagerte genaue Analysen angewiesen sind (z. B. Abschätzung Niedrigwasser, Trends) unabdingbar.

Die Steuerung des Messnetzes mit klarer Zuordnung von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten wurde im Zuge des kürzlich abgeschlossenen Projekts «Festlegung Messnetzverantwortung» formalisiert. Die Erkenntnisse daraus müssen sich nun im Betrieb etablieren, ein entsprechendes Betriebskonzept ist in Erarbeitung. Das eingesetzte Steuerungsgremium mit einer mittelfristig zu installierenden externen Begleitgruppe (mögliche Vertreter siehe Kapitel 3.1) ist auch für die strategische Planung und Weiterentwicklung des Messnetzes zuständig.

Die gute Zusammenarbeit mit den Kantonen muss weitergeführt werden, insbesondere weil die Abteilung Hydrologie des BAFU für die Vorhersagetätigkeit auf zeitnahe Datenerlieferungen aus den Messnetzen der Kantone angewiesen ist. Die Rolle der GHO für die Messnetzkonzipierung sollte geklärt werden.

Über die «Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)» und die «Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)» erfolgt die Koordination mit den Rheinanliegerstaaten. Entsprechende Gremien im

Rhone- und in den südalpinen Flusseinzugsgebieten sind im Aufbau.

9 Handlungsbedarf

Die folgenden Punkte zeigen Empfehlungen für mögliche Verbesserungen auf.

Räumliche Abdeckung

Priorität	Handlungsbedarf
1	Aktuelles Messnetz erhalten. Insbesondere Stationen mit langen Zeitreihen und in besonders wenig beeinflussten Einzugsgebieten erhalten und sicherstellen (z. B. für Untersuchung Auswirkungen Klimawandel, Wassernutzung und für Methodenentwicklung). Dies betrifft insbesondere auch die hydrologischen Untersuchungsgebiete, die unbeeinflussten Kleinsteinzugsgebiete sowie Gebiete mit hohem Vergletscherungsanteil.
1	Neues Anwendungsgebiet Niedrigwasservorhersage/-warnung erfordert vertiefte Überlegungen, wo allenfalls neue Stationen sinnvoll wären. Grundlagen dazu werden momentan im nationalen Trockenheitsprogramm bereitgestellt.
1	Prüfung der Verwendung kantonaler Messstellen für alle Anwendungsgebiete. Integration dieser Daten in das Wasserinformationssystem des Bundes.
1	Periodische Identifizierung von nicht mehr benötigten Messstationen und Aufhebung dieser Stationen oder Ausschluss aus einem Anwendungsgebiet. Die Aufhebung von Stationen soll im Steuerungsgremium diskutiert werden.
2	Aus dem Blickwinkel der Hochwasservorhersage sind neue BAFU-Messstellen an der Rhone im Raum Leuk und am Hinterrhein notwendig. Eine Kooperation mit den Kantonen Wallis und Graubünden ist anzustreben.
3	Konzept der HUG und Messung in natürlichen Kleinsteinzugsgebiete überarbeiten. Dies besonders im Hinblick auf Einbezug von urbanen und kleinen Mittellandgebieten sowie kantonalen Gebieten.
3	Einsatz temporärer Abflussmessstationen prüfen (z. B. für Modellkalibrierung, etc.).
3	Regelmässige Überprüfung der Stationszuordnung zu den Anwendungsgebieten.

Bauten und Messinfrastruktur

Priorität	Handlungsbedarf
1	Umbau bzw. Verschiebung von Messstationen wegen Renaturierungen, Wiederherstellung der Fischgängigkeit und Geschiebegängigkeit, Hochwasserschutzprojekten oder Wasserkraftanlagen.
1	Baulichen Unterhalt der Stationen und Einbauten im Gerinne gewährleisten und insbesondere die dafür notwendigen finanziellen Ressourcen sicherstellen.
1	Dort, wo notwendig, Verbesserung der Messsysteme anstreben (Messbereich der Sonden berücksichtigen, Installationen für Wartung gut zugänglich gestalten, usw.) und die Messtechnik auf dem Stand der Technik halten (Kommunikation und Datenlogger).
2	Bauliche Verbesserungen an Messstationen vornehmen, um die Messqualität zu erhöhen (insb. auch Niedrigwasserrinnen)
3	Prüfung der Verwendung von Wassertemperatur- und Leitfähigkeitsdaten für die Datenkorrektur von Wasserstand und Abfluss.

Messfrequenz, zeitliche Verfügbarkeit und Redundanz

Priorität	Handlungsbedarf
1	Optimierung des Prozesses zur Erstellung validierter Daten, sodass diese schneller vorliegen (innerhalb des Folgejahres).
3	Alle Stationen redundant ausrüsten.

Datenqualität und -distribution

Priorität	Handlungsbedarf
1	Detaillierte und standardisierte Bewertung der Qualität der einzelnen Messstationen pro Abflussbereich vornehmen (Standortqualität, Belastbarkeit der P/Q-Beziehung), als Grundlage für gezielte Massnahmen wie z. B. Bestimmung der notwendigen Anzahl Abflussmessungen pro Jahr. Kenntnisse verbessern über den Einfluss der Einbauten im Gerinne aber auch der Wartung und Unterhaltsarbeiten auf die Datenqualität.
1	Erstellen und Umsetzen eines systematischen Metadatenmanagements: <ul style="list-style-type: none"> • Metadatenkonzept erstellen und Metadaten gemäss Konzept erheben • Datenbearbeitungsschritte dokumentieren • Erfassen von Sekundärparametern (z. B. Kompressorendruck)
1	Standardisierung und Automatisierung der heute manuellen Datenkontrolle und der Kohärenzprüfung im Wasserinformationssystem (inhaltliche/fachliche Bearbeitung sollte nach klar vorgegebenen Kriterien erfolgen). Regelwerk für Korrekturen von Wasserstand und Abfluss (Füllen von Lücken, Umgang mit Ausreissern, etc.) erstellen.
1	Prüfen, ob es in Zukunft nicht möglich ist, dass auch die schnellen Datenflüsse über die Datenbank laufen und somit für die Vorhersage und die Online-Publikation automatisiert vorkorrigierte Daten zur Verfügung stehen.
1	Optimierung des Prozesses Erstellung P/Q-Beziehung inklusive Nutzung des Potenzials hydraulischer Modellierungen als Grundlage zur Verbesserung des Messstandortes oder der P/Q-Beziehungen v. a. für Extremwerte.
1	Open Data (gesetzliche Verpflichtung gem. EMBAG): Hydrologische Daten maschinenlesbar und öffentlich zugänglich zur Verfügung stellen.
2	Erstellung eines Konzepts zum Umgang mit rückwirkenden Korrekturen der Daten.
2	Prüfen einer automatisierten Plausibilisierung und Korrektur der Rohdaten für die Vorhersage (Ausreisser und Lücken).
2	Überprüfung der Mittelwertbildung bereits auf dem Logger und die daraus folgenden Auswirkungen auf gespeicherte Messwerte (Reduktion von Abflussspitzen).
2	Prüfung der Notwendigkeit weiterer Rückdigitalisierungen.
3	Durchführung von Homogenitätsanalysen, um sicherzustellen, dass Daten über verschiedene Perioden hinweg vergleichbar sind.
3	Überprüfung des Potenzials von Wasserhaushalts-Modellierungen für die Datenkontrolle sowie Einführung einer hydrologischen Validierung der Daten.

Organisatorische Massnahmen

Priorität	Handlungsbedarf
1	Internes Gremium zur Messnetzsteuerung aufrechterhalten.
1	Externe Begleitgruppe zur Messnetzsteuerung mit Kantonen einrichten (oder via GHO-Arbeitsgruppe sicherstellen).
1	Regelmässige Überprüfung des Konzepts (alle fünf Jahre) sowie des Handlungsbedarfs und dessen Priorisierung (jährlich).
2	Konzept «Umgang mit kantonalen Daten» erstellen.
3	Handbuch der Pegelmessung (Wyder, 1998) und Handbuch der Abflussmessung (Landeshydrologie, 1982) aktualisieren und erweitern.

Abkürzungen

ADCP

Acoustic Doppler Current Profiler

BAFU

Bundesamt für Umwelt

BFE

Bundesamt für Energie

DWH

Data Warehouse MeteoSchweiz

ETHZ

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

EUA

Europäische Umweltagentur

GCOS

Global Climate Observing System

GHO

Groupe hydrologique opérationnelle

GIN

Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren

GITHAGruppe Informationsaustausch technischer
Hydrometrieapplikationen**GKG**

Koordinationsorgan für Geoinformation des Bundes

GRDC

Global Runoff Data Center

HADES

Hydrologischer Atlas der Schweiz

HUG

Hydrologisches Untersuchungsgebiet

HydroSys

Wasserinformationssystem

IKSR

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

KHRInternationale Kommission für die Hydrologie des
Rheingebietes**METAS**

Eidgenössisches Institut für Metrologie

NQ, MQ, HQ

Niedrigwasser, Mittelwasser, Hochwasser

P

Pegel, Wasserstand

Q

Abfluss

WMO

World Meteorological Organization

WSLEidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und
Landschaft

Literatur

- Baud, O. (2002). Hybride Methode zur Abflussbestimmung. VAW Mitteilungen 176. (P. D.-I.-E. Minor, Hrsg.) Zürich: Eigenverlag der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETHZ.
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2013). NAWA – Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Konzept Fließgewässer. Bern: Bundesamt für Umwelt. Von www.bafu.admin.ch/de/publication?id=fLhHcj5YylhN.html abgerufen.
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2017). 100 Jahre Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz. Das Hydrologische Jahrbuch im Wandel der Zeit: Formate und Inhalte der Publikation von den Anfangsjahren bis heute. Von www.bafu.admin.ch/de/publikationen-wasser abgerufen.
- Bundesamt für Wasser und Geologie BWG. (2003). Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz, Biel: Berichte des BWG, Serie Wasser.
- CEN/TC. (2017). Management of Observed Hydrometric Data – Recommendations.
- Dariento, M., Renard, B., Le Coz, J., & Lang, M. (2021). Detection of stage discharge rating shifts using gaugings: A recursive segmentation procedure accounting for observational and model uncertainties. *Water Resources Research*, 57(e2020WR028607). DOI: 10.1029/2020WR028607
- EHB, E. H. (1907). Die Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz. Bern: Eidgenössisches Departement des Innern.
- Ghezzi, C. (1926). Die Abflussverhältnisse des Rheins in Basel. Bern: Mitteilungen des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft 19.
- HADES Hydrologischer Atlas der Schweiz. (1999). Druckversion Tafel 5.1 Hydrometrische Netze – Einzugsgebiete und Datenreihen. Bern.
- Hydromaps (2019). Daten- und Analyseplattform. Von https://hydromaps.ch/#de/8/46.830/8.193/bl_hds abgerufen.
- Kasser, P., & Schnitter, G. (1967). Hydrologie. In J. C. THAMS, The Development of Geodesy and Geophysics in Switzerland (S. 84–93). Zürich: Berichtshaus.
- Landeshydrologie Hrsg. (1982). Handbuch für die Abflussmessung, Mitteilungen Nr.4. Bern: Bundesamt für Umweltschutz.
- Landeshydrologie Hrsg. (1988). 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz: Symposium. Bern: Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie 9.
- LUBW, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2014). Pegelbetrieb und Unterhaltung: Handlungsempfehlung Pegel- und Datendienst.
- Lustenberger, F., Zappa, M., Liechti, K., Barben, M. (2023). Wasserhaushalt der Schweiz 2022: Einordnung. *Wasser Energie Luft*, 2, S. 80–84.
- Morgenschweiss, G. (2010). Hydrometrie: Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Salvador P-H., Lukes R., Carrel M., Lüthi B. (2021). Image-based flow measurements in wide rivers using a multi-view approach. *Interpreavent*. https://www.photrack.ch/images/Pena_etal_Montlingen_IP2021.pdf.
- Puechberty, R., Perret, C., Poligot Pitsch, S., Battaglia, A. (2017). Charte qualité de l'hydrométrie. Guide de bonnes pratiques. France: Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer.
- Schädler, B. (2015). Überprüfung Messkonzept Wasserhaushalt Datensatz WHH300km². Analyse im Auftrag des BAFU, Universität Bern Oeschger Centre for Climate Change Research, Bern.

Schüepp, M., Gensler, G. (1980). Klimaregionen der Schweiz. In G. Müller, Die Beobachtungsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt. Konzept 1980. Zürich: Arbeitsbericht der Schweiz. Met. Zentralanstalt Arbeitsbericht Nr. 93, Anhang Ib.

Steeb, N., Lustenberger, F., & Zappa, M. (2024). Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen. Studie im Auftrag des BAFU. Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0, Birmensdorf. <http://doi.org/10.55419/wsl:37799>

Vischer, D. (2000). Tulla und die Schweiz. Wasserwirtschaft 90/10, S. 472–478.

WMO. (2006). Technical Regulations, Volume III: Hydrology. Basic Documents No. 2. Von <https://library.wmo.int/idurl/4/35631> abgerufen.

WMO. (2008 [updated in 2020]). Guide to Hydrological Practices (WMO-No. 168), Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. Von <http://www.innovativehydrology.com/WMO-No.168-1994.pdf> abgerufen.

WMO. (2021). Manual on the WMO Integrated Global Observing System. Annex VIII to the WMO Technical Regulations. Von <https://library.wmo.int/idurl/4/55063> abgerufen

WMO. (2025a). OSCAR. Von <https://space.oscar.wmo.int/variables> abgerufen.

WMO. (2025b). WMO Integrated Global Observing System (WIGOS). Von <https://community.wmo.int/en/activity-areas/WIGOS> abgerufen.

Wyder, D. (1998). Handbuch der Pegelmessung. Bern: Schweizer Landeshydrologie und -geologie.

Anhänge

A1 Nomenklatur Basismessnetz

Die Namensgebung einer Station erfolgt gemäss dem Schema Gewässername – Gemeindename, (optional mit Flurname oder Präzisierung) (Beispiel: Aare – Bern, Schöna). Der Name bleibt bestehen, auch wenn sich Gemeinde- oder Flurname im Laufe der Zeit ändern (z. B. infolge Gemeindefusionen). Vor 1965 wurde in den Jahrbüchern zur Beschreibung der genauen Lage der Station noch topographische Angaben wie z.B. «100m oberhalb der Brücke» angegeben. Erst ab Jahrbuch 1965 wurden für die damals aktiven Stationsstandorte die Landeskoordinaten erhoben und publiziert. In der Liste der aufgehobenen Stationen wurden hingegen weiterhin die ursprünglichen Standortangaben publiziert⁷. Für die damals bereits aufgehobenen Stationen wurden die Stationskoordinaten erst im Nachhinein bestimmt (bei Einführung der Datenbank Landeshydrologie (DBLH) (ca. 1986) oder im Rahmen der Erstellung der HADES-Tafel 5.1 [1989]). Seit dem hydrologischen Jahrbuch 1917 ist auch die Lage der Station in Flusskilometern oberhalb von Mündung oder der Landesgrenze angegeben. Es ist nicht ganz klar, bis wann diese Angaben gepflegt wurden. Im Rahmen der Stammdatenkorrektur ab 2020 wurde entschieden, diese Werte nicht zu korrigieren und nicht mehr weiter zu pflegen⁸.

Vor den 1960er-Jahren gab es keine feste Stationsnummerierung. Die Nummerierung in den Jahrbüchern erfolgte bis und mit 1963 jedes Jahr neu nach einem hydrographischen Schlüssel von der Quelle bis zur Mündung und nach Flussgebiet. Mit Einführung der digitalen Datenbearbeitung 1964, wurde eine fixe Stationsnummer (Histstat_nr) eingeführt. Diese ist in alten Stationsmitteilungen vermerkt. Vermutlich erfolgte die Vergabe der Nummer sortiert nach Betriebsbeginn, beginnend bei der ältesten Station Rhein – Basel, Schifflande mit Nr. 1. Ob damals nur aktive Stationen oder auch bereits aufgehobene Stationen und Grundwasserstationen eine Nummer erhielten, ist nicht bekannt.

Etwa 1978 wurde eine neue dreistellige so genannte EDV-Nummer eingeführt. Die Kriterien der Erstvergabe der EDV-Nr. sind nicht bekannt, sie orientierte sich aber vermutlich an der Liste der damals aktiven Stationen, sortiert nach Betriebsbeginn. Es wurde nicht zwischen den unterschiedlichen Messnetzen unterschieden (Seen, Fliessgewässer und Grundwasser). Damals bereits aufgehobene Stationen erhielten keine EDV-Nummer. EDV-Nummer und Histstat_nr stimmen somit nicht überein. Mit Einführung der Datenbank Landeshydrologie (DBLH) 1986 wurde eine neue, maximal fünfstellige Datenbanknummer (DBLH-Nummer als unique identifier) vergeben. Auch den Zeitreihen der damals bereits aufgehobenen Stationen, den Nebenstationen sowie den bestehenden Grundwasserdatenreihen wurde eine DBLH-Nummer zugeordnet, unabhängig davon, ob deren Daten in der Datenbank gespeichert waren oder nicht. Nur Stationen, zu denen keine Daten mehr aufgefunden werden konnten, erhielten keine DBLH-Nummer. Die Regeln der damaligen Nummernvergabe finden sich in Kapitel 3.3.2 des DBLH-Handbuches. Es besteht kein Zusammenhang zwischen EDV-Nummer und DBLH-Nummer. Bei neuen Stationen wurden in der Folge beide Nummern chronologisch vergeben, unabhängig von Flussgebiet oder Lage entlang eines Gewässers.

Ab 1991 wurden die ersten automatisierten Stationen mit kontinuierlicher Aufzeichnung in Betrieb genommen. Um die Daten aus den analogen Aufzeichnungen (mit Limnigraphen) von den automatisierten Daten unterscheiden zu können, wurde die vierstellige EDV-Nummer eingeführt. Die frühere dreistellige EDV-Nummer wurde einfach mit einer vierten vorstehenden Ziffer bzw. einem Code ergänzt. Das bedeutet, dass Stationen ohne automatische Aufzeichnung ihre dreistellige Nummer behielten und die automatisierten eine vierstellige Nummer bekamen. Ab 1992 wurden die vierstelligen EDV-Nummern auch im «Hydrologischen Jahrbuch» publiziert, um die elektronische Datenbestellung zu vereinfachen. Den bereits aufgehobenen Stationen wurden ursprünglich keine EDV-Nummer zugeteilt. Erst mit der Migration in die Datenbank WISKI wurden 2020 die EDV-Nummern in Stationsnummern umbenannt und es wurde auch allen aufgehobenen

⁷ Dies gilt bis zum letzten Jahrbuch mit Jahrestabellen 2010. Die Liste der aufgehobenen Stationen enthält nur dort Koordinaten, wo Stationen nach 1965 aufgehoben wurden.

⁸ Dieser Entscheid basiert auf der Überlegung, dass der ursprüngliche Zweck dieser Angabe (die genaue Lokalisierung der Station im Gelände) mit Einführung der Koordinaten obsolet wurde.

Stationen nachträglich noch eine Stationsnummer zugeordnet und ein Code zugeteilt⁹. Historische Stationen, deren Daten nicht in der Datenbank sind, haben jedoch nach wie vor keine Stationsnummer. Die Tabelle 13 gibt die damalige und heutige Bedeutung des Codes der EDV-/Stationsnummer wieder. Die Stationsnummer wird heute für die eindeutige Identifikation der Stationen verwendet.

Im Zuge der Digitalisierung des Archivs ab 2020 sind Unterlagen zu weiteren Stationen und Messorten aufgefunden worden, die keine DBLH-Nummer hatten. Zur Archivhaltung wurde ihnen eine DBLH-Nummer vergeben im Bereich 02000-03xxx (alle bestehenden DBLH-Nummern sind \leq 01500). Sie besitzen im Moment keine Stationsnummer, könnten aber einfach eine erhalten (unter Code 9 und 10 nach der Regel Stationsnummer = DBLH-Nr. +7000).

Seit Einführung der Datenbank Wiski ist der unique identifier der Stationen des Basismessnetzes die Stationsnummer, die DBLH-Nummer wird aber weiterhin in den Metadaten mitgeführt, um den Zugriff auf historische Dokumente zu

ermöglichen. Die histstat-Nr. wurde nicht in die Datenbank aufgenommen und hat heute keine Bedeutung mehr.

⁹ Als Grundlage diente die DBLH-Nr., zu welcher die Zahl 7000 addiert wurde.

Tab.13: Bedeutung des Codes der 1978 eingeführten EDV-Nummer und der heute verwendeten Stationsnummern für Messstationen des Bundes
EDV-Nummer und Stationsnummer sind identisch.

Code	Ursprüngliche Bedeutung für EDV-Nummer	Heutige Bedeutung Stationsnummer	Bemerkung
0XXX	Totalstation	Totalstation	Code 0 gefolgt von den letzten drei Ziffern der Nummer der Hauptstation
1XXX	Redundante Stationen	Historische Hochwassergrenzwertpegel (HWGWP) mit Limnigraph	Früher war es möglich, dass eine Station zwei Nummern hatte, wenn sie mit redundanten Messsystemen ausgerüstet war (Code 1 und 2 mit gleicher dreistelliger Nummer dahinter). Im Rahmen der Einführung von Messpunkten in der Datenbank Wiski, wurden die Zeitreihen der Redundanzstationen den Hauptstationen zugewiesen. Bei den verbleibenden Stationen mit Code 1 handelt es sich um ehemalige Hochwassergrenzwertpegel die mit Limnigraphen ausgerüstet waren.
2XXX	Hauptstationen, Nebenstationen und reguläre Stationen für Wasserstand- und Abflussmessungen	Alle nach 1965 irgendwann aktiven Wasserstands- und Abflussstationen beginnen heute mit der Ziffer 2	
3XXX	nicht belegt	nicht belegt	
4XXX	Kantonale Stationen	Wird nicht mehr verwendet	Kantonale Stationen in der Datenbank werden heute mit kantonalen Nummern geführt, sowie vorangestelltem Kantonskürzel. Es gibt noch einige historische Stationen mit diesem Code in der Datenbank.
5XXX	Nicht belegt	Nicht belegt	
6XXX	Grundwasserstationen in der Nähe von Messstationen, um den unterirdischen Abfluss neben der Station zu quantifizieren.	Wird nicht mehr verwendet	Die Stationen wurden 2006 in die Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA integriert oder aufgehoben. Die Grundwasserstationen in NAQUA haben heute eine andere Nummerierung. Es gibt noch einige wenige historische Stationen mit dieser Nummerierung in der Datenbank. ¹
7XXX	Nicht belegt	Vor 1965 aufgehobene historische Stationen mit DBLH-Nummer 00001-00999 mit Daten in der Datenbank	Um nachträglich auch den vor 1965 aufgehobenen historischen Stationen eine EDV-Nummer zu geben, wurden diesen EDV-Nummern zugeordnet nach der Regel: EDV-Nummer = DBLH-Nummer + 7000.
8XXX	Nicht belegt	Vor 1965 aufgehobene historische Stationen mit DBLH-Nummer 01000-01999 mit Daten in der Datenbank	
9XXX	Teststation	Im Moment habe nur drei Stationen eine 9000er-Nummer. Es handelt sich dabei nicht um Teststationen	Zwei der drei Stationen sollen in Zukunft als Messpunkte geführt werden. Die Station 9632 Untertorer Mühlbach – Chur, Kantonsschule soll neue Nummer mit Code 2 erhalten. Damit könnten die 9000er-Nummern ebenfalls für historische Stationen verwendet werden, die im Rahmen der Digitalisierung des Archivs eine DBLH-Nummer erhalten haben und deren Daten (noch) nicht in der Datenbank sind.

¹ Stationen mit einem inhaltlichen Bezug zu Abflussmessstationen, z. B. Grundwassermessstellen, welche für ein Tal-Querprofil in der Nähe einer Abflussmessstation betrieben wurden.

Tab.15: Anforderungen Anwendungsgebiet «Vorhersage und Warnung vor Hochwasser»

	Mindestanforderung (RRR: Threshold)				Optimalanforderung (RRR: Breakthrough)				Idealanforderung (RRR: Goal)			
	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀
Messqualität												
Messgenauigkeit P Seen [mm]*	50	50	50	50	20	50	20	50	10	20	10	20
Messgenauigkeit Q Fliessgewässer [%]* (gute Standorte = stabile Sohle)	10	5	10	20	5	2	5	10	5	1	2	5
Messgenauigkeit Q Fliessgewässer [%]* Wildbäche/verändernde Sohle	20	10	15	30	10	5	10	15	5	1	2	5
Messfrequenz												
Messfrequenz P Fliessgewässer [min]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Messfrequenz P Seen [min]	60	60	60	60	10	10	10	10	10	10	10	10
Zeitliche Verfügbarkeit												
Zeitliche Verfügbarkeit nach Messabschluss [min]			30	30			20	20			10	10
Max. Ausfalldauer/Interventionszeiten [h]			6	6			4	4			0	0
Ausfall bei normaler Situation [h]			48	48			16	16			0	0
Qualitätsmerkmale												
Anforderungen												
Räumliche Abdeckung	<ul style="list-style-type: none"> • Gewässer von gesamtschweizerischem Interesse (Station pro Abschnitt) sowie die wichtigsten Zuflüsse • In jeder Warnregion für die kleinen und mittleren Fliessgewässer mind. 3 Stationen • Unterhalb von Gletschern, welche einen für das Einzugsgebiet relevanten Abfluss generieren • Unterhalb von relevanten Stauseen • Dort, wo es Defizite im hydrologischen Modell gibt. 											
Schlüsselstationen	–											
Kontinuität der Zeitreihe	Lange kontinuierliche Zeitreihen für Kalibration Modelle											
Beeinflussung der Stationen	Beeinflussung muss bekannt und dokumentiert sein; idealerweise könnte sie quantifiziert werden											
Datenbearbeitung	Vorkontrolle/Ausreisserkontrolle für Rohdaten erforderlich											
Bemerkungen/grösster Handlungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Unterhalb von Gletschern • Matternal (Vispa), Leuk (Rhône), Sembrancher (Drance), Andeer (Hinterrhein), Rabiusa (Safiental) • Evtl. mobile Stationen zur Modellkalibration 											

* Momentan ist es z. B. für das Anwendungsgebiet «Hochwasservorhersage» nicht möglich, die erforderliche Messgenauigkeit fachlich fundiert festzuhalten.

Tab.16: Anforderungen aus Anwendungsgebiet «Information, Vorhersage und Frühwarnung bei Trockenheit»

[illegible]

Tab.17: Anforderungen aus Anwendungsgebiet «Datengrundlage zu Seen und für die Seeregulierung»

[illegible]

Tab.18: Anforderungen aus Anwendungsgebiet «Wasserwirtschaft, Forschung und den Hochwasserschutz»

	Mindestanforderung (RRR: Threshold)				Optimalanforderung (RRR: Breakthrough)				Idealanforderung (RRR: Goal)			
	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀
Messqualität												
Messgenauigkeit P Fliessgewässer [mm]	Qual 2	Qual 1	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messgenauigkeit P Seen [mm]	Qual 2	Qual 1	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messgenauigkeit Q Fliessgewässer [%]	Qual 2	Qual 1	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messfrequenz												
Messfrequenz P Fliessgewässer [min]	10	10	10	10	5	5	5	5				
Messfrequenz P Seen [min]	60	60	60	60	10	10	10	10				
Zeitliche Verfügbarkeit												
Zeitliche Verfügbarkeit nach Messabschluss	Folgejahr											
Maximale Ausfalldauer/Interventionszeiten	Möglichst keine Lücken, Lücken müssen gut dokumentiert und nach Möglichkeit geschlossen sein											
Qualitätsmerkmale												
Räumliche Abdeckung	<ul style="list-style-type: none"> Für Forschung jene Gebiete, die als Gruppe ein grosses Spektrum an Gebietseigenschaften abdecken HUG/kleine Einzugsgebiete: möglichst Abdeckung aller Schweizer Regime, alle Höhenstufen, Anga-ben zum Wasserhaushalt, von mikroskalig bis mesoskalig 											
Schlüsselstationen	Massa – Blatten, Rhone – Gletsch (beide sehr wichtig für Gletscherforschung)											
Kontinuität der Zeitreihe	Lange homogene Messreihen (länger als 60 Jahre)											
Beeinflussung der Stationen	für HUG: möglichst wenig anthropogen beeinflusste Gebiete oder Zu- und Ableitungen müssen erfasst sein, damit der natürliche Abfluss rechnerisch bestimmt werden kann											
Datenbearbeitung	Bearbeitete Daten, Metadaten; Statistische Auswertungen											
Bemerkungen/grösster Handlungsbedarf	<ul style="list-style-type: none"> Idealzustand HUG: Erfassung der langfristigen Schwankungen der relevanten Wasserhaushaltskomponenten flächendeckend und in einer hohen zeitlichen Auflösung. Ergänzend können Aussagen zur Wasserqualität sowie zum Feststoff- und Geschiebetransport im Hauptgerinne gemacht werden. HUG-Messnetznetzkonzept überarbeiten. 											

Tab.19: Anforderungen aus Anwendungsgebiet «Grundlagen zur Beurteilung der Gewässerqualität»

[illegible]

Tab.21: Anforderungen aus Anwendungsgebiet «Einhaltung von internationalen Verpflichtungen»

	Mindestanforderung (RRR: Threshold)				Optimalanforderung (RRR: Breakthrough)				Idealanforderung (RRR: Goal)			
	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀	NQ	MQ	<HQ ₃₀	>HQ ₃₀
Messqualität												
Messgenauigkeit P Fliessgewässer [mm]	Qual 2	Qual 1	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messgenauigkeit P Seen [mm]	Qual 2	Qual 1	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messgenauigkeit Q Fliessgewässer [%]	Qual 2	Qual 2	Qual 2	Qual 2	Qual 1	Qual 1	Qual 1	Qual 1				
Messfrequenz												
Messfrequenz P Fliessgewässer [min]	10	10	10	10	5	5	5	5				
Messfrequenz P Seen [min]	60	60	60	60	10	10	10	10				
Zeitliche Verfügbarkeit												
Zeitliche Verfügbarkeit nach Messabschluss	Folgejahr											
Maximale Ausfalldauer / Interventionszeiten grosse FG	Möglichst keine Lücken, Lücken müssen gut dokumentiert und nach Möglichkeit geschlossen sein											
Qualitätsmerkmale												
Anforderungen (nur ausfüllen, wo relevant für Anwendungsgebiet)												
Räumliche Abdeckung	<ul style="list-style-type: none"> • Grenzstationen • Stationen, die in internationalen Abkommen festgelegt sind • Alle Stationen, deren Daten an das GRDC, an GCOS oder die EUA geliefert werden 											
Schlüsselstationen	Rhein – Basel, Rheinhalle (2289); Rhein – Basel, Klingenthalfähre (2615, nur P); Liechtensteiner Binnenkanal – Ruggell (2410); Doubs – Sortie du lac des Brenets (2247); Doubs – Combe des Sarrasins (2270); Doubs – Le Noirmont (2370); Maggia – Locarno, Solduno (2368); Derivazione Alto Spöl – San Giacomo di Fraële (2329)											
Kontinuität der Zeitreihe	Insb. für GCOS-Stationen sehr wichtig, auch Metadaten											
Beeinflussung der Stationen	–											
Datenbearbeitung	Rohdaten; bearbeitete Daten für GRDC, GCOS, EUA											
Bemerkungen/grösster Handlungsbedarf	Überprüfen, ob gewisse Stationen aufgehoben werden könnten, da Daten von internationalen Partnern nicht mehr benötigt werden											

A3 Methoden der Wasserstandsmessung

Die Methoden der Pegelmessung werden in Wyder (1998) und Morgenschweis (2010) ausführlich beschrieben. Die folgenden Messsysteme sind im Basismessnetz im Einsatz.

Pneumatische Messgeräte und Drucksonden

Funktionsweise:

Pneumatische Messgeräte messen den Wasserstand in der Regel mit einer Drucksonde, deren Luftleitung in das Gewässer mündet. Gemessen wird der hydrostatische Druck an der Ausperlöffnung. Die Luftleitung muss mit stetigem Gefälle verlegt sein, damit sich in der frostfrei zu verlegenden Leitung möglichst kein Kondenswasser sammeln kann. Die Leitung erfordert regelmässig eine Spülung mit Druckluft, um Verstopfungen vorzubeugen (Abb. 34).

Drucksonden können auch direkt im Gewässer installiert werden. Die Installation ist einfacher als diejenige einer Pneumatik, hingegen ist die Wartung intensiver (mögliche

feine Ablagerungen an der Sonde) und abhängig vom Wasserstand.

Messunsicherheit:

Die Messunsicherheit einer Drucksonde hängt von ihrem Messbereich ab. Generell gilt: Je grösser der Messbereich ist, umso ungenauer ist die Messung. Eine Wasserstandsmessung mit einer Messunsicherheit $<1\text{ cm}$ ist möglich, allerdings nur bei einem kleinen Messbereich (Niedrigwassermessung). Die Messgenauigkeit hängt bei den Drucksonden ausserdem auch von der Wartung ab. Fehler entstehen insbesondere durch Verschmutzen, Verstopfen, Gefrieren oder bei Undichtigkeit der Luftleitung. Regelmässige Kontrolle und Wartung sind deshalb enorm wichtig. Bei flachen Uferböschungen können zudem Wellenschlag am Ufer, unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten und die Sohlenrauigkeit bei Hochwasser zu Wasserstandsschwankungen im Dezimeterbereich führen.

Abb.34: Schematische Darstellung eines pneumatischen Messgeräts

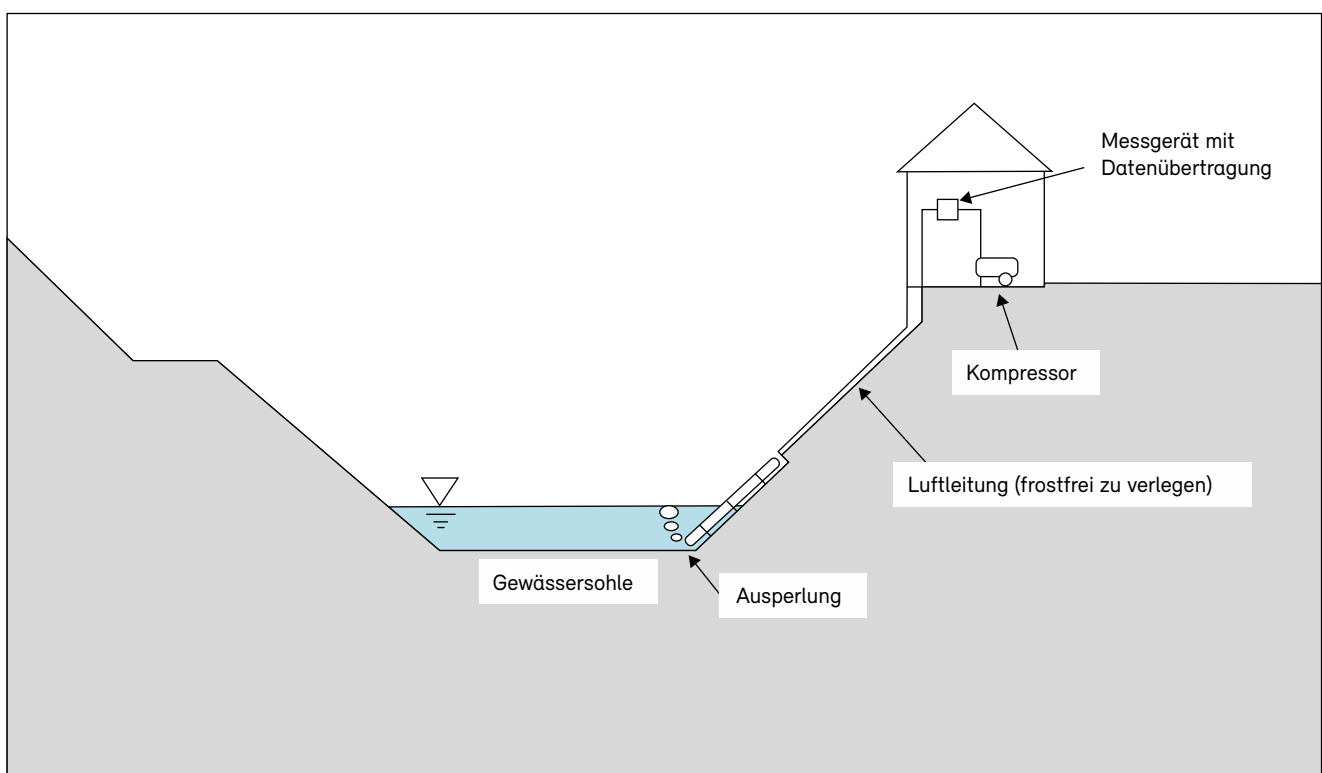


Bild: LUBW (2014)

Radar

Funktionsweise:

Radar-Abstandsmessgeräte messen den Abstand vom Radarsensor bis zur Wasseroberfläche über die Ermittlung der Signal-Laufzeit (Abb. 35).

Messunsicherheit:

Eine Wasserstandsmessung mit einer Messunsicherheit von etwa 1 cm ist möglich, allerdings bei einem Messbereich von 1 m (Niedrigwassermessung). Bei grösseren Messbereichen ist auch die Messunsicherheit grösser. Fehler entstehen zusätzlich bei unruhigem Wasserspiegel. Bei Hochwasser und sehr unruhigem Wasserspiegel,

Abb.35: Schematische Darstellung des Radar-Abstandsmessgeräts

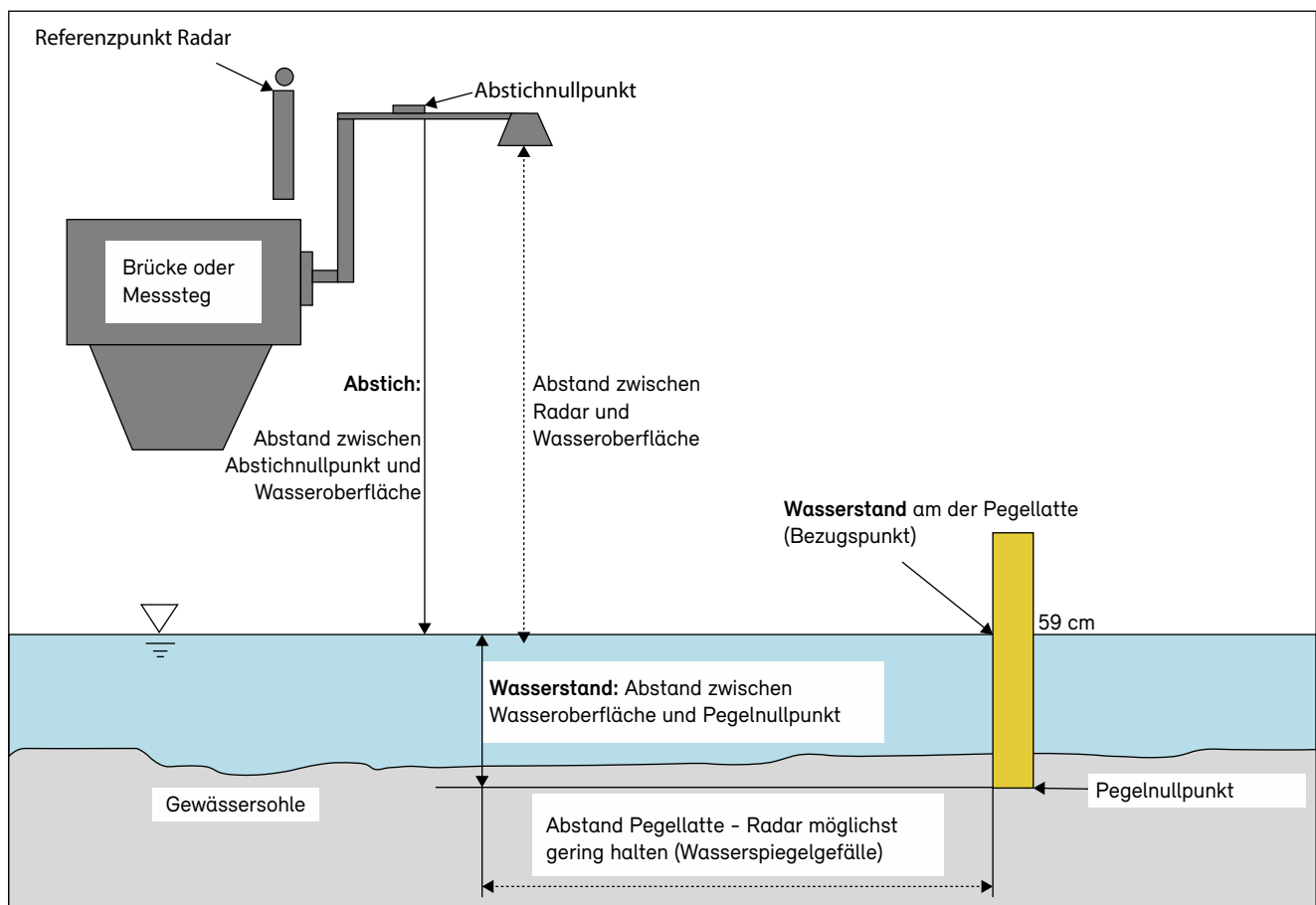


Bild: LUBW (2014)

respektive schäumender Gischt, ist die Schichtgrenze Luft-Wasser für den Radar diffus und es ist unklar, was genau gemessen wird.

Schwimmersystem

Funktionsweise:

Ein im Wasser liegender Schwimmkörper erfasst den Wasserstand, der mit Hilfe eines Schwimmerseils auf ein Schwimmerrad übertragen wird. Es ermöglicht, dass

die Bewegungen der Wasserstände elektronisch (Datensammler) mit Hilfe eines Winkelkodierers aufgezeichnet werden können. Das Schwimmerseil bzw. Lochband wird durch ein Gegengewicht gespannt (Abb. 36).

Messunsicherheit:

Grössere Schwimmer sind genauer als solche mit kleineren Durchmessern.

Abb.36: Schematische Darstellung eines Schwimmerpegels

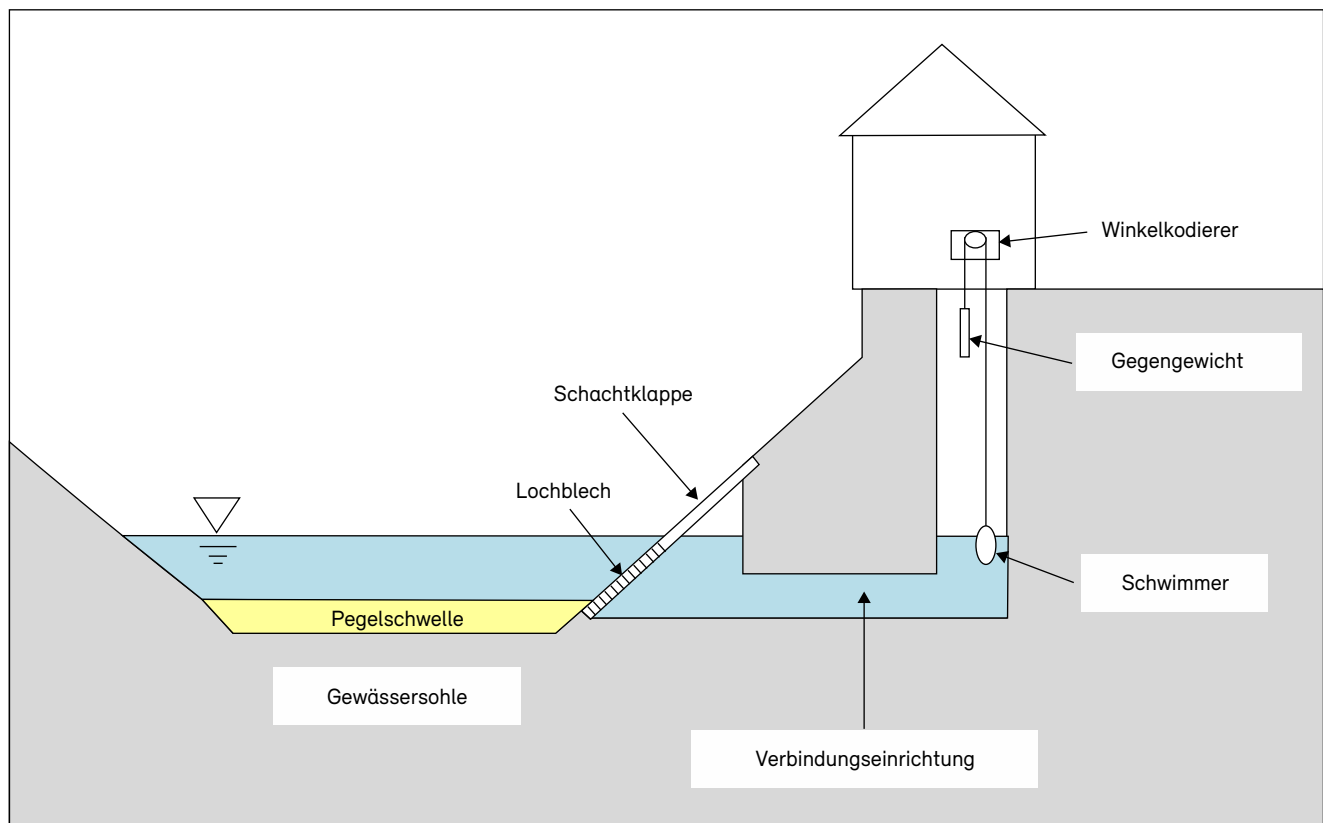


Bild: LUBW (2014)

A4 Methoden der Abflussmessung

Die Methoden zur Abflussmessung sind in Landeshydrologie (1982), Baud (2002) und Morgenschweis (2010) ausführlich erläutert. Folgende Methoden werden heute noch im Basismessnetz angewendet.

Flügelmessung

Ein hydrometrischer Flügel (Abb.37) misst die Fließgeschwindigkeit. Damit die Messung der im Querschnitt z.T. stark variierenden Fließgeschwindigkeiten möglichst genau ist, sind an einer Vielzahl von Messpunkten (verteilt über die gesamte Breite und über die Tiefe; bei grossen Fließgewässern mittels einer Seilkrananlage) die Geschwindigkeiten zu ermitteln (Abb.38). Auch muss der Messquerschnitt genau bestimmt werden. Eine qualitativ gute Flügelmessung erlaubt die Abflussbestimmung mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 2\%$; dies bei einem Messaufwand von 1,5 bis 2,5 Stunden.

Tracermessung

Ein Markierstoff (Uranin oder Kochsalz) wird in genau bekannter Menge oder kontinuierlich in bekannter Konzentration dem Gewässer beigegeben. Weiter flussabwärts, nach vollständiger Durchmischung des Tracers mit dem Bachwasser, wird die Endkonzentration bestimmt (Abb.39). Aus der erfolgten Verdünnung lässt sich die Abflussmenge berechnen. Diese Methode ist vor allem für schnell fließende, kleinere Gewässer mit unregelmässiger Gerinneform und mit stark turbulenter Strömung (z.B. Wildbäche) geeignet. Eine

qualitativ gute Tracer- oder Verdünnungsmessung erlaubt die Abflussbestimmung in einem Wildbach mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ bei einem Messaufwand von etwa einer Stunde.

ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Der Ultraschall-Doppler-Profil-Strömungsmesser (engl. ADCP) ist ein Aktivsonar, welcher die Doppler-Frequenzverschiebung des Nachhalls von Streukörpern im Wasser zur Bestimmung der lokalen Strömungsgeschwindigkeit nutzt. Die Geräte geben in festen Zeitintervallen Schallimpulse im Bereich von 500 kHz bis 10 MHz ab. Mit der Detektion der Sohle (bottom tracking) resp. mit GPS ist es möglich, die absolute Wassergeschwindigkeit der einzelnen Schichten unterhalb des Messgerätes zu berechnen. Aus technischen Gründen kann die Geschwindigkeit unmittelbar an der Oberfläche sowie bei der Sohlennähe nicht bestimmt werden. Die Methode eignet sich insbesondere für grössere Gewässer mit ausreichend Wassertiefe und wenig Turbulenzen. Bei guten äusseren Bedingungen ist eine Abflussbestimmung mit einer Genauigkeit von ca. $\pm 2\%$ möglich¹⁰; dies bei mehreren Messdurchgängen und einem Messaufwand von knapp einer Stunde.

¹⁰ Zahlreiche Vergleichsmessungen ADCP/Flügel im Herbst 2012 bei vereinzelt schwierigen Bedingungen haben ergeben, dass bei rund zwei Drittel der Messungen eine Abweichung von max. $\pm 2\%$ vorlag, bei rund vier Fünftel der Messungen eine Abweichung von max. $\pm 3\%$ (BAFU interne Untersuchung).

Abb.37: Hydrometrischer Messflügel zur Messung der Fließgeschwindigkeit

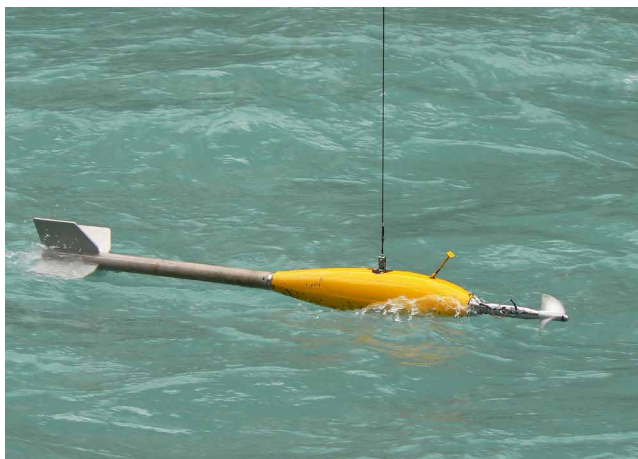


Bild: BAFU

Abb.38: Wassermenge, welche pro Sekunde durch den Messquerschnitt fliesst

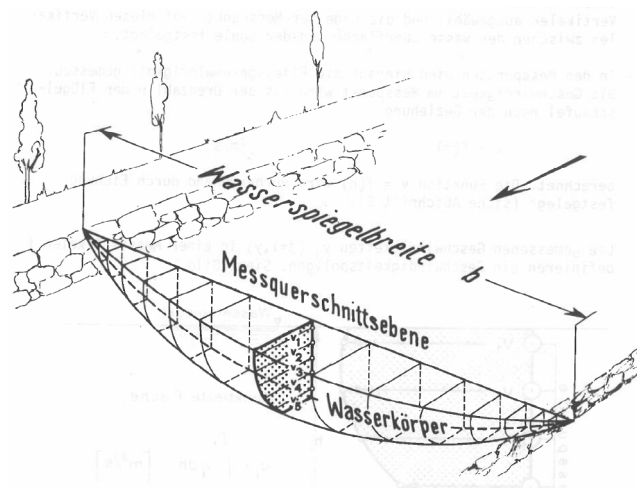


Bild: Landeshydrologie (1982)

Ultraschall

Mittels fix installierten Ultraschallsonden wird die Laufzeit akustischer Signale zwischen zwei Sensoren durch das Gewässer gemessen. Eine Schallwelle, die sich in einem Gewässer entgegen der Fliessrichtung bewegt, benötigt eine längere Laufzeit als eine Schallwelle, in Fliessrichtung. Die Differenz der Laufzeiten ist direkt proportional zur Fliessgeschwindigkeit im Messpfad und damit bei bekannter Querschnitts- und Strömungsgeometrie proportional zum Durchfluss. Die Messgenauigkeit ist schwierig einzuordnen und hängt von vielen Faktoren ab (z. B. Schwebstoffanteil im Gewässer, Fliessgeschwindigkeit, Störfaktoren wie Wasserpflanzen oder Verschmutzung der Sonden). In der Praxis treten oftmals erhöhte Ungenauigkeiten auf und die Messung ist sehr fehleranfällig. Durch die Ausbreitung der Quaggamuschel in den Schweizer Seen, könnte zudem der Wartungsaufwand in Zukunft stark ansteigen. Diese Art der Abflussmessung wird heute nur an sechs Messstellen durchgeführt, insbesondere an den Verbindungskanälen zwischen zwei Seen, in denen das Wasser je nach Wasserstand in den beiden Seen in beide Richtungen fließen kann und es keine eindeutige Schlüsselkurve gibt.

Berührungslose Abflussmessung

Mit optischen Systemen (Videokameras) und Radarsystemen können der Wasserstand und die Fliessgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche kontinuierlich und berührungslos gemessen werden (Abb. 40). Daraus kann der Abfluss ebenfalls kontinuierlich und in Echtzeit

berechnet werden. Das Erstellen einer Schlüsselkurve entfällt damit. Im Moment werden diese Abflussmesssysteme an einigen Stationen des Basismessnetzes getestet. Fragen, die dabei geklärt werden sollen, sind ihre Tauglichkeit für den operationellen Einsatz, sowie die Datenqualität der gemessenen Abflüsse bei verschiedenen Abflussbedingungen und Gewässertypen. Solche Systeme könnten insbesondere für Stationen oder Abflussbereiche interessant sein, bei denen die klassischen Abflussmessungen an ihre Grenzen stossen (z. B. Hochwasserereignisse in Wildbächen oder breite renaturierte Flüsse mit mehreren und je nach Wasserstand wechselnden Abflussrinnen). Ausserdem könnten sie den heute notwendigen Aufwand für die Abflussbestimmung deutlich reduzieren.

Abb.40: Vektorgrafik der optisch bestimmten Oberflächen-
geschwindigkeit und des Wasserstands in einem Gewässer

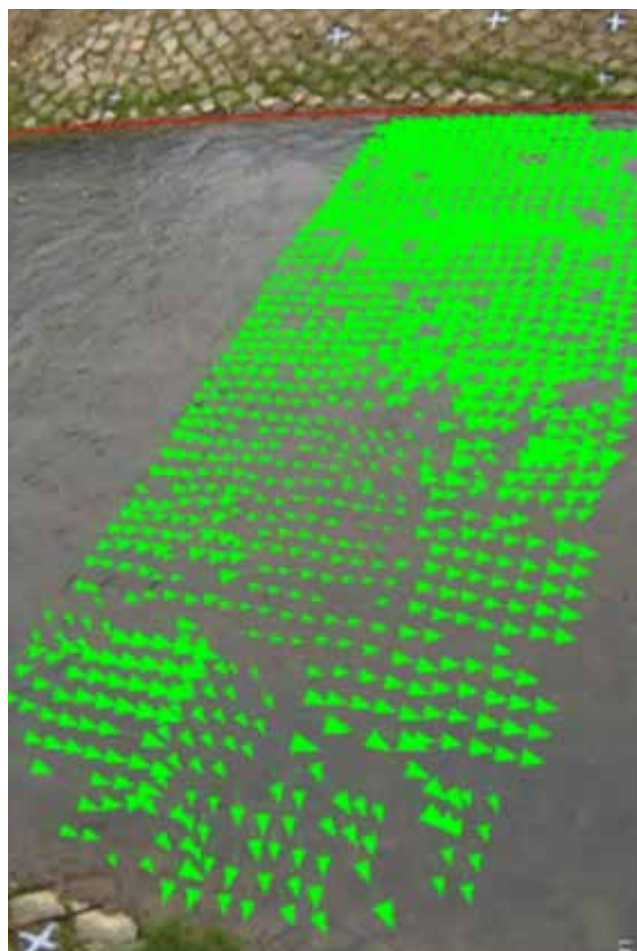


Bild: Salvador et al. (2021)

Abb.39: Farbstoffspur einer Fluoreszenz-Tracermessung



Bild: BAFU

A5 Messstationen des Basismessnetzes und ihre Zuordnung zu den Anwendungsgebieten

Das Dokument «Zuordnung aktuelle Stationen zu Anwendungsgebieten MNK 2022.xlsx» steht unter www.bafu.admin.ch/de/basismessnetz-wasserstand-und-abfluss-an-oberflaechengewaessern zum Download bereit.

A6 Messstationen des Basismessnetzes und der Kantone des Anwendungsgebietes «Seeregulierung»

Tab.22: Die Seen von gesamtschweizerischem Interesse und die dazugehörigen Messstationen von Zu- und Abflüssen, die zur Regulierung verwendet werden.

Stations-Nr.	Messstation Seepegel	Abflussmessstationen BAFU (relevant für Regulierung)	Redundante Seepegelstation BAFU	Redundante Seepegelstation(en) Kanton oder Ausland
2032	Bodensee (Obersee) – Romanshorn*			Friedrichshafen (D), Bregenz (A)
2043	Bodensee (Untersee) – Berlingen*			Radolfzell (D)
2093	Thunersee – Spiez	<ul style="list-style-type: none"> • Aare – Ringgenberg • Aare – Thun • Gürbe – Belp • Kander – Emdthal • Simme – Oberwil • Simme – Lätterbach • Aare – Bern 		Oberhofen (BE)
2023	Brienzersee – Ringgenberg	<ul style="list-style-type: none"> • Aare – Brienzwiler • Aare – Ringgenberg • Lütschine – Gsteig 		Iseltwald (BE)
2149	Lac de Neuchâtel – Neuchâtel	• Zihlkanal – Gampelen	Grandson	
2004	Murtensee – Murten	• Canal de la Broye – Sugiez		
2208	Bielersee – Ligerz	<ul style="list-style-type: none"> • Aare – Hagneck • Aare – Brugg • Emme – Emmenmatt • Emme – Wiler • Saane – Laupen • Aare – Murgenthal 		Biel/Bienne (BE)
2207	Vierwaldstättersee – Luzern	<ul style="list-style-type: none"> • Reuss – Luzern • Kleine Emme – Emmen 	Brunnen	
2118	Walensee – Murg*		–	–
2209	Zürichsee – Zürich	<ul style="list-style-type: none"> • Sihl – Zürich • Limmat – Zürich 	Schmerikon	
2027	Lac Léman – St-Prex	<ul style="list-style-type: none"> • Rhône – Genève • Rhône – Porte du Scex • Arve – Genève 	Genève	
2021	Lago di Lugano – Ponte Tresa	• Tresa – Ponte Tresa	Melide	Morcote
2022	Lago Maggiore – Locarno ¹	<ul style="list-style-type: none"> • Ticino – Bellinzona • Maggia – Locarno 	Brissago	
2097	Hallwilersee – Meisterschwanden	• Aabach – Hitzkirch		
2137	Baldeggersee – Gelfingen*			
2088	Sarnersee – Sarnen	<ul style="list-style-type: none"> • Sarner Aa – Sarnen • Abfluss Hochwasser-Stollen 		

* See nicht reguliert

¹ Italienische Zuflüsse in den See und Ausfluss aus dem See (Sesto Calende) verfügbar.
Seepegeldaten aus Italien (Verbania – Pallanza und Luino) sind in Echtzeit verfügbar (können bei Interesse an das BAFU übermittelt werden).