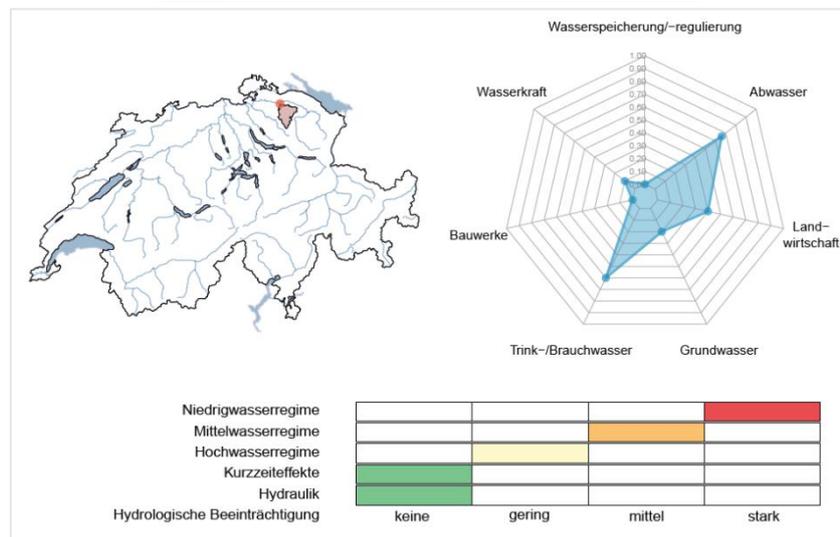


Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen

Detailbericht des BAFU-Projekts HydCheck



07.10.2024

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Publisher: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)

Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0; <http://doi.org/10.55419/wsl:37799>

Impressum

Datum: 07.10.2024

Herausgeber

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Hydrologie, CH-3003 Bern

Projektleitung

Massimiliano Zappa, WSL
massimiliano.zappa@wsl.ch

Autoren und Mitarbeit

Nicolas Steeb, WSL
Florian Lustenberger, WSL
Massimiliano Zappa, WSL

Hinweis

Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.

Zitiervorschlag

Steeb N., Lustenberger F., Zappa M. 2024: Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen. Detailbericht des BAFU-Projekts HydCheck. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 69 S, <http://doi.org/10.55419/wsl:37799>.

PDF-Download

<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:37799>
<http://doi.org/10.55419/wsl:37799>

Titelbild

Foto: Murg Pegel Frauenfeld, Amt für Umwelt Kanton Thurgau
Grafik: Resultat aus der vorliegenden Studie, WSL

Inhalt

Zusammenfassung.....	5
1 Einleitung.....	6
1.1 Kontext des Projekts HydCheck	6
1.2 Projektziele	6
2 Anwendungserfahrungen mit HYDMOD-F	7
2.1 Konzept.....	7
2.2 Anwendungsbeispiel	7
2.3 Fazit	8
3 Verwendete Grundlagen	10
4 Methodik	12
4.1 PREVAH Modellierung.....	13
4.2 Preprocessing der NAWA Einzugsgebiete	14
4.3 Netzdiagramme	14
4.3.1 Wasserspeicherung / -regulierung	15
4.3.2 Wasserkraft	16
4.3.3 Abwasser	17
4.3.4 Bauwerke.....	18
4.3.5 Landwirtschaft.....	20
4.3.6 Trink- / Brauchwasser.....	21
4.3.7 Grundwasser.....	22
4.4 Ampelsystem zur Beurteilung der hydrologischen Kenngrößen.....	24
4.5 Expertenkonsultation	27
4.6 Faktenblätter	27
4.7 R-Tool	28
5 Resultate.....	30
5.1 Einflussfaktoren auf den Abfluss an NAWA-Standorten	30
5.1.1 Wasserspeicherung / -regulierung	30
5.1.2 Wasserkraft	31
5.1.3 Abwasser	32
5.1.4 Bauwerke.....	36
5.1.5 Landwirtschaft.....	36
5.1.6 Trink- / Brauchwasser.....	37
5.1.7 Grundwasser.....	39
5.1.8 Kombination der Einflussfaktoren.....	39
5.2 Hydrologische Beeinträchtigung (Ampel) an NAWA-Standorten.....	40

5.3	Einzugsgebietscluster	42
6	Diskussion.....	48
6.1	Nicht verwendete Daten	48
6.2	Anwendungsmöglichkeiten	48
6.3	Grenzen / Unsicherheiten	49
7	Schlussfolgerungen.....	51
8	Literaturverzeichnis.....	52
9	Abbildungsverzeichnis.....	55
10	Tabellenverzeichnis	58
11	Abkürzungsverzeichnis	59
Anhang	60
I.	Kartographische Darstellung der Inputdaten.....	60
II.	Clusterzuordnung der NAWA-Einzugsgebiete.....	69

Zusammenfassung

Mit HydCheck wurde ein automatisiertes Screening-Tool entwickelt, um an einem beliebigen Standort entlang von Schweizer Fließgewässern die anthropogene Beeinflussung des Abflusses beurteilen zu können. Die Resultate werden übersichtlich in einem Faktenblatt zusammengefasst. Ein Netzdiagramm zeigt den Beeinflussungsgrad von sieben Beurteilungskategorien (Wasserspeicherung-/regulierung, Wasserkraft, Abwasser, Bauwerke, Landwirtschaft, Trink-/Brauchwasser, Grundwasser). Des Weiteren wird mithilfe eines Ampelsystems Art und das Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung bewertet und anhand von fünf hydrologischen Kenngrössen dargestellt (Niedrigwasserregime, Mittelwasserregime, Hochwasserregime, Kurzzeiteffekte, Hydraulik). Die Resultate dienen als Indikator für die mögliche Beeinflussung des Abflusses am Untersuchungsstandort und geben Hinweise, wo aus hydrologischer Sicht ein ökologisches Defizit vorhanden sein könnte. Das hier vorgestellte Werkzeug ist ein Hilfsmittel für eine flächendeckende Übersicht und lenkt den Blick auf Standorte bzw. Gebiete, in denen eine genauere Beurteilung der hydrologischen Beeinflussung notwendig ist.

Von den 143 NAWA Standorten konnten mittels HydCheck 136 Standorte ausgewertet werden. Die restlichen sieben Standorte haben Einzugsgebiete mit zu hohem Auslandanteil (>30 %), wo keine Datengrundlage gegeben ist.

Die 136 Einzugsgebiete wurden je nach Beeinflussung zu Clustern zusammengefasst, um die dominante(n) Beeinflussung(en) zu bestimmen. 20 Einzugsgebiete werden stark durch Grundwassernutzung beeinflusst. Dies sind kleine bis mittelgrosse Einzugsgebiete im Mittelland und in den Voralpen. 29 Einzugsgebiete werden durch Wasserkraft und Wasserspeicherung/-regulierung beeinflusst während andere Einflussfaktoren nur marginal vorkommen. Die Einzugsgebiete sind gross bis sehr gross und decken zusammen beinahe die ganze Schweiz ab. Ein Grossteil davon liegt insbesondere im alpinen Raum, wo sich auch die meisten Speicherseen befinden. Acht Einzugsgebiete sind dominiert durch Bauwerke, Wasserspeicherung/-regulierung und Wasserkraft. Diese Einzugsgebiete sind gross bis sehr gross und decken die meisten grossen Seen des Mittellandes ab. 20 Einzugsgebiete werden hauptsächlich durch intensive Landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst. Ein moderater Einfluss von Trink-/Brauchwasser und Abwasser ist teilweise auch vorhanden. Die Einzugsgebiete sind eher klein bis mittelgross und im Mittelland zwischen Genfersee und Bodensee anzutreffen. 19 Einzugsgebiete sind hauptsächlich durch Trink-/Brauchwasser beeinflusst. Parallel dazu hat auch die Landwirtschaft einen moderaten Einfluss. Die Einzugsgebiete sind klein bis mittelgross und liegen mehrheitlich in der Westschweiz. 15 Einzugsgebiete sind stark durch Abwassereinleitung geprägt. Diese Einzugsgebiete sind klein bis mittelgross, mehrheitlich in der Nordwestschweiz anzutreffen und enthalten keine Speicherseen oder regulierte Seen. 15 Einzugsgebiete werden durch mehrere Einflussfaktoren mittel bis stark hydrologisch beeinflusst. Die Einzugsgebiete sind mittel bis gross und liegen hauptsächlich in der Ostschweiz. Zehn Einzugsgebiete werden durch mehrere Einflussfaktoren gering bis mittel beeinflusst. Es ist keine Beeinflussung durch Wasserspeicherung/-regulierung vorhanden. Die Einzugsgebiete sind eher gross und verteilt über den Jura, das Mittelland und die Voralpen.

Der Einflussfaktor, der die meisten Einzugsgebiete beeinflusst ist Trink-/Brauchwasser. Am wenigsten Standorte beeinflusst hat der Einflussfaktor Bauwerke. In allen Einzugsgebieten wurde für das Niedrigwasser- und Mittelwasserregime mindestens eine geringe Beeinträchtigung erfasst. Die höchste Beeinträchtigung bei einer der fünf angeschauten hydrologischen Kenngrössen (Niedrigwasserregime, Mittelwasserregime, Hochwasserregime, Kurzzeiteffekte, Hydraulik) war an 52 Standorten (38.2 %) auf dem maximum («stark»).

1 Einleitung

1.1 Kontext des Projekts HydCheck

Mit dem Messprogramm Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) stellt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit den Kantonen gesamtschweizerische Grundlagen bereit, um den Zustand und die Entwicklung der Gewässer zu beurteilen. Schweizweit gibt es aktuell 143 NAWA TREND Messstellen. Ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Gewässerzustands ist der Abfluss. An den meisten NAWA-Messstellen ist der Abfluss zwar bekannt, genauere Informationen über Art und Ausmass der anthropogenen Beeinflussungen fehlen aber häufig. Diese Informationslücke wurde im Rahmen dieses Auftrags geschlossen.

1.2 Projektziele

Ziel des Projekts war es, alle im Jahr 2022 in Betrieb stehenden NAWA-Messstellen bezüglich der aktuellen hydrologischen Beeinträchtigung zu beurteilen. Dazu wurden Art und Ausmass der relevanten Eingriffe wie Wasserentnahmen und -einleitungen, Stauhaltungen im Einzugsgebiet oder wasserbauliche Massnahmen im Bereich der NAWA-Messstelle erhoben. Darauf aufbauend wurden die daraus resultierenden hydrologischen und hydraulischen Veränderungen bestimmt. Das Modulstufenkonzept «Modul Hydrologie – Abflussregime» (HYDMOD-F; Pfändler et al., 2011) diente dabei als methodische Grundlage.

Zur Erfassung von Art und Ausmass allfälliger hydrologischer Beeinflussungen im Einzugsgebiet der NAWA-Messstellen wurde in einem ersten Schritt die Anwendbarkeit von HYDMOD-F geprüft. Es stellte sich heraus, dass HYDMOD für diese Studie nicht geeignet ist, und es wurde in einem zweiten Schritt die Erfassungsmethode angepasst bzw. neu entwickelt (HydCheck). Im Vordergrund stand die grundsätzliche Unterscheidung, ob der Abfluss natürlich oder beeinflusst ist, und die Erfassung, welche Beeinflussungen vorhanden sind.

Mit HydCheck wurde ein mit der Programmiersprache *R* geschriebenes Tool entwickelt, das für ein beliebiges Einzugsgebiet in der Schweiz mit einem automatisierten Verfahren die anthropogene Beeinflussung des Abflusses am Gebietsauslass beurteilt und visualisiert. Dabei wurde mit schweizweit einheitlichen Geodaten als Inputparameter gearbeitet, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Standorten zu gewährleisten

2 Anwendungserfahrungen mit HYDMOD-F

2.1 Konzept

HYDMOD-F (Pfaundler u. a., 2011) stellt im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts die Methode zur Beurteilung der hydrologischen Verhältnisse einer Region mit der Erfassung der wasserwirtschaftlichen Eingriffe und deren Auswirkungen auf das Abflussregime dar. Dabei ist HYDMOD-F explizit als eingriffsbezogener Ansatz ausgelegt. Als Eingriffe werden in diesem Zusammenhang anthropogene Massnahmen baulicher oder betrieblicher Natur verstanden. Diffuse, indirekte Eingriffe (z.B. Landnutzungsänderungen, Drainagen) sowie Flussverbauungen werden dabei nicht berücksichtigt.

In HYDMOD-F sind insgesamt 23 Eingriffstypen definiert, die sich in fünf Kategorien einteilen lassen: Wasserentnahmen, Wasserzufuhr/-einleitung, Wasserspeicherung/-regulierung, grundwasserbezogene Massnahmen sowie Spülungen und Entleerungen.

Parallel dazu stehen insgesamt neun Bewertungsindikatoren auf Grundlage hydrologischer Kenngrössen zur Verfügung, mit denen die Eingriffstypen auf ihre Beeinflussung des Abflussregimes beurteilt werden können. Die Beurteilung basiert auf dem allgemeinen farblichen Klassierungsschema des Modul-Stufen-Konzeptes zur Einstufung des Natürlichkeitsgrades der Oberflächengewässer. Die Bewertungsindikatoren sind in vier Teilbereiche gegliedert: Mittelwasserregime, Hochwasserregime, Niedrigwasserregime sowie Kurzzeiteffekte (z.B. Schwall/Sunk-Phänomene). Je nach Eingriffstyp kommen verschiedene Bewertungsindikatoren zum Einsatz.

Ergänzend wird zur Vereinfachung der Anwendung ein elektronisches Hilfsmittel namens HYDMOD-FIT zur Verfügung gestellt. Mit diesem Tool lassen sich die hydrologischen Kenngrössen aus den Rohdaten (Tagesabflüsse und Momentanabflüsse) berechnen sowie die definierten Eingriffe gemäss der Bewertungsindikatoren automatisch klassieren. Des Weiteren lassen sich in HYDMOD-FIT Reports zu allen Dateninhalten in tabellarischer und grafischer Form generieren sowie GIS-Hilfsdateien für die kartographische Aufbereitung der Resultate.

2.2 Anwendungsbeispiel

Die Methode HYDMOD-F wurde am Beispiel des Einzugsgebiets Kander bis Hondrich auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Dabei wurde der Fokus auf den Bereich der NAWA-Messstelle Hondrich gelegt. Von der BAFU-Abflussmessstation (ID 2469) haben wir eine Messreihe mit gemittelten Tageswerten von 1991 bis 2017 sowie 10-Minutenwerte von 2018 bis 2022 in das elektronische Hilfsmittel HYDMOD-FIT eingelesen. Vorgängig mussten die Messreihen von einem «.dat» Dateiformat in eine «.csv» oder «.xlsx» Datei konvertiert werden. Dies lässt sich einfach und schnell bewerkstelligen. Nach dem Einlesen in HYDMOD-FIT werden automatisch die hydrologischen Kenngrössen berechnet.

Die Methode HYDMOD-F stützt die Bewertung auf einem Referenzzustand ab, der bei den meisten Bewertungsindikatoren in die Klassierungsregel einfließt, um das Ausmass der Veränderung im Vergleich zum beeinflussten Zustand nach einem Eingriff feststellen zu können. Hier zeigt sich eine erste grosse Schwierigkeit bei der Anwendung. Eigentlich bräuchte es für jeden Eingriffsstandort Abflussmessreihen vor und nach einer wasserwirtschaftlichen Massnahme. Zudem sollten diese Messreihen auch lange genug und zeitlich hochaufgelöst sein, um statistisch signifikante Resultate zu erhalten. Falls überhaupt vorhanden, sind solche detaillierten Messreihen meist nicht öffentlich zugänglich und

müssten bei Kanton, Gemeinde oder privaten Betreibern angefragt werden. Für eine schweizweit flächendeckende und automatisierte Anwendung der Methode für die Einzugsgebiete aller NAWA-Messstellen fehlt demnach die Datengrundlage, um Referenzzustand und beeinflusster Zustand unterscheiden zu können.

Bezüglich der in HYDMOD-F definierten Eingriffstypen kann einzig die Wasserkraftnutzung mit schweizweit flächendeckend verfügbaren Daten zumindest teilweise entsprechend der vorgegebenen Methode beurteilt werden. Dazu liefert die Restwasserkarte der Schweiz Angaben zu monatlich gemittelten Wasserentnahmen und -rückgaben, womit zumindest die hydrologischen Kenngrößen des Mittelwasserregimes für den beeinflussten Zustand berechnet werden können. Im Testeinzugsgebiet der Kander konnten wir so beispielhaft für das Kanderwehr bei Spiez eine Beurteilung des Mittelwasserabflussverlaufs vornehmen (Resultat: Klasse 2 = wenig verändert).

Nach der Berechnung der Bewertungsindikatoren liegt eine punktuelle Bewertung an den Eingriffsstellen vor. Diese punktuelle Information muss in einem nächsten Schritt auf das Gewässernetz umgelegt werden, welches dazu in Gewässerabschnitte unterteilt wird. HYDMOD-FIT bietet dazu keine automatische Unterstützung. Die Bewertung der einzelnen Bewertungsindikatoren muss von Hand vorgenommen werden. Die Aggregation der einzelnen Bewertungsindikatoren zur Gesamtbewertung eines Gewässerabschnitts kann wiederum mit Hilfe von HYDMOD-FIT gemacht werden.

Die Resultate aus HYDMOD-FIT können rasch und einfach als Excel-Reports exportiert werden und liefern einen guten Überblick zu den hydrologischen Kenngrößen mit Diagrammen sowie den Eingriffs- und Gewässerabschnittsbewertungen. Des Weiteren bietet HYDMOD-FIT die Möglichkeit, die geografisch relevanten Daten in einem dbf-File zu exportieren für die kartografische Darstellung in ArcGIS der Firma ESRI. Dabei sind gewisse Anwendungskenntnisse und Softwarelizenzen nötig. Insbesondere die Symbolisierung der Gesamtbewertung der Gewässerabschnitte kann mit einem gewissen Aufwand verbunden sein, wenn die Kilometrierung des Gewässernetzes manuell vorgenommen werden muss. Das Benutzerhandbuch «Hilfsmittel für die kartographische Darstellung der Bewertungsergebnisse des Moduls Hydrologie (HYDMOD-F)» liefert dazu eine nützliche Anleitung.

2.3 Fazit

Im Folgenden sind die Erfahrungen mit der Methode HYDMOD-F in Hinblick auf dessen schweizweite Anwendbarkeit auf die Einzugsgebiete der NAWA-Messstellen zusammengefasst.

- Die Anwendung der Methode HYDMOD-F erfordert einen grossen Aufwand, insbesondere für die Datenbeschaffung und -aufbereitung. Auch die Identifikation und Erfassung der Eingriffe und deren Betriebsweise ist sehr zeitaufwendig. Im Hinblick auf Umfang, Flughöhe und Zeitplan des Projektes HydCheck war die Anwendung von HYDMOD-F auf alle NAWA-Standorte nicht machbar.
- Für ein vollständiges Eingriffsinventar sind Daten aus diversen Bezugsquellen nötig (Bund, Kantone, Gemeinden, Betreiber). Mit einer schweizweit einheitlichen Datengrundlage lässt sich HYDMOD-F nicht auf alle NAWA-Messstellen anwenden.
- Die Anwendung von HYDMOD-F verlangt eine Unterscheidung von Referenzzustand und beeinflusstem Zustand für jeden Eingriff. Abflussmessreihen sowohl vor als auch nach einem Eingriff sind jedoch kaum (öffentlich) zugänglich oder inexistent. Wenn doch, ist die zeitliche Auflösung

und/oder die Länge der Zeitreihe meist ungenügend, um statistisch signifikante Kenngrößen daraus zu berechnen.

- Diffuse, indirekte Eingriffe (z.B. Landnutzung) sowie Flussverbauungen, welche potenziell Einfluss auf das Abflussregime oder die hydraulischen Bedingungen haben können, werden in HYDMOD-F nicht berücksichtigt. Diese Aspekte mussten im vorliegenden Projekt HydCheck jedoch mitberücksichtigt werden.
 - Aufgrund der obengenannten Punkten ist eine flächendeckende und automatisierte Anwendung der Methode HYDMOD-F für Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen nicht möglich.
 - Für das vorliegende Projekt musste deshalb eine neue Beurteilungsmethode entwickelt werden, die sich jedoch am Konzept von HYDMOD-F orientiert.

3 Verwendete Grundlagen

Im Folgenden befindet sich eine Übersicht, der in HydCheck verwendeten Daten und Geodaten (Tabelle 1), welche für die Beurteilung der hydrologischen Beeinträchtigung der NAWA-Standorte verwendet wurden. Die Geodaten sind auf einer Schweizer Landeskarte im Anhang visualisiert (Abbildung 34 – Abbildung 51).

Tabelle 1: Übersicht der für HydCheck verwendeten (Geo-)Daten.

Datensatz	Format	Indikatoren	Datenstand	Quelle	Beschreibung
NAWA Standorte	.csv	Standorte Messstellen	02.05.2024	BAFU	Koordinaten der 143 NAWA-Messstellen
NAWA Einzugsgebiete	.shp	Einzugsgebiete Messstellen	02.05.2024	BAFU	Topografische Einzugsgebiete der NAWA-Messstellen
EZGG_Topo	.gdb	Gebietsauslass Teileinzugsgebiete Vorfluter Abschnitt	09.04.2020	BAFU	Flächendeckendes Mosaik aus über 22'000 aus der Topographie abgeleiteten Teileinzugsgebieten (> 1 km ²).
SwissTLM3D	.gdb	Gewässernetz	01.07.2023	swisstopo	Grossmasstäbliches topographisches Landschaftsmodell der Schweiz als Vektordatensatz.
FLOZ_CH	.txt	Flussordnungszahlen nach Strahler	01.12.2019	BAFU	Flussordnungszahlen für das digitale Gewässernetz 1:25'000 der Schweiz
ARA-Daten	.xls	Standorte Abwassermenge Anzahl angeschlossene Einwohner	07.03.2023	BAFU	Datenbank mit Informationen zu zentralen ARA. Angaben zu Kennzahlen der Abwasserentsorgung stammen aus der Erhebung des VSA von 2011.
Abwasseranteil_Q ₃₄₇	.gdb	Abwasseranteil Q ₃₄₇ entlang Fließgewässer	14.02.23 (ARA); 2007 (Q ₃₄₇)	BAFU	Neuberechnung Abwasseranteil am Q ₃₄₇ in Schweizer Fließgewässern
Restwasserkarte	.txt	Wasserentnahmen Wasserrückgaben	01.07.2007	BAFU	Inventar der bestehenden Wasserentnahmestellen sowie die Rückgabestellen, Angaben zum Entnahmepurpose, zu den Restwassermengen und weitere Angaben.
Ökomorphologie	.gdb	Abschnitte Bauwerke Abstürze Gerinnebreite	05.09.2013	BAFU	Ökomorphologie Erhebung Stufe F für die Schweiz
Ökomorphologie St. Gallen	.shp	Abschnitte Bauwerke Abstürze Gerinnebreite	01.06.2019	St. Gallen	Ökomorphologie Erhebung Stufe F für den Kanton St. Gallen

Statistik der Wasserkraftanlagen	.csv	Standort Stromproduktion	01.01.2023	BFE	Statistik der Wasserkraftanlagen (WASTA) mit einer Leistung von mindestens 300 kW
STATPOP2021	.csv	Einwohnerzahlen Schweiz	2022	BFS, STAT-TAB	Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) ab 2010
Tourismus	.csv	Logiernächte nach Gemeinden	2022	BFS, STAT-TAB	Hotellerie: Angebot und Nachfrage der geöffneten Betriebe nach Jahr, Monat und Gemeinde
Beschäftigte	.csv	Beschäftigte Dienstleistungssektor und Industrie nach Gemeinden	2022	BFS, STAT-TAB	Beschäftigte nach Grossregion, Wirtschaftssektor, Beschäftigungsgrad und Geschlecht
Brunner-Datensatz	.shp	Regulierte Seen Pistenkilometer (Schneeproduktion)	2019	WSL	Hydro-CH2018 Wasserspeicher (Brunner et al., 2019)
Balmer-Datensatz	.shp	Restwasserstrecken, Schwall-Sunk Strecken, Speicherseen, Staustrecken	2012	ETHZ	Nachhaltigkeitsbezogene Typologisierung der schweizerischen Wasserkraftanlagen mit GIS-basierter Clusteranalyse
Bewässerungsbedürftigkeit	.tif	Relative Evapotranspiration	2022	BAFU	Langfristiges 33 %-Quantil der relativen Evapotranspiration (Verhältnis von aktueller zu potentieller Evapotranspiration ET/ETp) für landwirtschaftlich produktive Gebiete der Schweiz. Berechnung für die Vegetationsperioden der Periode 1980-2006 in einem 500m x 500m Raster.
Grossvieh	.csv	Grossvieheinheiten nach Gemeinden	2022	BFS, STAT-TAB	Nutztierbestand der Landwirtschaftsbetriebe im Jahr 2022
Grundwasservorkommen_500	.shp	Quellen und Grundwasserfassungen	2014	BAFU	Hydrogeologische Karte der Schweiz: Grundwasservorkommen 1:500000
Planerischer Gewässerschutz	.shp	Grundwasser Schutzzonen S1	2023	Kantone	Abbildung der Gewässerschutzbereiche, Grundwasserschutzzonen und -areale sowie der Zuströmbereiche.

4 Methodik

Im Projekt HydCheck wurde mit schweizweit verfügbaren und homogenen Daten eine automatisierte Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen entwickelt. Von der Bearbeitungstiefe bzw. vom Detaillierungsgrad her entspricht HydCheck einem Screening-Tool zwecks einer ersten Einordnung der Lage. Das hier vorgestellte Werkzeug ist ein Hilfsmittel für eine flächendeckende Übersicht und lenkt den Blick auf Standorte bzw. Gebiete, in denen eine genauere Beurteilung der hydrologischen Beeinflussung nötig ist, beispielsweise mithilfe von HYDMOD-F und/oder durch Feldarbeit vor Ort (z. B. Geländeaufnahmen oder gutachterliche Begehungen).

In HydCheck berücksichtigt werden einerseits standortspezifische/punktuelle Eingriffe wie bei HYDMOD-F, aber auch flächenspezifische/diffuse Einflussfaktoren wie wasserintensive Landnutzungen. Konzeptionell wurden für HydCheck sieben Bewertungskategorien definiert, welche potentiell einen Einfluss auf den Abfluss am NAWA-Standort haben können:

- **Wasserspeicherung/-regulierung**
Diese Kategorie beinhaltet Stauseen, regulierte Seen sowie Staustrecken, die einen grossen Einfluss auf den Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereich der Fliessgewässer haben können.
- **Wasserkraft**
Wasserentnahmen zur Wasserkraftnutzung sowie die Rückgabe von turbinierem Wasser (Triebwasser) haben grossen Einfluss auf das Niedrigwasserregime, aber auch auf Mittel- und Hochwasserabflüsse. Die Wasserkraftnutzung kann auch zu kurzzeitigen Abflussschwankungen (Schwall-Sunk) führen.
- **Abwasser**
Einleitungen von Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) beeinflussen insbesondere den Niedrigwasserabfluss von Fliessgewässern, aber auch das Mittelwasserregime kann dadurch verändert werden. In naher Distanz unterstrom einer ARA-Einleitung sind auch Kurzzeiteffekte (Schwall-Sunk) zu erwarten.
- **Bauwerke**
Künstliche Abstürze und Bauwerke, welche die Längsvernetzung der Fliessgewässer beeinflussen, können sowohl oberstrom als auch unterstrom die hydraulischen Verhältnisse (Pegel, Strömungsdynamik etc.) verändern.
- **Landwirtschaft**
In dieser Kategorie wird der Wasserbedarf für Bewässerung und Grossvieh berücksichtigt, mit Einfluss auf das Niedrig- und Mittelwasserregime.
- **Trink-/Brauchwasser**
In dieser Kategorie wird analog zu Brunner et al. (2019) der Wasserbedarf durch Haushalte, Tourismus, Industrie, Dienstleistungssektor sowie Schneeproduktion geschätzt. Der Wasserbedarf aus Trink- und Brauchwasser kann einen Einfluss auf den Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereich der Fliessgewässer haben.

- **Grundwasser**

Je nach Grundwasserstand ist eine Interaktion mit Fließgewässern vorhanden. Es wird entsprechend davon ausgegangen, dass Quell- und Grundwasserfassungen in der Nähe von NAWA-Messstellen einen Einfluss auf das Niedrig- und Mittelwasserregime haben.

Die spezifischen Einflussfaktoren der jeweiligen Bewertungskategorie sind in Kapitel 4.3 detailliert erläutert.

Als Endresultat wird für jeden NAWA-Standort ein Netzdiagramm erstellt, welches für jede Kategorie ein gewichtetes Ranking bzgl. Beeinflussungsgrad des Abflusses visualisiert. Der Beeinflussungsgrad wird dabei mithilfe von Entscheidungsbäumen und Multi-Attributive Value Functions (MAVFs; Eisenführ et al., 2010) berechnet. Die Gewichtung und Klassierung der Entscheidungsbäume wurde mit Expertenbefragungen konsolidiert.

Angelehnt an HYDMOD-F (Pfaundler u. a., 2011), wird neben den Netzdiagrammen zusätzlich auch eine Aussage gemacht, welche Aspekte des Abflusses beeinträchtigt sind. Dabei wird der Beeinträchtigungsgrad von fünf hydrologischen Kenngrößen (Niedrigwasserregime, Mittelwasserregime, Hochwasserregime, Kurzzeiteffekte, Hydraulik) mithilfe eines Ampelsystems beurteilt und visualisiert (Kapitel 4.4).

Schliesslich werden zu den einzelnen Bewertungskategorien Faktenblätter erstellt, welche die Bewertung transparent und nachvollziehbar aufschlüsseln sowie die wichtigsten Kenngrößen zum NAWA-Standort sowie zu dessen Einzugsgebiet zusammenfassen.

4.1 PREVAH Modellierung

Für die Berechnung von durchschnittlichen Jahresabflüssen in den Einzugsgebieten (Kapitel 4.3.1, Kapitel 4.3.5 und Kapitel 4.3.6) sowie die Korrektur von Q_{347} -Werten (Kapitel 4.3.3) wurden Abflusssimulationen des hydrologischen Modells PREVAH (PREcipitation Runoff EVapotranspiration HRU related Model; HRU = Hydrological Response Units) verwendet. PREVAH ist ein konzeptionelles, prozessorientiertes Modell (Viviroli u. a., 2009b), das seit der Entwicklung stetig verbessert wurde (Gurtz u. a., 1999). Im Rahmen der CCHydro Studie (Bernhard und Zappa, 2012) wurde für PREVAH eine räumlich explizite Version erstellt (Gitterversion). Dabei wurde mit einer Auflösung von 500 m × 500 m gearbeitet (Schattan u. a., 2013; Speich u. a., 2015; Zappa u. a., 2012).

PREVAH besteht aus mehreren Modellkomponenten, die Teile des hydrologischen Kreislaufs abdecken (Viviroli u. a., 2009b): Interzeption von Niederschlag, Evapotranspiration, Schneedeckenentwicklung, Schmelze von Gletschern, Bodenwasserspeicherung, Grundwasser, Abflussbildung sowie Abflusskonzentration. Bei der Kalibration des Modells müssen diverse Modellparameter anhand von gemessenen Abfluss- und Schneedaten kalibriert und validiert werden, was hier aber nicht neu durchgeführt wurde. Alle Modellparameter wurden bereits von Viviroli et al. (2009c, 2009a) und Köplin et al. (2010) für diverse Teile der Schweiz kalibriert, validiert und mit der Ordinary Kriging Inperpolation regionalisiert. Daraus wurde ein komplettes, gegittertes PREVAH-Parameterset für die Schweiz erstellt (räumliche Auflösung: 2 km × 2 km), das bereits erfolgreich von Bernhard and Zappa (2012) und Speich et al. (2015) verwendet wurde. Die Parameter wurden aus diesem Parameterset entnommen. Für weitere Informationen zu den Parametern und zu PREVAH siehe z.B. Viviroli (2007).

4.2 Preprocessing der NAWA Einzugsgebiete

Die als Input-Datensatz verwendeten Einzugsgebietsgrenzen der NAWA-Standorte wurden vom BAFU zur Verfügung gestellt (BAFU, 2024) und basieren auf den Geobasisdaten «Topographische Einzugsgebiete Schweizer Gewässer» (BAFU, 2020). Der Gebietsauslass der Einzugsgebiete entspricht dabei dem jeweiligen NAWA-Standort. Für die Kompatibilität mit den HydCheck R-Skripts müssen die Standorte geometrisch innerhalb des Einzugsgebiets liegen. Bei rund 20 Einzugsgebieten lagen die NAWA-Stationen jedoch knapp ausserhalb der Einzugsgebietsgrenze, bedingt durch die minimale Teileinzugsgebietsgrösse von 2 km² der Geobasisdaten. Aus diesem Grund wurden die Einzugsgebietsgrenzen manuell in *ArcGIS Pro* mithilfe von Luftbildern und topografischen Karten so angepasst, dass die NAWA-Standorte stets innerhalb des Einzugsgebiets liegen.

Es wurden nur Einzugsgebiete berücksichtigt, die mehr als 70 % ihrer Fläche in der Schweiz haben. Dieser Schritt ist notwendig, da die Datengrundlage ausserhalb der Schweiz nicht gegeben ist.

4.3 Netzdiagramme

Die sieben Bewertungskategorien (Abbildung 1) orientieren sich an den Eingriffstypen gemäss HYDMOD-F. Jede Bewertungskategorie beinhaltet verschiedene Einflussfaktoren, welche in die Bewertung mit einfließen. Für jeden Einflussfaktor werden gutachterlich Werte zwischen 0 und 1 vergeben und pro Bewertungskategorie aufsummiert, wobei sich in der Summe maximal ein Wert von 1 ergibt. Ein Summenwert von 0 entspricht einem naturnahen Zustand ohne hydrologische Beeinflussung, ein Wert von 1 entspricht hingegen einer starken hydrologischen Beeinträchtigung.

Die Summenwerte der sieben Bewertungskategorien werden schliesslich in einem Netzdiagramm dargestellt (Abbildung 2). Die Klassierung und Gewichtung der Einflussfaktoren ist in den Unterkapiteln 4.3.1 bis 4.3.7 detailliert beschrieben.

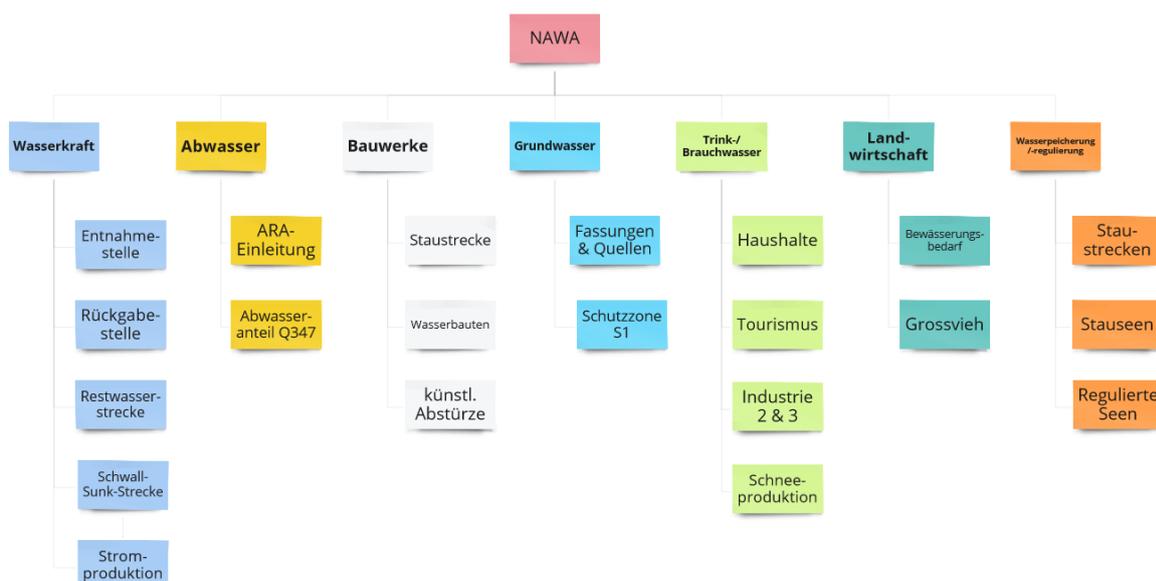


Abbildung 1: Die sieben Bewertungskategorien mit ihren entsprechenden Einflussfaktoren für die Quantifizierung der Beeinflussung an NAWA-Messstellen.

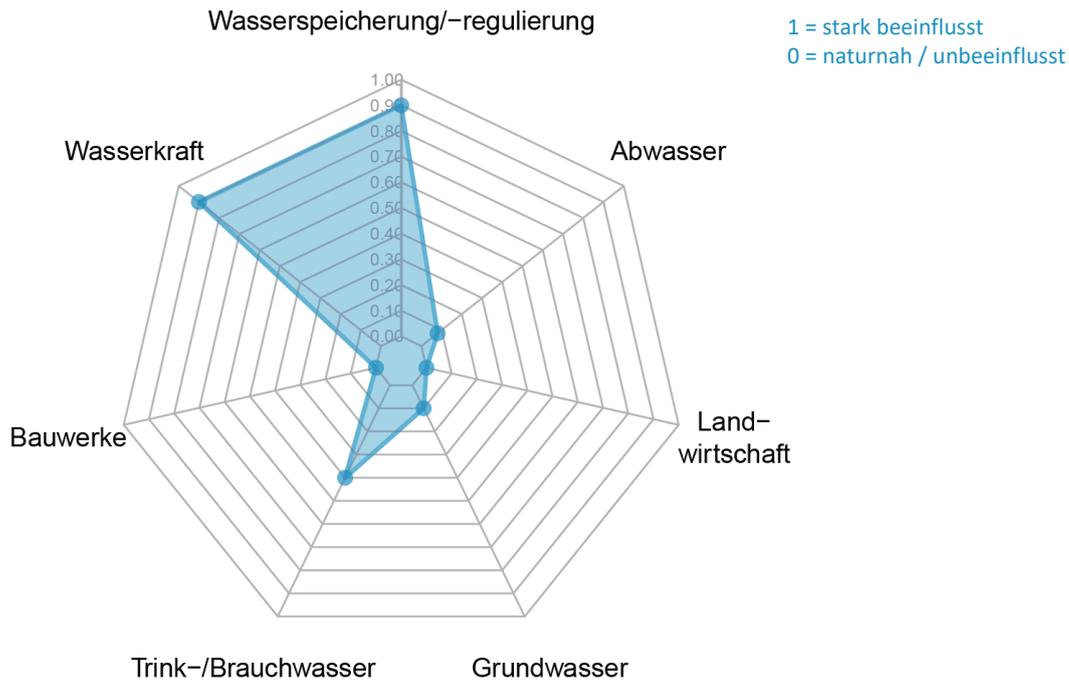


Abbildung 2: Konzeptionelles Schema für die Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen. Das Netzdiagramm zeigt für sieben Bewertungskategorien den Einflussgrad (von 0 bis 1). Darauf basierend wird für fünf hydrologische Kenngrößen der Beeinträchtigungsgrad mit einer Ampelbewertung bestimmt (siehe Kapitel 4.4).

4.3.1 Wasserspeicherung / -regulierung

Für die Bewertungskategorie Wasserspeicherung / -regulierung wurde ein Geodatensatz zusammengestellt, der alle relevanten Speicherseen sowie die regulierten Seen in der Schweiz zusammenfasst. Für die Speicherseen wurde der Geodatensatz von Balmer (2013) verwendet, der auf der Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz beruht (BFE, 2023). Für die regulierten Seen wurde der Datensatz von Brunner et al. (2019) verwendet, der die Speicherkapazitäten und Nutzvolumen grosser Schweizer Seen zusammenfasst.

Falls ein oder mehrere Speicherseen und/oder regulierte Seen im Einzugsgebiet der NAWA-Messstelle vorhanden sind, gibt es eine Gewichtung von 0.5. Falls ein entsprechender See zusätzlich die gleiche Flussordnungszahl wie der NAWA-Standort aufweist, ist der Einfluss grösser und es gibt ein zusätzliches Gewicht von 0.2. Als letztes Kriterium wird das im Einzugsgebiet vorhandene Nutzvolumen aller Speicherseen und regulierten Seen aufsummiert und in Verhältnis gesetzt zur mittleren jährlichen Wasserfracht (Q_{year} ; 1991 – 2020), modelliert aus PREVAH (Kapitel 4.1). Dies ergibt je nach Klassierung eine weitere Gewichtung zwischen 0.1 und 0.4 (Tabelle 2). Falls die Summe der Gewichtungen grösser als 1 ist, wird diese auf 1 abgerundet.

Tabelle 2: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Wasserspeicherung / -regulierung.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
Speicherseen & regulierte Seen im EZG	ja	0.5
	nein	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
gleiche FLOZ bzgl. See und NAWA	ja	0.2
	nein	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
Anteil Nutzvolumen am Q_{year}	$\geq 10 \%$	0.4
	$\geq 5 \%$	0.2
	$\geq 1 \%$	0.1
	$< 1 \%$	0
	n/a	0
		Summe max. 1

4.3.2 Wasserkraft

Bei der Bewertungskategorie Wasserkraft wurden vier Einflusskriterien definiert (Tabelle 3). Liegt eine NAWA-Messstelle an einer Restwasserstrecke (Balmer, 2013) oder Schwall-Sunk-Strecke (Balmer, 2013), ergibt sich eine Gewichtung von 1, womit eine signifikante hydrologische Beeinträchtigung angenommen wird.

Die Restwasserkarte der Schweiz (Kummer u. a., 2007) liefert Informationen zu Wasserentnahmen für die Wasserkraftnutzung. Jedoch liegen nur für rund einen Drittel der Entnahmestandorte konkrete Angaben über entnommene Wassermengen vor, was für eine schweizweit einheitliche Anwendung von HydCheck nicht genügt. Alternativ wurden die Anzahl Entnahmestellen und Rückgabestellen innerhalb eines NAWA-Einzugsgebiets verglichen. Sind diese nicht gleich, wird eine hydrologische Beeinträchtigung angenommen mit einer Gewichtung von 0.5.

Schliesslich wurde der hydrologische Einfluss der Wasserkraft noch mit dem Kriterium Stromproduktion (BFE, 2023) erfasst, um die Grössenordnung der Wasserkraft im Einzugsgebiet abzuschätzen. Dies ergibt je nach Klassierung eine weitere Gewichtung zwischen 0.1 und 0.4.

Tabelle 3: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Wasserkraft.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
Restwasserstrecke am Standort	ja	1
	nein	0
<i>oder</i>		+
Schwall-Sunk-Strecke am Standort	ja	1
	nein	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
Anzahl Rückgabestellen \neq Anzahl Entnahmestellen im EZG	ja	0.5
	nein	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
Stromproduktion total im EZG [GWh/Jahr]	≥ 1000	0.4
	< 1000	0.2
	< 300	0.1
	n/a	0
		Summe max. 1

4.3.3 Abwasser

Die Bewertung des Abwassers für die hydrologische Beeinträchtigung an NAWA-Messstellen beruht einerseits auf dem Abwasseranteil an der Niedrigwasser-Kenngrösse Q_{347} (Abflussmenge, die, gemittelt über 10 Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird) sowie an der Distanz der nächstgelegenen Abwasserreinigungsanlage (ARA) zum NAWA-Standort.

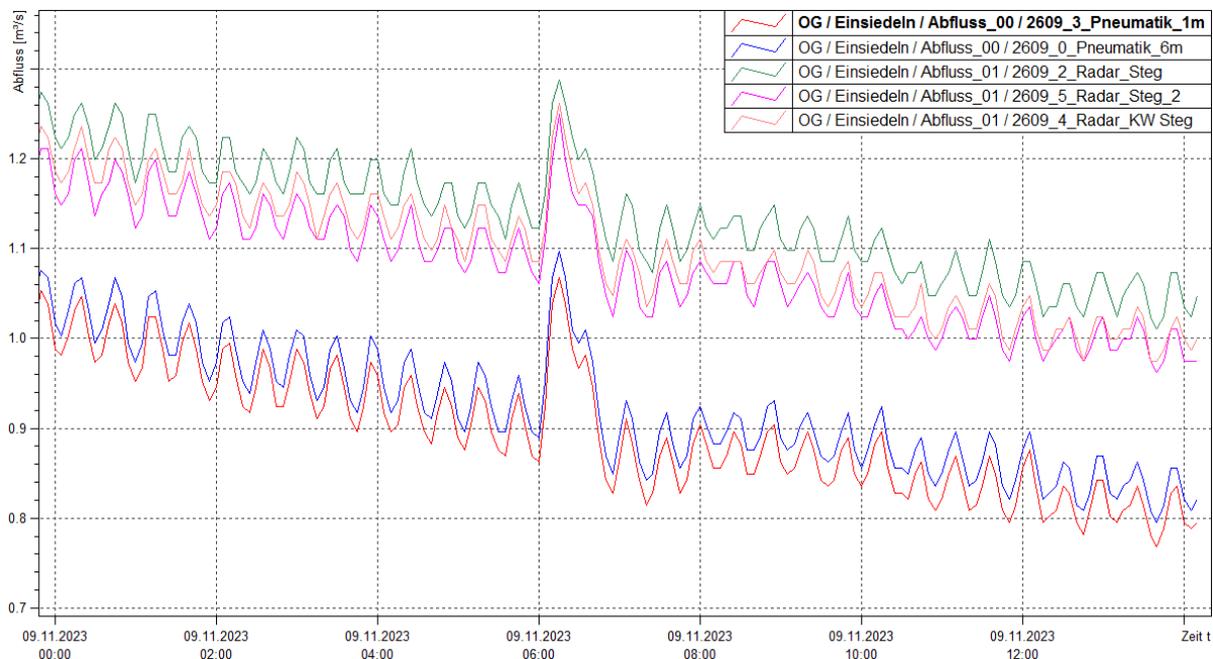
Der Abwasseranteil am Q_{347} basiert auf einem Datensatz des BAFU (Helg, 2023). Darin wird die Abwassermenge von ARAs (oberstrom) in das Fliessgewässernetz integriert und in Verhältnis zum jeweiligen Q_{347} gesetzt. Die Daten zur Abwassermenge stammen aus einem aktuellen Datensatz des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) vom 14.02.2023 (VSA, 2023), die Q_{347} -Daten stammen aus dem Jahr 2006 und sind somit veraltet.

Um auch mit aktuellen Q_{347} -Werten zu arbeiten, wurden diese mithilfe von PREVAH-Simulationen (Kapitel 4.1) neugerechnet. Für die Zeitperiode 1990 – 2006 sowie für die Zeitperiode 2007 – 2022 wurden mit PREVAH die Abflüsse in den NAWA-Einzugsgebieten auf täglicher Basis modelliert und daraus die Q_{347} -Abflusswerte an den NAWA-Stationen berechnet. Der prozentuale Unterschied zwischen den berechneten Q_{347} -Werten dieser zwei Zeitperioden wurde als Korrekturfaktor genommen und mit den ursprünglichen Q_{347} -Werten des BAFU verrechnet. Somit konnten Veränderungen im Niedrigwasserregime seit 2007 berücksichtigt werden, welche auch Auswirkungen auf den resultierenden Abwasseranteil haben (Kapitel 5.1.3). Man beachte hier, dass diese Korrektur nicht automatisiert auf beliebige Einzugsgebiete angewendet werden kann! Diese wurde durch gezielte Simulationen anhand der vorgegebenen NAWA-Einzugsgebiete erstellt. Ist in den Inputdaten kein Korrekturfaktor für eine NAWA Gebiets ID definiert, rechnet das R-Skript automatisch mit den ursprünglichen Q_{347} -Daten aus dem Jahr 2006 weiter (siehe auch Kapitel 4.7).

Der prozentuale Abwasseranteil wurde schliesslich als direkte Gewichtung für den Einflussfaktor Abwasser übernommen (Tabelle 4). Falls eine ARA-Einleitung näher als 2 km vom NAWA-Standort entfernt liegt, gibt es eine zusätzliche Gewichtung von 0.2, da Kurzzeiteffekte in der Abflussganglinie möglich sind (Abbildung 3).

Tabelle 4: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Abwasser.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung direkte Wertüber- nahme (0-1)
Prozentanteil gereinigtes Abwasser an der Abflussmenge Q_{347}	0-100 %	
	n/a	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
Distanz nächste ARA-Einleitung	≤ 2000 m	0.2
	> 2000 m	0
	n/a	0
		Summe max. 1

**Abbildung 3: Beispiel von Schwall-Sunk Phänomenen bei Niedrigwasser an der hydrologischen Mesststelle an der Alp (Einsiedeln), ausgelöst durch die ARA bei Holzrüti, 1.8 km flussaufwärts. Der Abwasseranteil am Q_{347} liegt hier bei 17.5 %.**

4.3.4 Bauwerke

Bei der Bewertungskategorie Bauwerke wird zwischen dem hydraulischen Einfluss oberstrom und unterstrom eines Bauwerks unterschieden. Ein hydrologischer Einfluss auf das Abflussregime wird bei Bauwerken nicht angenommen.

Als Einflussfaktor oberstrom eines Bauwerks werden Staustrecken als hydraulischer Indikator definiert, da Staustrecken sowohl den Pegel als auch die Strömungsdynamik beeinflussen. Ein NAWA-Standort an einer Staustrecke bekommt demnach eine Gewichtung von 1 (Tabelle 5).

Als Einflussfaktor unterstrom eines Bauwerks werden Abstürze sowie gewisse Bauwerkstypen aus dem Gewässerbaukataster der Ökomorphologie Stufe F (BUWAL, 1998) definiert. Nach

Expertenkonsultation wurde der mögliche Einflussbereich so festgelegt, dass die hydraulische Beeinträchtigung unterstrom eines Bauwerks maximal der fünffachen Gerinnebreite am Standort entspricht (Abbildung 4).

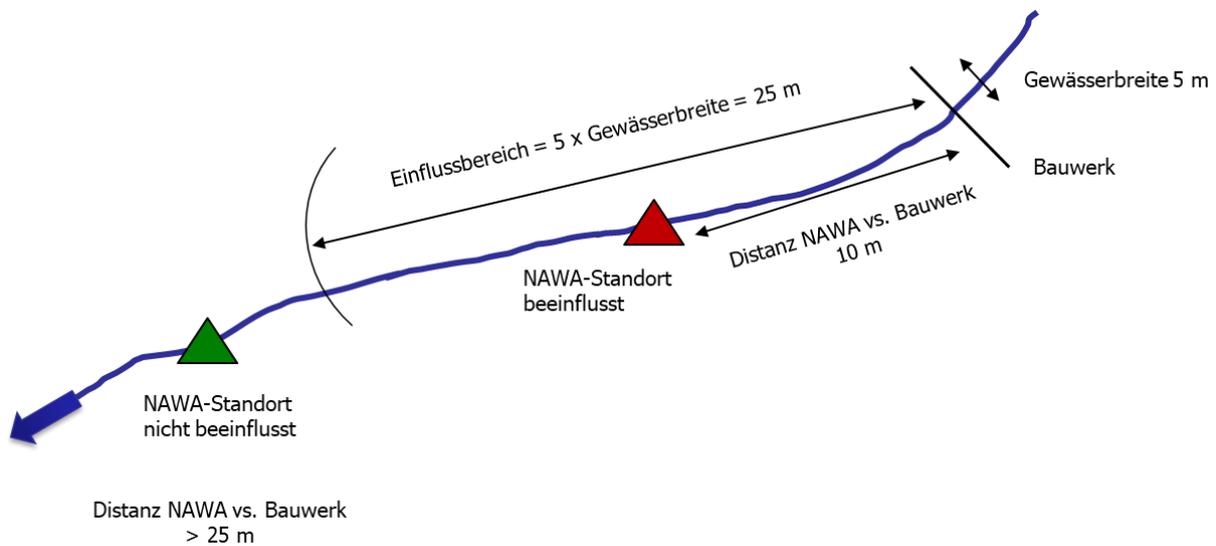


Abbildung 4: Schema für den Einfluss unterstrom bei einer Gerinnebreite von 5 m.

Künstliche und unbekannte Absturztypen wurden gemäss ökomorphologischer Klassierung berücksichtigt (Abbildung 5). Natürliche Abstürze fließen nicht in die Bewertung mit ein.

Bei den Bauwerkstypen gemäss ökomorphologischer Klassierung (BUWAL, 1998) wurden diejenigen in der Beurteilung der hydraulischen Beeinflussung unterstrom berücksichtigt, welche die Längsvernetzung der Fließgewässer beeinflussen. Dies sind folgende Kategorien (Abbildung 5): unbekannt, Sohlrampe, Stauwehr, Streichwehr, Tirolerwehr, Talsperre, Geschiebesperre und Schleuse. Nicht berücksichtigt wurden die Kategorien Brücke, Durchlass, Fischpass und Furt.

Abstürze:		CODE
Absturz-Typ	unbekannt	0
	natürlich	1
	künstlich	2
Material	natürlich	0
	Holz	1
	Fels / Steinblöcke	2
	Beton / Steinpflasterung	3
	andere / unbekannt	4
Höhe	Angabe in [cm]	

Bauwerke:		CODE
Bauwerk-Typ	unbekannt	0
	Sohlrampe sehr rau / aufgegl.	1
	Sohlrampe glatt / wenig rau	2
	Stauwehr	3
	Streichwehr	4
	Tirolerwehr	5
	Talsperre	6
	Fischpass	7
	Geschiebesperre	8
	Schleuse	9
	Durchlass	10
*nur wenn nicht in Karte eingezeichnet	*Brücke	11
	Seitenentnahme ohne Wehr	12
	Furt	13
Höhe	Angabe in [cm]	

Abbildung 5: Bauwerk- und Absturztypen gemäss Ökomorphologie Stufe F (BUWAL, 1998). Die gelb markierten Kategorien wurden für die hydraulische Beeinflussung unterstrom in HydCheck verwendet.

Liegt eine NAWA-Messstelle an einer Staustrecke, ergibt sich eine Gewichtung von 1, womit eine signifikante hydraulische Beeinträchtigung oberstrom angenommen wird. Für die hydraulische Beeinträchtigung unterstrom wird die Distanz der NAWA-Messstelle zum Bauwerk innerhalb des definierten Einflussbereiches ($5 \times$ Gerinnebreite) in drei Klassen unterteilt. Dies ergibt je nach Klassierung eine weitere Gewichtung zwischen 0.2 und 1.

Tabelle 5: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Bauwerke.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
Staustrecke am Standort (Einfluss oberstrom)	ja	1
	nein	0
<i>zusätzliche Gewichtung, wenn</i>		+
Bauwerke & Abstürze (Einfluss unterstrom) Distanz / $5 \times$ Gerinnebreite	≤ 0.1	1
	≤ 0.5	0.5
	≤ 1	0.2
	> 1	0
	n/a	0
		Summe max. 1

4.3.5 Landwirtschaft

Die Bewertungskategorie Landwirtschaft setzt sich zusammen aus dem Wasserbedarf der beiden Einflussfaktoren Grossvieh und Bewässerung (angelehnt an die Methodik von Brunner et al., 2019). Der geschätzte jährliche Wasserbedarf dieser beiden Einflussfaktoren wird pro NAWA-Einzugsgebiet zusammengerechnet und in Verhältnis gesetzt zur mittleren jährlichen Wasserfracht (Q_{year}) modelliert aus PREVAH (Kapitel 4.1). Dies ergibt je nach Klassierung eine Gewichtung zwischen 0.2 und 1 (Tabelle 6).

Der Wasserbedarf von Grossvieh berechnet sich aus dem Wasserverbrauch von 110 Liter pro Grossvieheinheit und Tag (Freiburghaus, 2009) und der Anzahl Grossvieheinheiten pro Gebiet (BFS, 2022a). Es wurde eine über das Jahr konstante Wassernachfrage angenommen.

Der Wasserbedarf für Bewässerung wurde mithilfe der Rasterkarte «Bewässerungsbedürftigkeit» berechnet (Fuhrer, 2010). Die Rasterkarte beschreibt das langjährige 33 % Quantil der relativen Evapotranspiration (Verhältnis von aktueller (ET) zu potenzieller Evapotranspiration (ETP): ET/ETP) für die landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz mit einer Auflösung von $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ (Vegetationsperioden des Zeitraumes 1980 – 2006). Daraus ergibt sich für die gesamte Schweiz eine bewässerungsbedürftige landwirtschaftliche Nutzfläche von 382'200 ha. Der schweizweite Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft wurde anhand von zwei Studien (BLW, 2007; Fuhrer, 2010) auf 144 Mio. m^3 geschätzt. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Bewässerungsbedarf von $377 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Tabelle 6: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Landwirtschaft.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
Grossvieh (110 l/d pc) Bewässerung (377 m ³ /ha)	≥ 5 %	1
	≥ 4 %	0.8
	≥ 3 %	0.6
	≥ 2 %	0.4
	≥ 1 %	0.2
Σ jährl. Wasserbedarf vs. Q _{year} (%)	< 1 %	0
	n/a	0
		Summe max. 1

4.3.6 Trink- / Brauchwasser

Die Bewertungskategorie Trink- / Brauchwasser setzt sich zusammen aus dem Wasserbedarf der Einflussfaktoren Haushalte, Tourismus, Industrie, Dienstleistungssektor und Schneeproduktion. Die Methodik ist angelehnt an Brunner et al. (2019), verwendet jedoch die aktuellsten Zahlen aus der Bevölkerungsstatistik. Die Konsumzahlen des Wasserverbrauchs gemäss Brunner et al. (2019) wurden mit den neusten Werten des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) von 2022 verglichen. Demnach sind die Wasserverbrauchszahlen aus Brunner et al. (2019) immer noch aktuell und wurden entsprechend in HydCheck übernommen. Einzig bei der Schneeproduktion wurde der Wasserverbrauch leicht nach unten korrigiert (siehe unten).

Für die Trinkwassernachfrage wurden sowohl die Haushalte wie auch der Tourismussektor berücksichtigt. Für die Haushalte wurde die Trinkwassernachfrage abgeschätzt, indem der Wasserverbrauch von 142 Liter pro Person und Tag (Freiburghaus, 2009) mit der Anzahl Bewohner pro Gebiet (BFS, 2022c) multipliziert wurde. Dabei wurde ein konstanter Trinkwasserverbrauch über das Jahr angenommen.

Die Trinkwassernachfrage im Tourismussektor wurde in ähnlicher Weise abgeschätzt, indem der Wasserverbrauch pro Person mit der Anzahl Logiernächte (BFS, 2022b) in einem Gebiet multipliziert wurde.

Die Wassernachfrage für den Industrie- (zweiter Sektor) und Dienstleistungssektor (dritter Sektor) wurde abgeschätzt, indem der Wasserverbrauch pro Mitarbeiter/in mit der Anzahl Mitarbeiter/innen pro Gebiet (BFS, 2021) multipliziert wurde. Die Wassernachfrage für Industrie und Dienstleistungen wurde über das Jahr als konstant angenommen. Es wurde zwischen zwei verschiedenen Wasserverbrauchsraten unterschieden: 148 m³ pro Mitarbeiter/in und Jahr für den zweiten Sektor und 85 m³ pro Mitarbeiter/in und Jahr im dritten Sektor (Freiburghaus, 2009).

Die Wassernachfrage für die Produktion von künstlichem Schnee wurde durch die Multiplikation der Pistenfläche mit dem Wasserverbrauch pro Fläche ermittelt. Die künstlich beschneiten Pistenflächen wurden aus der Anzahl Pistenkilometern, welche von Brunner et al. (2019) gesammelt und von den Skidestinationen zur Verfügung gestellt wurden, und einer mittleren Pistenbreite von 30 m (Iseli, 2015) berechnet. Die Wassernachfrage für die Beschneidung ergab sich aus der Multiplikation der berechneten Pistenflächen mit einem mittleren Wasserverbrauch pro ha von 1120 m³. Angelehnt an eine Studie von Marty et al. (2017) wurde eine Höhenlage von 1950 m ü. M. für Schneesicherheit definiert. Gemäss unserer Methodik wird angenommen, dass Schneeproduktion nur unterhalb dieser Höhenlage stattfindet. Entsprechend wurde der Wasserbedarf nur für jene Pistenkilometer unterhalb von 1950 m ü. M. berechnet. Somit sind die in HydCheck geschätzte schweizweit beschneite Pistenfläche

(11'880 ha) und der totale Wasserverbrauch (13.3 Mio. m³) fast identisch mit den aktuellen Zahlen der Seilbahnen Schweiz mit 11'600 ha beschneite Pistenfläche bzw. rund 13 Mio. m³ Wasserverbrauch (SBS, 2022).

Der geschätzte jährliche Wasserbedarf der fünf Einflussfaktoren wird pro NAWA-Einzugsgebiet zusammengezählt und in Verhältnis gesetzt zur mittleren jährlichen Wasserfracht (Q_{year}) modelliert aus PREVAH (Kapitel 4.1). Dies ergibt je nach Klassierung eine Gewichtung zwischen 0.2 und 1 (Tabelle 7).

Tabelle 7: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Trink-/Brauchwasser.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
	≥ 20 %	1
Haushalte (142 l/d pc)	≥ 10 %	0.8
Tourismus (142 l/d pc)	≥ 5 %	0.6
Industrie (148 m ³ /y pc)	≥ 2 %	0.4
Dienstleitung (85 m ³ /y pc)	≥ 1 %	0.2
Schneeproduktion (1120 m ³ /ha; 1950 m ü.M.)	< 1 %	0
∑ jährl. Wasserbedarf vs. Q_{year} (%)	n/a	0
		Summe max. 1

4.3.7 Grundwasser

Für die Bewertungskategorie Grundwasser wurde die Distanz der nächsten Quell- oder Grundwasserfassung zum NAWA-Standort berücksichtigt sowie zusätzlich die Dichte der Quell- oder Grundwasserfassung im Einzugsgebiet. Bei einer Distanz kleiner als einem Kilometer wurde je nach Klassierung eine Gewichtung von 0.2 bis 1 vergeben. Bei zehn oder mehr Quell- oder Grundwasserfassungen im Einzugsgebiet gab es eine zusätzliche Gewichtung von 0.1 bis 0.4 (Tabelle 8).

Die Standorte der Quell- und Grundwasserfassungen stammten aus einem konsolidierten Datensatz von Grundwasserschutz zonen S1 (geodienste.ch, 2023) sowie aus der Hydrogeologischen Karte GK500 (Infiltrations- und Exfiltrationsstandorte; BAFU, 2007). Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden alle Punkte aus GK500 gelöscht, welche innerhalb eines Perimeters S1 liegen (Abbildung 6).

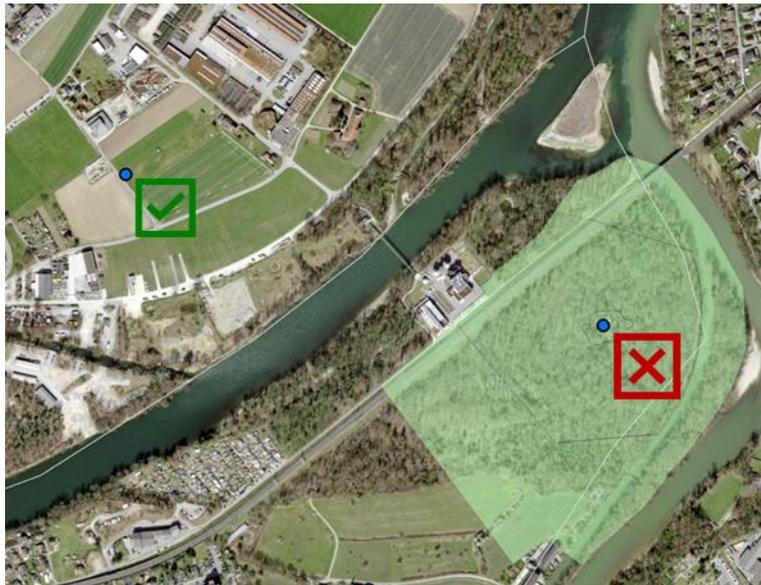


Abbildung 6: Infiltrations- und Exfiltrationsstandorte aus der Hydrogeologischen Karte GK500 (blaue Punkte). Überschneiden diese sich mit Grundwasserschutzperimeter S1 (transparente grüne Fläche), werden sie in HydCheck nicht berücksichtigt.

Tabelle 8: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Grundwasser.

Beurteilungsparameter	Klassen	Gewichtung
Distanz nächste Quell- oder Grundwasserfassung	≤ 100 m	1
	≤ 500 m	0.5
	≤ 1000 m	0.2
	> 1000 m	0
	n/a	0
zusätzliche Gewichtung, wenn		+
Quell- und Grundwasserfassungen [Anz./100 km ²]	≥ 100	0.4
	≥ 50	0.2
	≥ 10	0.1
	< 10	0
	n/a	0
		Summe max. 1

4.4 Ampelsystem zur Beurteilung der hydrologischen Kenngrössen

Neben der Beurteilung des hydrologischen Einflusses der sieben Bewertungskategorien mithilfe von Netzdiagrammen (Kapitel 4.3) wurde in HydCheck zusätzlich noch ein Ampelsystem definiert, um die Art und das Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung genauer zu bewerten (Abbildung 8). Angelehnt an die Methodik in HYDMOD-F wurden folgende fünf hydrologische Kenngrössen definiert:

- Niedrigwasserregime
- Mittelwasserregime
- Hochwasserregime
- Kurzzeiteffekte
- Hydraulik

Unter dem Begriff Abflussregime wird das Abflussverhalten eines Fliessgewässers verstanden. Das Abflussregime zeigt sich im Verlauf und der Ausprägung der Abflussganglinien (Pfaundler u. a., 2011). Das Abflussgeschehen kann in die drei Teilregime Mittelwasserregime, Hochwasserregime und Niedrigwasserregime gegliedert werden. Die Abgrenzung der Teilregime erfolgt analog zur Methodik in HYDMOD-F anhand des mittleren jährlichen Abflusses (MQ; Abbildung 7). Des Weiteren werden anthropogen verursachte Kurzzeiteffekte in Form von Schwall-Sunk-Phänomenen beurteilt. Schliesslich werden mit der Hydraulik als fünfte hydrologische Kenngrösse die Strömungsverhältnisse und Wasserstände (Pegel) an den NAWA-Messstellen betrachtet.

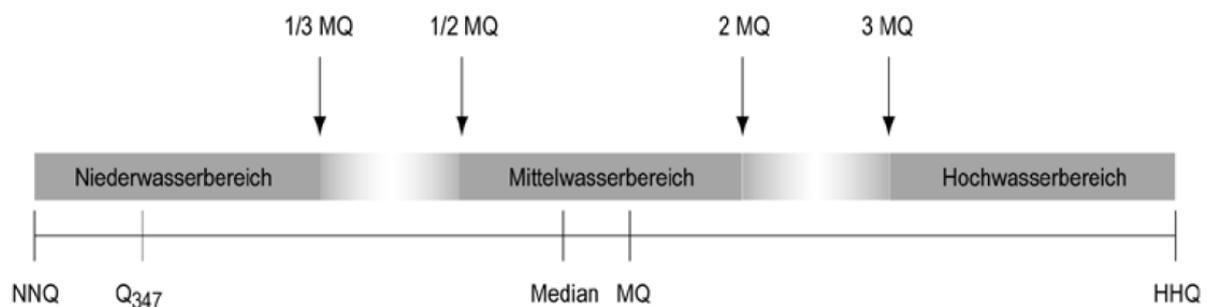


Abbildung 7: Abgrenzung des Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereichs in Abhängigkeit von MQ gemäss HYDMOD-F (Pfaundler u. a., 2011). NNQ: kleinster je gemessener Abfluss, HHQ: grösster je gemessener Abfluss, Q347: Niedrigwasserabfluss, MQ: mittlerer jährlicher Abfluss.

Die fünf hydrologischen Kenngrössen werden jeweils in vier Klassen unterteilt, um das Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung zu kategorisieren:

- keine Der NAWA-Standort ist hydrologisch nicht beeinträchtigt
- gering Beeinträchtigung vorhanden, aber nicht ausgeprägt
- mittel Hydrologische Beeinträchtigung ist ausgeprägt
- stark Anthropogene Einflussfaktoren haben grosse Auswirkungen

Niedrigwasserregime				
Mittelwasserregime				
Hochwasserregime				
Kurzzeiteffekte				
Hydraulik				
Hydrologische Beeinträchtigung	keine	gering	mittel	stark

Abbildung 8: Beispiel der Ampelbewertung für die NAWA-Messstelle Reppisch – Dietikon (BADU_ID 1020), um Art und Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung zu beurteilen.

Die Klassierung des Beeinträchtigungsgrades der hydrologischen Kenngrössen basiert auf der Bewertungsmatrix (Tabelle 9, Tabelle 10). Darin sind insgesamt zehn Einflussfaktoren definiert, mit jeweils unterschiedlichem Einfluss auf die hydrologischen Kenngrössen.

Bei der Kategorie Abwasser werden Abwasseranteil und Distanz zur nächsten ARA berücksichtigt. Bei der Kategorie Wasserkraft werden Restwasserstrecken und Schwall-Sunk-Strecken berücksichtigt. Bei der Kategorie Bauwerke werden Staustrecken sowie Abstürze und Bauwerkstypen (siehe Kapitel 4.3.4) berücksichtigt. Für die Kategorien Grundwasser, Wasserspeicherung/-regulierung, Landwirtschaft und Trink-/Brauchwasser wird die Gesamtbewertung gemäss Netzdiagramm berücksichtigt.

Wird je nach Einflussfaktor eine Beeinträchtigung angenommen, wird in der Bewertungsmatrix bei der jeweiligen hydrologischen Kenngrösse ein X gesetzt (Tabelle 9). Dem X wird je nach Indexwert i (entspricht der jeweiligen Gewichtung in den Netzdiagrammen; vgl. Tabelle 2 bis Tabelle 8) ein Wert von 0, 0.1, 1 oder 3 zugeordnet. Fett geschriebene X bezeichnen einen signifikanten Einfluss auf die jeweilige hydrologische Kenngrösse und erhalten demnach eine höhere Gewichtung (von 0.1 auf 1 oder von 1 auf 3), sodass die Klassierung des Beeinträchtigungsgrades jeweils um eine Stufe ansteigt.

Bei hohen Indexwerten (in den meisten Fällen $i = 1$; ausser beim Abwasseranteil $i \geq 1$ und bei der Distanz ARA $i = 0.2$) ist auch die Gewichtung von X höher ($X = 1$ oder $X = 3$). Bei tieferen Indexwerten (in den meisten Fällen $0 < i < 1$; ausser beim Abwasseranteil $0.05 < i < 0.5$) ist die Gewichtung von X geringer ($X = 0.1$ oder $X = 1$).

«Keine Beeinträchtigung» (grün) einer hydrologischen Kenngrösse kann nur vorkommen, wenn der Summenwert von $X = 0$ ist (d.h. der entsprechende Indexwert ist bei allen Einflussfaktoren $i = 0$; ausser beim Abwasseranteil $i < 0.05$). Eine «geringe Beeinträchtigung» (gelb) besteht bei einem Summenwert von $X < 1$, eine «mittlere Beeinträchtigung» (orange) besteht bei einem Summenwert von $X < 3$ und eine «starke Beeinträchtigung» (rot) besteht bei einem Summenwert von $X \geq 3$ (Tabelle 10).

Tabelle 9: Bewertungsmatrix für die Beurteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrössen.

Hydrologische Kenngrösse	Abwasser		Wasserkraft		Bauwerke		Grundwasser	Wasser-speicherung/-regulierung	Landwirtschaft	Trink-/ Brauchwasser
	Abwasseranteil	Distanz	Restwasser	Schwall-Sunk	Stautrecke	Bauwerke & Abstürze				
Niedrigwasser-regime	X		X				X	X	X	X
Mittelwasser-regime	X		X				X	X	X	X
Hochwasser-re-gime			X					X		X
Kurzzeiteffekte		X		X						
Hydraulik					X	X				

$X = 0$,
 if index i is: $i < 0.05$ $i = 0$ $i = 0$

$X = 0.1$ or $X = 1$,
 if index i is: $0.05 \leq i < 0.5$ n/a n/a n/a n/a $0 < i < 1$ $0 < i < 1$

$X = 1$ or $X = 3$,
 if index i is: $i \geq 0.5$ $i = 0.2$ $i = 1$ $i = 1$

Tabelle 10: Bewertungsklassen (Ampel) anhand der summierten X-Werte aus der Bewertungsmatrix.

Hydrologische Kenngrösse		Summe von X			
		keine	gering	mittel	stark
Niedrigwasserregime	$\sum X$	0	< 1	< 3	≥ 3
Mittelwasserregime	$\sum X$	0	< 1	< 3	≥ 3
Hochwasserregime	$\sum X$	0	< 1	< 3	≥ 3
Kurzzeiteffekte	$\sum X$	0	< 1	< 3	≥ 3
Hydraulik	$\sum X$	0	n/a	n/a	≥ 3
	Beeinträchtigung	keine	gering	mittel	stark

4.5 Expertenkonsultation

Zu den verschiedenen Bewertungskategorien wurden Experten befragt (Tabelle 11). Die Experten wurden in einem ersten Schritt konsultiert, um die Methodik zu verfeinern (Wahl der Indikatoren, Klassengrenzen und Gewichtung). In einem zweiten Schritt wurden die Resultate der Modellierung (Netzdiagramm und Ampelsystem) anhand von lokalen Kenntnissen der Experten an ausgewählten Standorten validiert und die Erkenntnisse flossen in die Überarbeitung bzw. das Finetuning des Tools ein.

Tabelle 11: Liste der konsultierten Experten für Feedbacks zu Methodik und Resultaten.

Expertin / Experte	Institution	Bereich
Tobias Wechsler	WSL	Wasserkraft
André Olschewski	BAFU	Trink-/Brauchwasser
Heinz Ehmann	AfU (Kt. TG)	Landwirtschaft
Irene Wittmer & Tobias Doppler	VSA / EAWAG	Abwasser
Volker Weitbrecht & Barbara Stocker	VAW (ETHZ)	Wasserspeicherung / -regulierung Bauwerke
Marc Schürch	BAFU	Grundwasser
Heinz Ehmann Hanspeter Hodel	AfU (Kt. TG) BAFU	Spezifische Standortbewertungen
Martin Pfandler	BAFU	Wasserkraft, HYDMOD-F

4.6 Faktenblätter

Die detaillierten Kennzahlen aus der Analyse mit HydCheck wurden in Faktenblättern dokumentiert. Pro NAWA-Standort wurden so zu allen Einflussfaktoren gemäss Abbildung 1 die genauen Parameterwerte extrahiert, auf denen auch die in Kapitel 4.3 definierten Klassengrenzen basieren. Auf den Faktenblättern sind zudem die jeweiligen Netzdiagramme (Kapitel 4.3) sowie die Ampel (Kapitel 4.4) dargestellt und sie bilden somit gewissermassen das Hauptresultat der Studie. Die automatische Generierung der Faktenblätter ist mit R programmiert und integraler Bestandteil des HydCheck Tools (Kapitel 4.7).

4.7 R-Tool

Das «R-Tool» besteht aus einer Reihe von R-Skripten, die in der richtigen Reihenfolge gestartet werden müssen. Die Skripte wurden mit der R Version 4.3.2 (R Studio v. 2024.04.01) geschrieben und getestet. Folgende R-Packages müssen installiert sein: *stars*, *sf*, *lwgeom*, *dplyr*, *purrr*, *scales*, *fmsb*, *cowplot*, *tinytex*.

Die R-Skripte sollen über das R-Projekt (*HydCheck_Tool.Rproj*) im Hauptordner geöffnet werden. Die Ordnerstruktur sollte so beibehalten werden.

In einem Functions-File (*0_functions.R*) sind Basisfunktionen sowie eine Plotting-Funktion für die Ampel definiert, die von anderen Skripten gesourced werden. Die drei Basisfunktionen sind: Berechnung von Überschneidungen (Punkte, Linien, Flächen) / Distanz zwischen zwei Punkten (Luftlinie) / Minimale Distanz zwischen einem Punkt und einer Linie oder Fläche. In einem Paths-File (*0_paths.R*) sind alle relativen Dateipfade spezifiziert.

Im ersten Schritt des R-Tools werden alle Datensätze mit den Shapefiles der gewünschten Einzugsgebiete (hier die 143 NAWA Gebiete) verschnitten (*1_cut_to_shapes.R*). Dazu müssen alle Einzugsgebiete in einem Shapefile (Polygon) im Koordinatensystem CH1903+/LV95 sowie folgende Metadaten (Kolonnen-Titel sind so zu übernehmen) vorliegen: *Shape_Area* = Einzugsgebietsfläche in m², *ID_BAFU* = eindeutige Gebiets ID. Dazu wird ein zweites Shapefile mit den zu betrachtenden Stationen (ein Punktdatensatz pro Einzugsgebiet; hier NAWA Stationen) mit folgenden Metadaten (Kolonnen-Titel sind so zu übernehmen) benötigt: *X* = X-Koordinate in CH1903+/LV95, *Y* = Y-Koordinate in CH1903+/LV95, *NAME* = Name der Station, *GEWAESSER* = Name des Gewässers, *ID_BAFU* = eindeutige Gebiets ID (identisch mit dem Einzugsgebiets-Shapefile), *KANTON* = Kantonskürzel in Grossbuchstaben. Die Dateipfade sowie die Filenamen müssen im Path-File (*0_paths.R*) angepasst werden, insofern diese geändert werden. Es wird empfohlen, die Dateipfade nicht zu verändern.

Im zweiten Schritt des R-Tools werden pro Bewertungskategorie, jeweils in einem separaten R-Skript, alle Berechnungen durchgeführt (via *2_1_control_calculations.R* können alle R Skripte nacheinander gestartet werden). Als Output entstehen Textfiles mit den Indexdaten für das Netzdiagramm, die Ampel sowie weiteren Informationen für die Faktenblätter.

Im dritten Schritt des R-Tools werden die Faktenblätter (*4_1_create_factsheets.R*) für alle Einzugsgebiete basierend auf den in Schritt 2 generierten Textfiles erstellt.

Vorgehen:

1. Shapefiles für die gewünschten Einzugsgebiete und Stationen (im vorgegebenen Format) erstellen und Pfade/Namen anpassen (*0_paths.R*). Danach «*1_cut_to_shapes.R*» ausführen.
2. «*2_1_control_calculations.R*» ausführen
3. «*4_1_create_factsheets.R*» ausführen

Hinweise:

- Distanzen werden immer in Luftlinie gerechnet, nicht entlang des Fließgewässers

- Es werden nur Einzugsgebiete berücksichtigt, die mehr als 70 % ihrer Fläche in der Schweiz haben. Die übrigen werden in Schritt 1 aussortiert. Dieser Schritt ist notwendig, da die Datengrundlage ausserhalb der Schweiz nicht gegeben ist.
- Wird nicht mit NAWA-Gebieten gerechnet, darf bei den verwendeten Einzugsgebieten keine Einzugsgebiets ID verwendet, die auch bei den NAWA Gebieten verwendet wurde. Es kommt sonst wegen der Q_{347} -Korrektur beim Abwasser (siehe Kapitel 4.3.3) zu Fehlberechnungen.

Für die Clusteranalyse der Einzugsgebiete (Kapitel 5.3) wurde ein separates R-Skript verwendet. Das Skript wurde mit der R Version 4.3.2 (R Studio v. 2024.04.01) geschrieben. Folgende R-Packages wurden dafür benötigt: *stars*, *scales*, *sf*, *corrplot*, *fmsb*, *rpart*, *rpart.plot*.

Die Clusteranalyse ist ein exploratives Verfahren, um Ähnlichkeitsstrukturen in Daten zu erkennen. Dabei soll jedes Cluster in sich möglichst gleichartig (homogen) sein und sich gleichzeitig von den anderen Clustern möglichst stark unterscheiden (heterogen). Die hier verwendete Clusterbildung basiert auf einem agglomerativen hierarchischen Clusterverfahren nach der Ward-Methode. Dabei werden die Cluster, die den kleinsten Zuwachs der totalen Varianz aufweisen, fusioniert (Ward, 1963).

Konkret wurden aus den Netzdiagrammen der 136 NAWA-Standorte verschiedene Cluster gebildet, in denen Stationen mit ähnlichem Beeinflussungsmuster zusammengefasst sind. Es wurden Analysen mit fünf bis zwölf Clustern gemacht und miteinander verglichen. Schliesslich zeigte sich, dass eine Clusterbildung mit acht Kategorien die aussagekräftigste Typisierung der 136 untersuchten NAWA-Einzugsgebiete liefert (vgl. Kapitel 5.3).

5 Resultate

Von den insgesamt 143 NAWA Standorten liegen 136 zu mehr als 70 % in der Schweiz und konnten dementsprechend betrachtet werden. In der Bewertung nicht berücksichtigt sind sieben NAWA-Standorte mit einem Auslandsanteil von mehr als 30 % (Tabelle 12).

Tabelle 12: In HydCheck nicht berücksichtigte NAWA TREND Stationen aufgrund eines Auslandsanteils von mehr als 30 % an der Einzugsgebietsfläche.

BAFU ID	Name	Kanton	Gewässer
1318	Stein am Rhein	SH	Rhein
1414	Ponte-Tresa	TI	Tresa
1556	Passerelle E. de Médecine	GE	Arve
1825	Rekingen	AG	Rhein
1838	Chancy	GE	Rhône
2032	Ocourt, Pesses des Vernes	JU	Doubs
6271	Saut du Doubs	NE	Doubs

In Kapitel 5.1 sind die Resultate der NAWA-Standortbeurteilung und insbesondere die Indexwerteverteilung der sieben Bewertungskategorien dargelegt. In Kapitel 5.2 sind die Beeinträchtigungen der 136 NAWA-Standorte anhand der fünf hydrologischen Kenngrössen ausgewertet. In Kapitel 5.3 sind schliesslich die Netzdiagramme in Resultate mit ähnlicher Ausprägung geclustert. Dies ermöglichte es, die NAWA-Standorte nach typischen Beeinflussungsmustern zu gruppieren.

5.1 Einflussfaktoren auf den Abfluss an NAWA-Standorten

5.1.1 Wasserspeicherung / -regulierung

Rund 62 % der NAWA-Standorte ($n = 84$) sind nicht durch Wasserspeicherung/-regulierung beeinflusst. Hingegen haben rund 5 % der NAWA-Standorte ($n = 7$) eine starke Beeinflussung durch Wasserspeicherung/-regulierung mit einem Indexwert von 1 (Abbildung 9). Bei knapp 10 % der NAWA-Stationen ($n = 13$) liegt der Standort auf der gleichen Flussordnungszahl (Strahlerordnung) des Fliessgewässernetzes wie der oberstrom liegende Stausee oder regulierte See. Bei 19 % der NAWA-Standorte ($n = 26$) machte der kumulierte Nutzvolumenanteil der Stauseen und/oder regulierten Seen im Einzugsgebiete 10 % oder mehr der jährlichen Wasserfracht (Q_{year}) aus. Im Mittel liegt der Nutzvolumenanteil am Q_{year} bei 4.3 % (Abbildung 10).

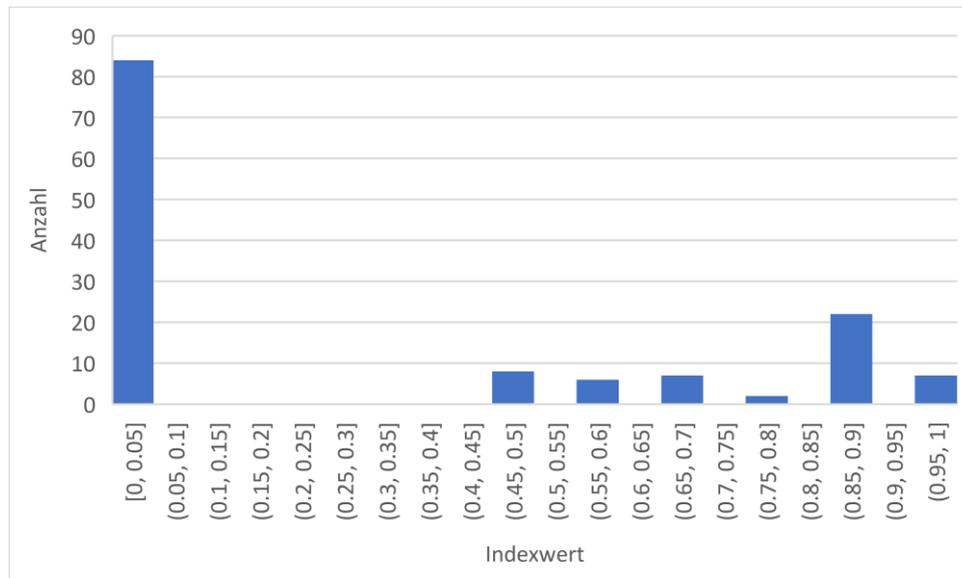


Abbildung 9: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Wasserspeicherung / -regulierung für die 136 NAWA-Standorte.

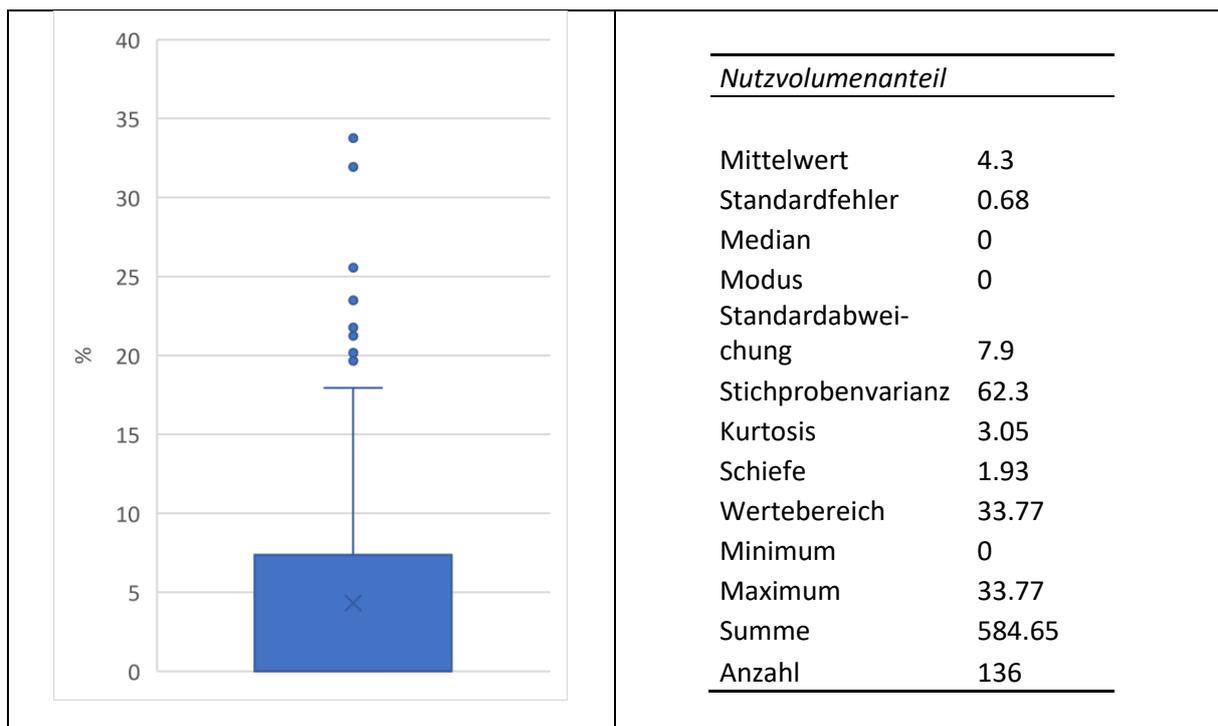


Abbildung 10: Verteilung des Nutzvolumenanteils aus Stauseen und regulierten Seen an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.2 Wasserkraft

Rund 44 % der NAWA-Standorte ($n = 60$) sind nicht durch Wasserkraft beeinflusst. Hingegen haben rund 20 % der NAWA-Standorte ($n = 27$) eine starke Beeinflussung durch Wasserkraft mit einem Indexwert von 1 (Abbildung 11). Bei 49 Einzugsgebieten (36 %) ist die Anzahl der Wasserentnahmestellen und die Anzahl der Wasserrückgabestellen ungleich, was zu einer Beeinflussung des Abflussregimes an der NAWA-Station führt. In 12 Einzugsgebieten (9 %) gibt es mehr Rückgabestellen, während es in

37 Einzugsgebieten mehr Entnahmestellen (27 %) gibt. 6 NAWA-Standorte (4 %) liegen an einer Restwasserstrecke und 21 NAWA-Standorte (15 %) liegen an einer Schwall-Sunk-Strecke. Schliesslich haben 27 NAWA-Einzugsgebiete (20 %) eine kumulierte Stromproduktion durch Wasserkraft von ≥ 1000 GWh/Jahr.

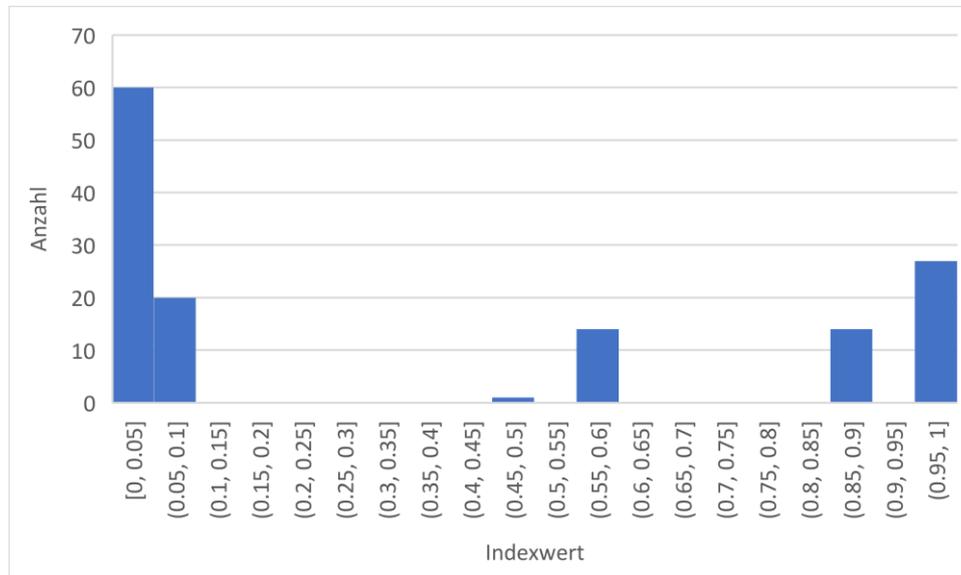


Abbildung 11: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Wasserkraft für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.3 Abwasser

Rund 31 % der NAWA-Standorte ($n = 42$) sind nicht durch Abwasser beeinflusst. Weitere 27 Standorte (20 %) haben einen Abwasseranteil von < 5 % am Q_{347} . 12.5 % der NAWA-Standorte ($n = 17$) haben einen Abwasseranteil von ≥ 50 % am Q_{347} und lediglich 3 % der NAWA-Standorte ($n = 4$) haben eine starke Beeinflussung mit einem Abwasseranteil von ≥ 100 % am Q_{347} (Abbildung 12). Der mittlere Abwasseranteil am Q_{347} liegt bei 11.4% (Abbildung 13). Bei 24 NAWA-Stationen (18 %) ist die Distanz oberstrom zur nächsten Einleitung einer Abwasserreinigungsanlage ≤ 2 km entfernt.

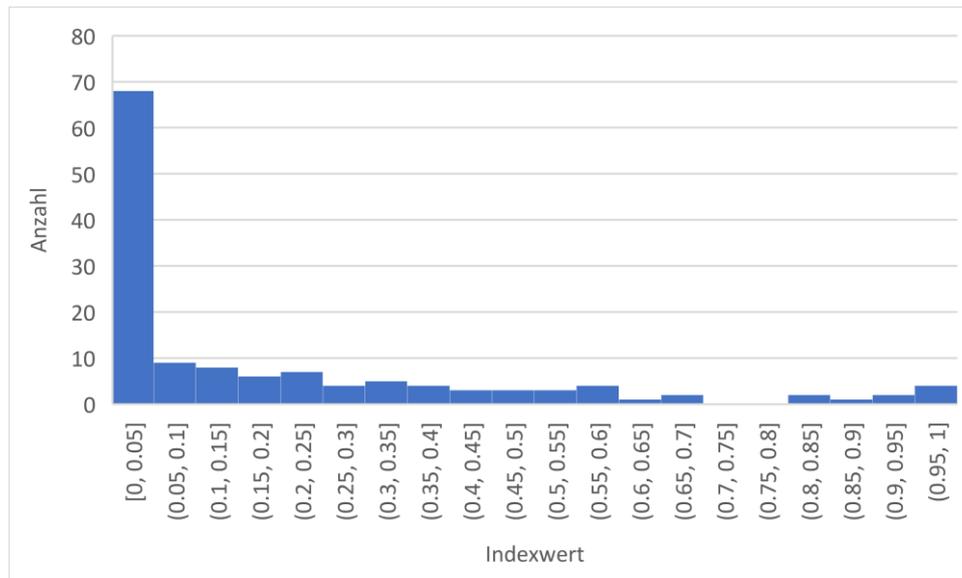


Abbildung 12: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Abwasser für die 136 NAWA-Standorte.

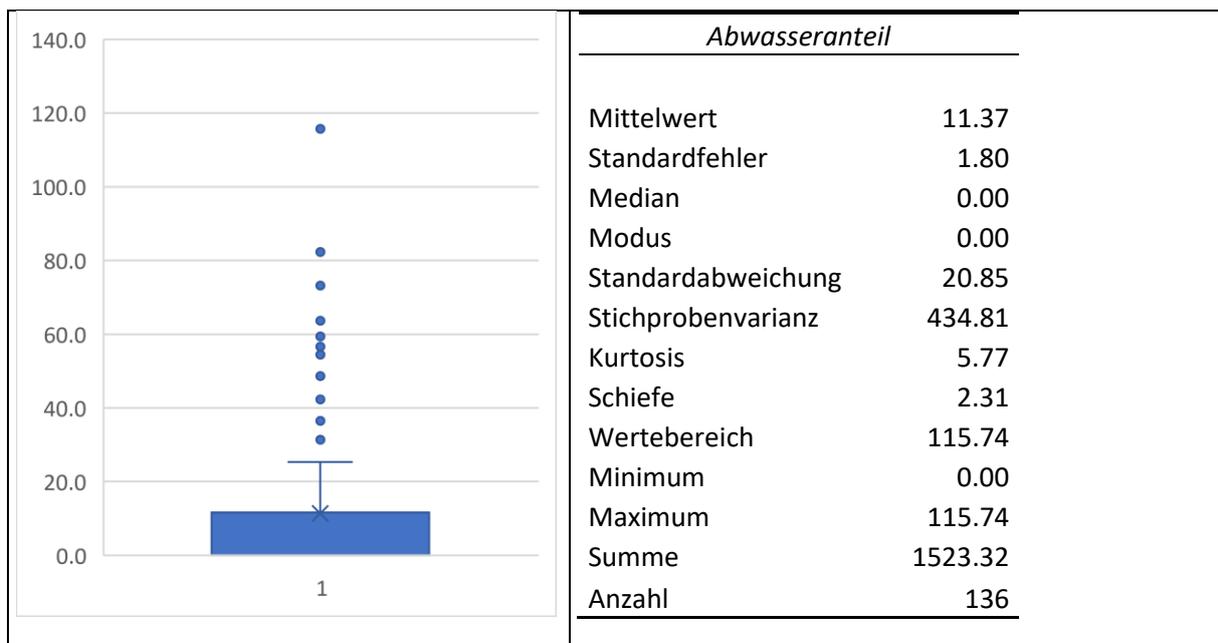


Abbildung 13: Verteilung des Abwasseranteils am Niedrigwasserabfluss Q_{347} für die 136 NAWA-Standorte.

Die Korrektur der Q_{347} -Werte mit PREVAH, wie in Kapitel 4.3.3 beschrieben, ist im Folgenden dargelegt. Im Vergleich zur Periode 1990 – 2006 sind die mit PREVAH modellierten Q_{347} -Werte der letzten 20 Jahre (Periode 2007 – 2022) im Durchschnitt rund 20 % tiefer (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 15). Vereinzelt sind in der aktuelleren Zeitspanne aber auch bis zu 25 % höhere Q_{347} -Werte mit PREVAH modelliert. Entsprechend sind auch die korrigierten Q_{347} -Abflüsse grundsätzlich niedriger als die 2006 vom BAFU berechneten Werte (Abbildung 16). Im Umkehrschluss folgt daraus, dass mit niedrigerem Q_{347} der Abwasseranteil an den meisten NAWA-Standorten grösser wird (Abbildung 17).

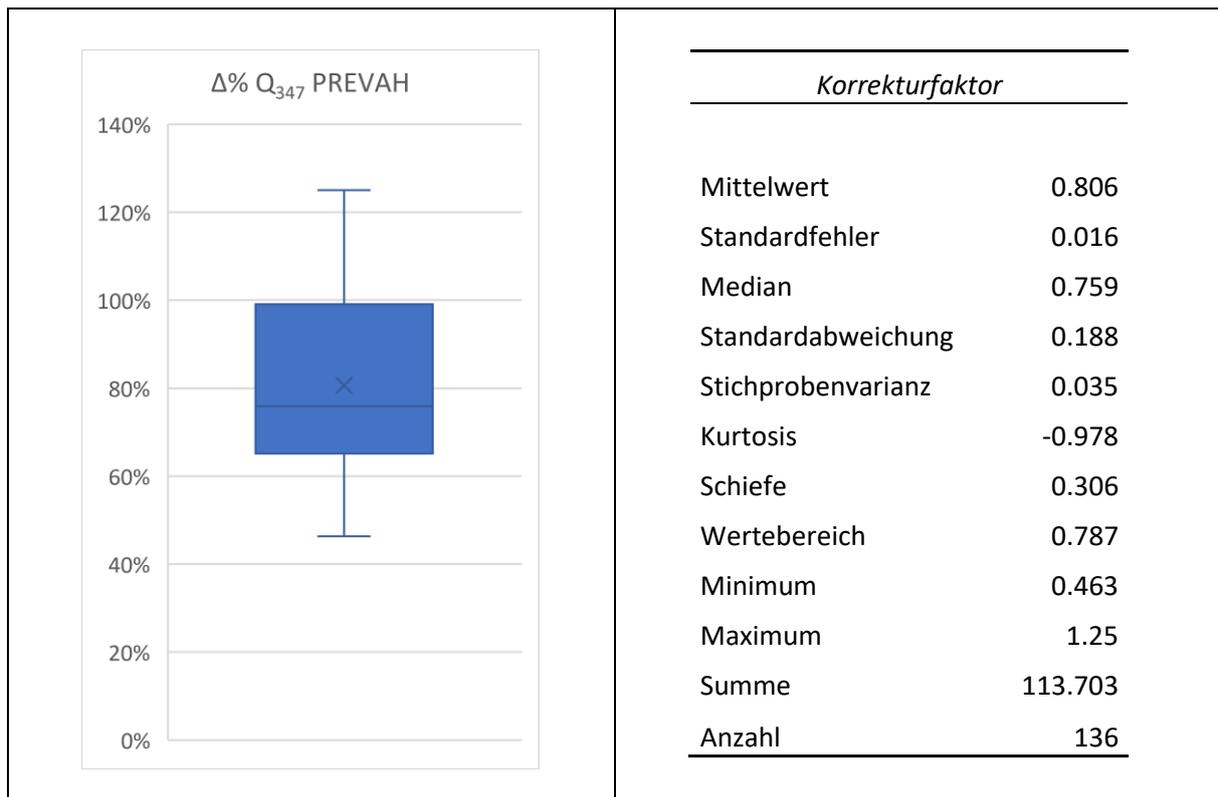


Abbildung 14: Prozentuale Änderung 2007 – 2022 im Vergleich zur Periode 1990 – 2006 für alle 136 NAWA-Standorte.

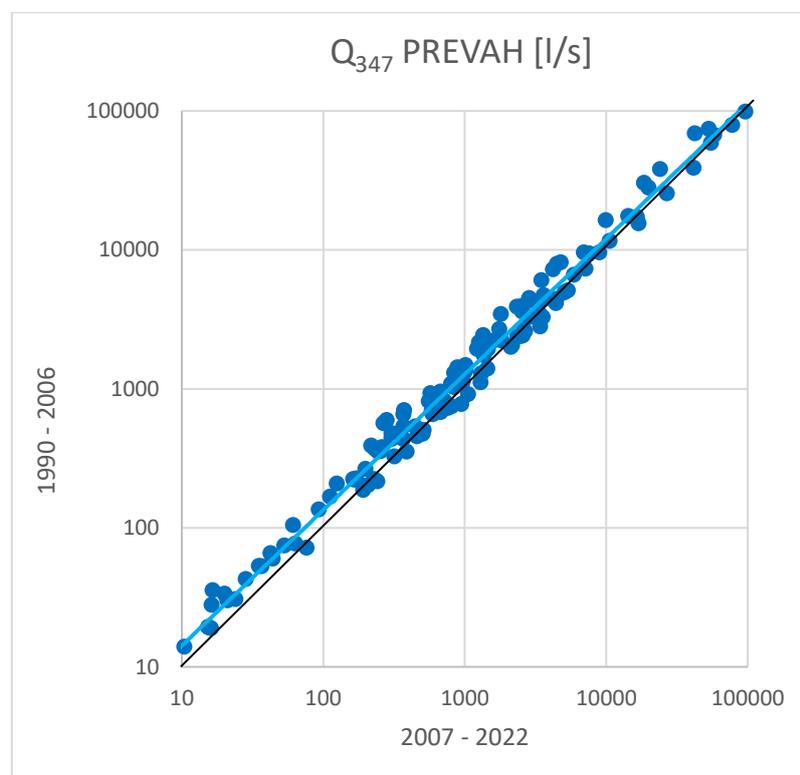


Abbildung 15: Vergleich PREVAH-modellierte Q_{347} -Abflusswerte zwischen 1990 – 2006 und 2007 – 2022 für alle 136 NAWA-Standorte (schwarze Linie 1:1).

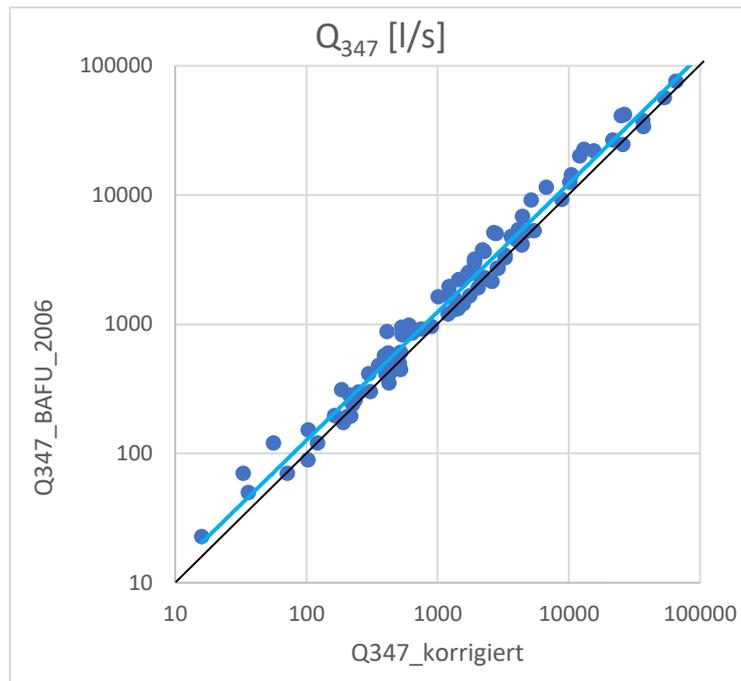


Abbildung 16: BAFU-Werte Q_{347} von 2006 im Vergleich mit den PREVAH-korrigierten Werten an den 136 NAWA-Standorten (schwarze Linie 1:1).

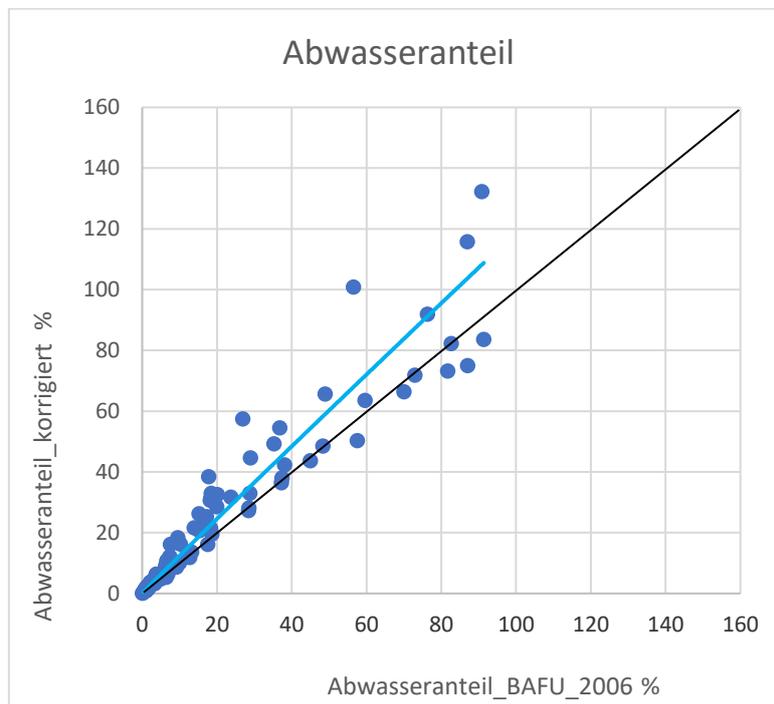


Abbildung 17: Neuberechneter Abwasseranteil im Vergleich zu den ursprünglichen Werten mit veralteten Q_{347} -Werten (schwarze Linie 1:1).

5.1.4 Bauwerke

Ein Grossteil von 89 % der NAWA-Standorte ($n = 121$) ist nicht durch Bauwerke, künstliche Abstürze oder Staustrecken beeinflusst. Hingegen haben rund 6 % der NAWA-Standorte ($n = 8$) eine starke Beeinflussung in dieser Bewertungskategorie mit einem Indexwert von 1 (Abbildung 18). Davon liegen fünf NAWA-Stationen (4 %) an einer Staustrecke mit Einfluss auf die hydraulischen Bedingungen vor Ort und drei NAWA-Stationen (2 %) liegen im definierten Einflussbereich unterstrom eines Bauwerks oder künstlichen Absturzes (vgl. Kapitel 4.3.4).

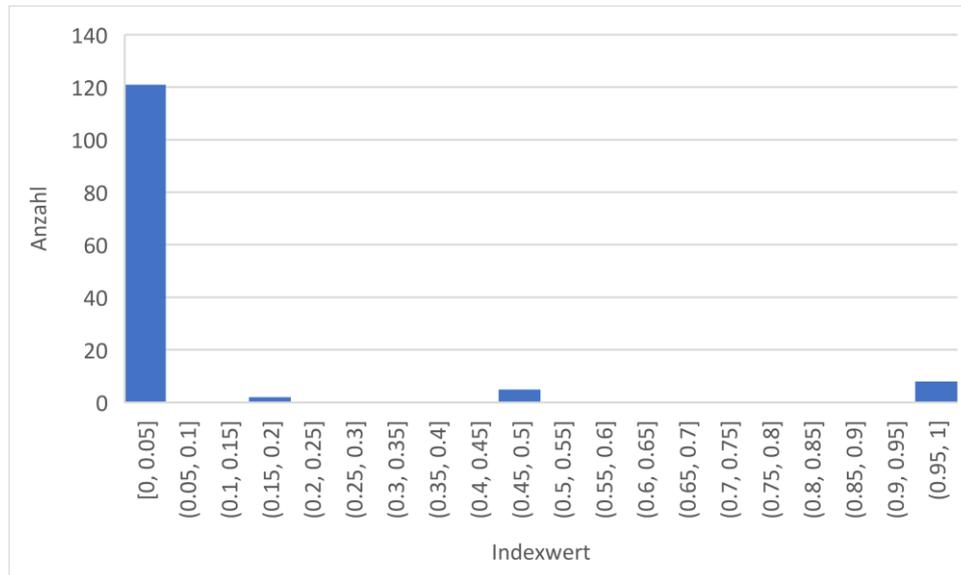


Abbildung 18: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Bauwerke für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.5 Landwirtschaft

Rund 43 % der NAWA-Standorte ($n = 59$) sind nicht durch Landwirtschaft beeinflusst (< 1 % kumulierter jährlicher Wasserbedarf im Vergleich zum Q_{year}). Hingegen haben knapp 7 % der NAWA-Standorte ($n = 9$) eine starke Beeinflussung durch Landwirtschaft mit einem Indexwert von 1 bzw. ≥ 5 % kumulierter jährlicher Wasserbedarf im Vergleich zum Q_{year} (Abbildung 19). Der jährliche kumulierte Wasserbedarf durch die beiden landwirtschaftlichen Unterkategorien Grossvieh und Bewässerung beträgt im Verhältnis zum Q_{year} im Mittel rund 2 % (Abbildung 20).

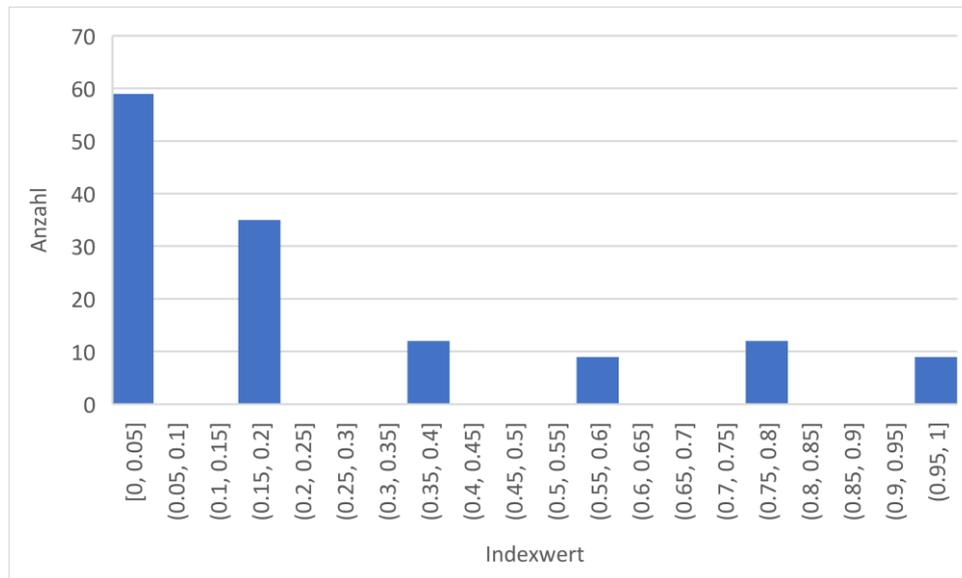


Abbildung 19: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Landwirtschaft für die 136 NAWA-Standorte.

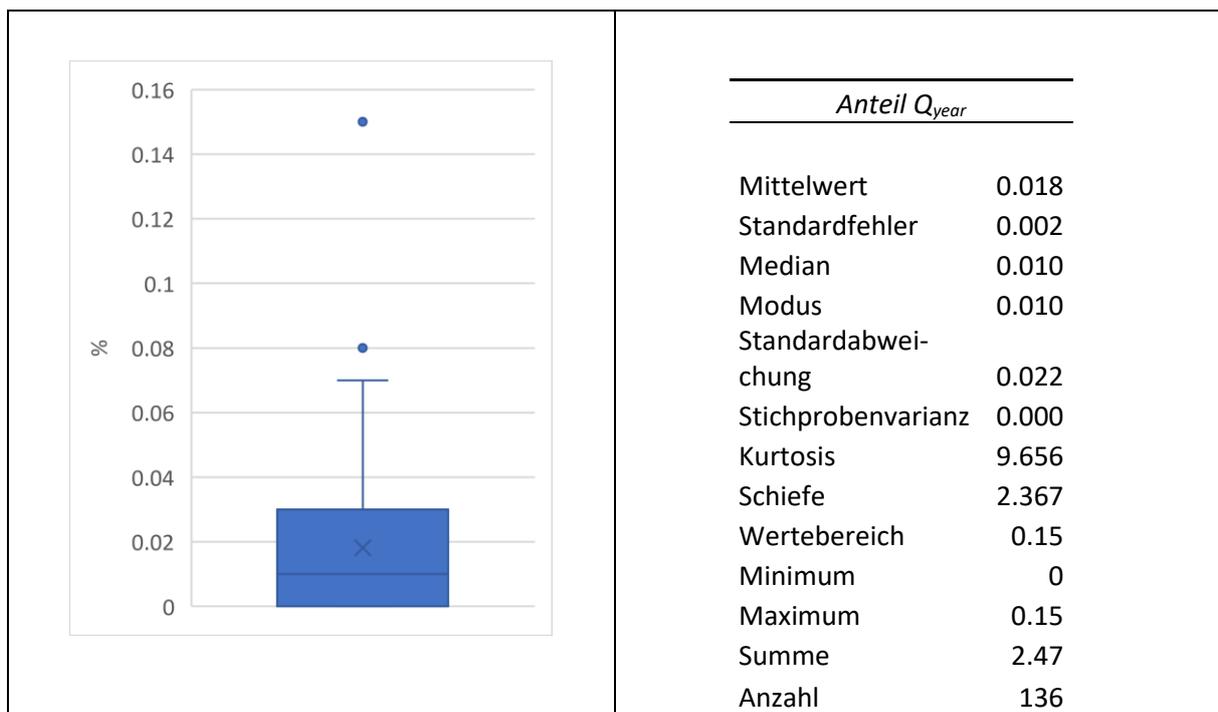


Abbildung 20: Verteilung des jährlichen kumulierten Anteils des Wasserverbrauchs für Landwirtschaft an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.6 Trink- / Brauchwasser

Rund 29 % der NAWA-Standorte ($n = 40$) sind nicht durch Trink-/Brauchwasser beeinflusst (< 1 % kumulierter jährlicher Wasserbedarf im Vergleich zum Q_{year}). Hingegen haben 5 % der NAWA-Standorte ($n = 7$) eine starke Beeinflussung durch Trink-/Brauchwasser mit einem Indexwert von 1 bzw. ≥ 20 % kumulierter jährlicher Wasserbedarf im Vergleich zum Q_{year} (Abbildung 21). Der jährliche kumulierte Wasserbedarf der Unterkategorien Haushalte, Tourismus, Industriesektor, Dienstleistungssektor und Schneeproduktion beträgt im Verhältnis zum Q_{year} im Mittel rund 4.5 % (Abbildung 22).

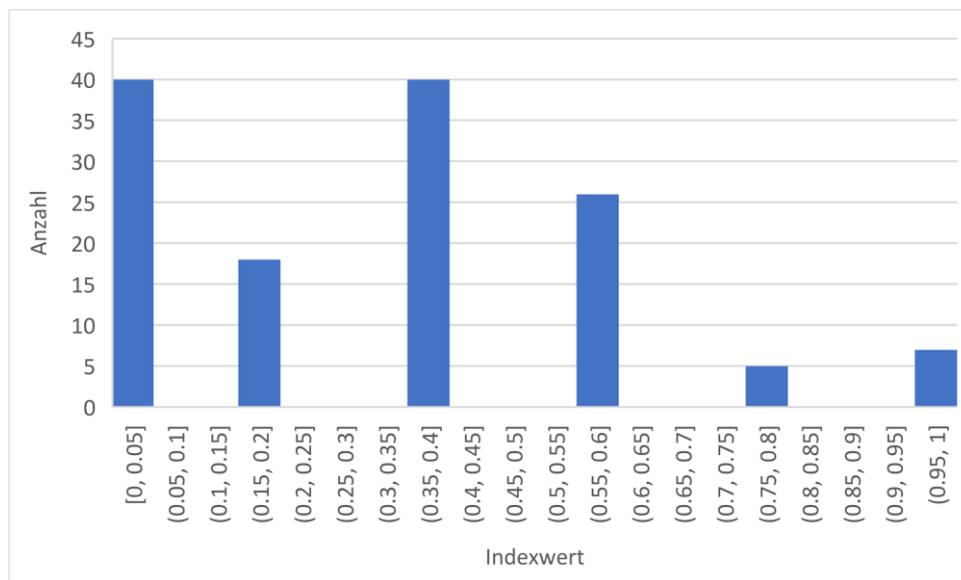


Abbildung 21: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Trink- / Brauchwasser für die 136 NAWA-Standorte.

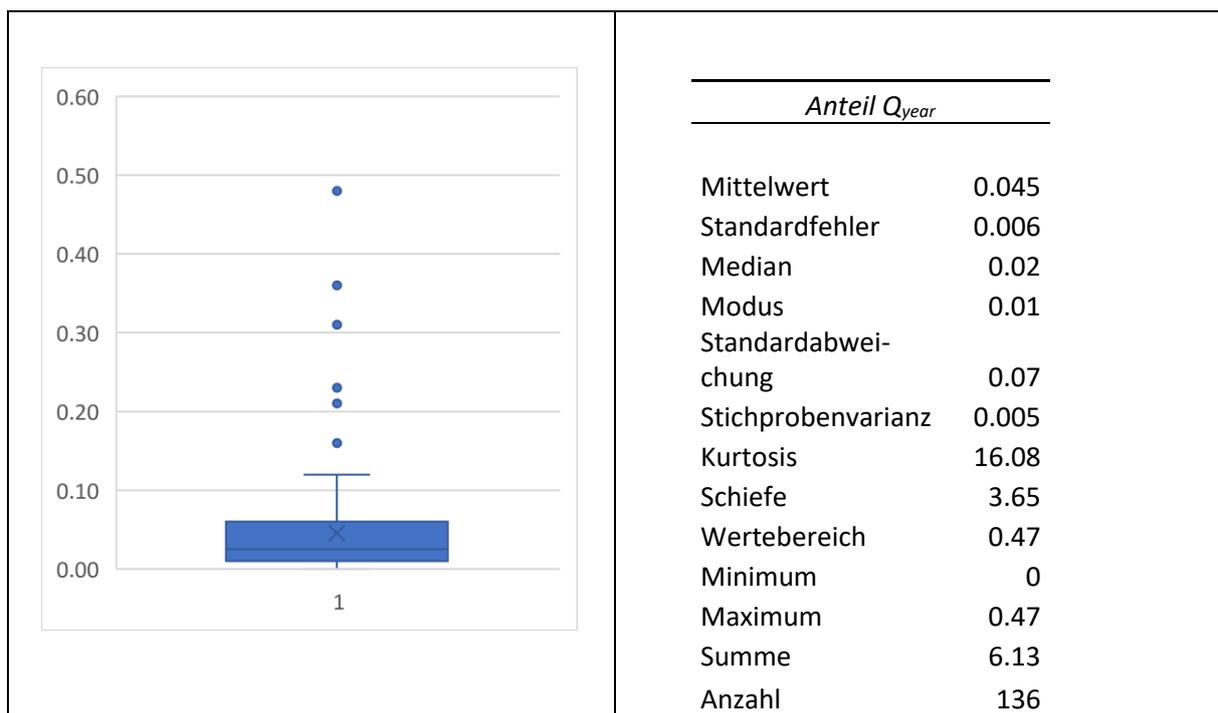


Abbildung 22: Verteilung des jährlichen kumulierten Trink- / Brauchwasseranteils an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.7 Grundwasser

Rund 9 % der NAWA-Standorte ($n = 12$) sind nicht durch Grundwassernutzung beeinflusst. Hingegen haben gut 5 % der NAWA-Standorte ($n = 7$) eine starke Beeinflussung durch Grundwassernutzung mit einem Indexwert von 1 (Abbildung 23). Bei diesen sieben Stationen ist die Distanz zur nächsten Quell- oder Grundwasserfassung ≤ 100 m. Bei 15 NAWA-Einzugsgebieten (11 %) ist die Dichte mit ≥ 100 Quell- und Grundwasserfassungen pro 100 km² hoch, während bei 57 NAWA-Einzugsgebieten (42 %) die Dichte mit < 10 Quell- und Grundwasserfassungen pro 100 km² eher niedrig ist.

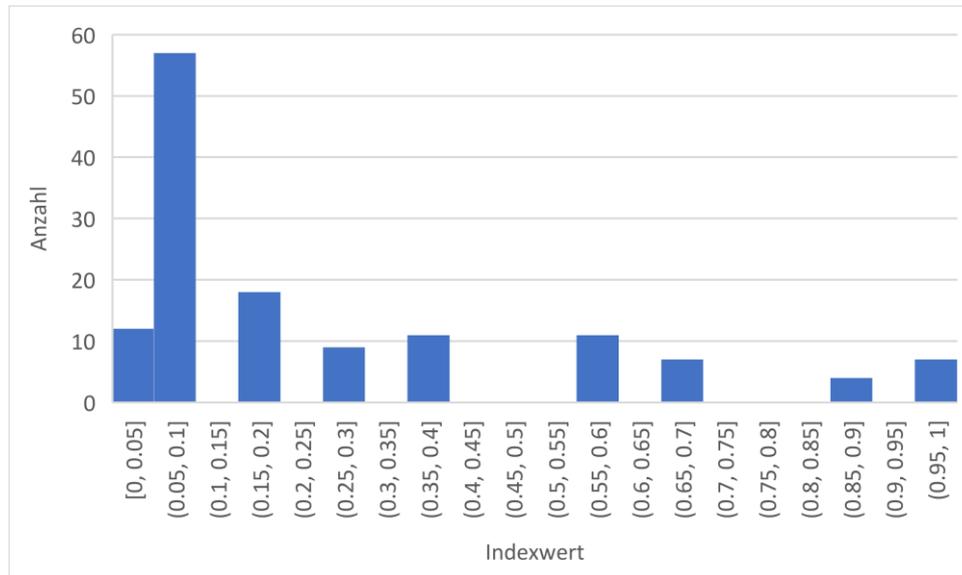


Abbildung 23: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Grundwasser für die 136 NAWA-Standorte.

5.1.8 Kombination der Einflussfaktoren

Der Vergleich der sieben Einflussfaktoren zeigt, dass bei Wasserspeicherung/-regulierung und Wasserkraft am meisten Standorte hohe Indexwerte (0.8 – 1) aufweisen (Abbildung 24). Ebenfalls klar ersichtlich wird, dass der Einflussfaktor Bauwerke die wenigsten Standorte beeinflusst. Der Einflussfaktor, der die meisten Standorte beeinflusst, ist Trink-/Brauchwasser.

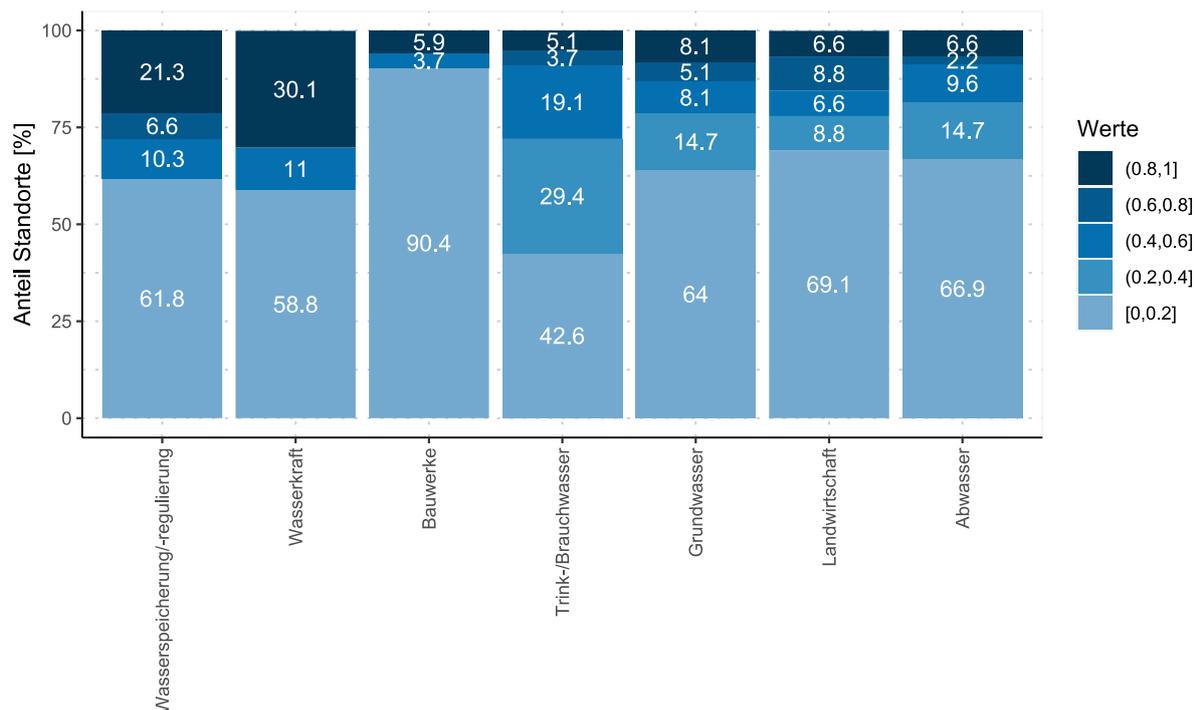


Abbildung 24: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für alle sieben Einflussfaktoren für die 136 NAWA-Standorte.

5.2 Hydrologische Beeinträchtigung (Ampel) an NAWA-Standorten

Für 136 NAWA TREND Standorte wurde die hydrologische Beeinträchtigung anhand von jeweils fünf Kenngrößen beurteilt (Tabelle 13, Abbildung 25). Insgesamt ergibt dies 680 Einzelbewertungen. Am häufigsten ergab sich so eine «mittlere» Beeinträchtigung ($n = 244$), gefolgt von «keine» ($n = 226$), «gering» ($n = 138$) und «stark» ($n = 72$).

Tabelle 13: Verteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrößen für alle 136 NAWA-Standorte (vergleiche auch mit Abbildung 25).

Hydrologische Kenngrösse	Beeinträchtigung				Total
	keine	gering	mittel	stark	
Niedrigwasserregime	0	22	85	29	136
Mittelwasserregime	0	50	79	7	136
Hochwasserregime	11	66	52	7	136
Kurzzeiteffekte	94	0	21	21	136
Hydraulik	121	0	7	8	136
Total	226	138	244	72	680

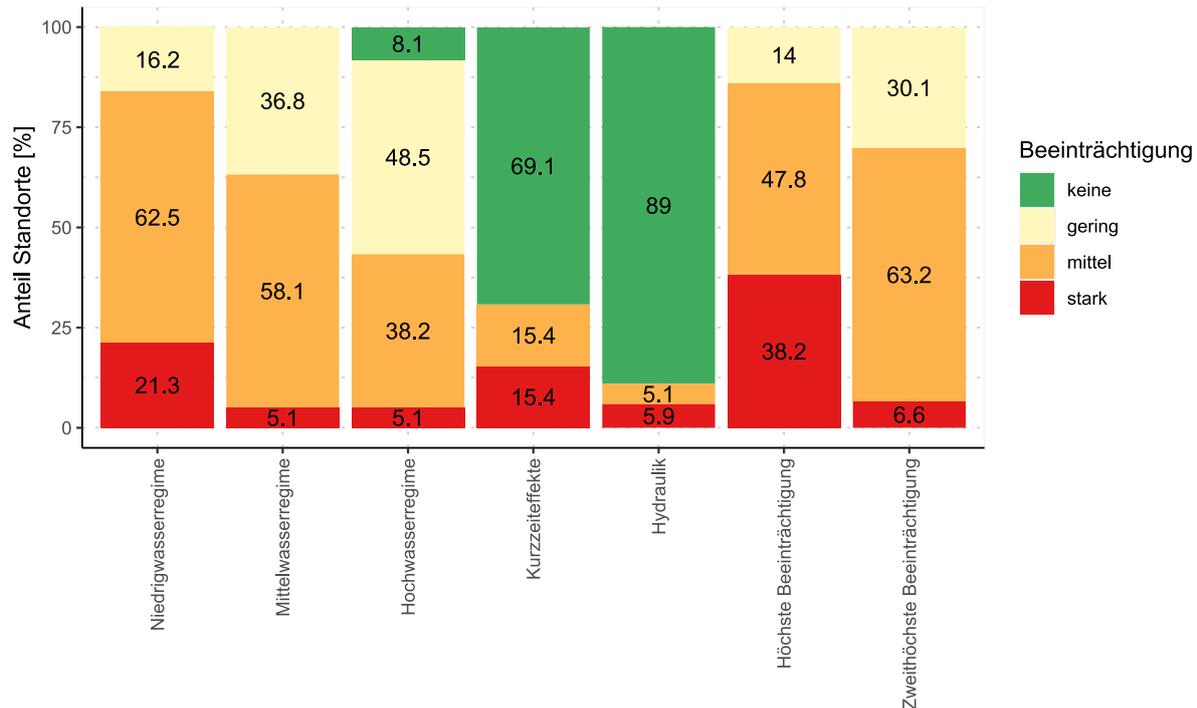


Abbildung 25: Verteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrößen für alle 136 NAWA-Standorte (vergleiche auch mit Tabelle 13) sowie der höchsten und zweithöchsten Beeinträchtigungsstufe einer der fünf hydrologischen Kenngrößen pro Standort.

Beim Niedrigwasserregime ist eine «mittlere» Beeinträchtigung am häufigsten ($n = 85$, 62.5 %), «starke» ($n = 29$, 21.3 %) und «geringe» ($n = 22$, 16.2 %) Beeinträchtigungen haben eine ähnliche Anzahl von NAWA-Standorten. «Keine» Beeinträchtigung ist bei der Bewertung des Niedrigwasserregimes nicht vorhanden.

Beim Mittelwasserregime ist ebenfalls eine «mittlere» Beeinträchtigung am häufigsten ($n = 79$, 58.1 %), gefolgt von «gering» ($n = 50$, 36.8 %) und ein paar wenigen Standorten mit «starker» Beeinflussung ($n = 7$, 5.1 %). «Keine» Beeinträchtigung ist bei der Bewertung des Mittelwasserregimes ebenfalls nicht vorhanden.

Beim Hochwasserregime sind «geringe» ($n = 66$, 48.5 %) und «mittlere» ($n = 52$, 38.2 %) Beeinträchtigungen am häufigsten. «Keine» Beeinträchtigung gibt es an elf Standorten (8.1 %) und sieben NAWA-Stationen (5.1 %) haben eine «starke» Beeinträchtigung des Hochwasserregimes.

Kurzzeiteffekte (Schwall-Sunk-Phänomene) sind bei den meisten NAWA-Standorten nicht vorhanden («keine»; $n = 94$, 69.1 %). Gleich häufig sind «mittlere» und «starke» Beeinträchtigung durch Kurzzeiteffekte an jeweils 21 Standorten (15.4 %). «Geringe» Beeinträchtigung ist bei der Bewertung von Kurzzeiteffekten nicht vorhanden.

Eine hydraulische Beeinflussung (Strömungsdynamik und/oder Pegelschwankungen) ist bei 89 % der NAWA-Standorten nicht vorhanden («keine»; $n = 121$). «Mittlere» und «starke» Beeinträchtigung der Hydraulik kommt an sieben (5.1 %), resp. acht Standorten (5.9 %) vor. «Geringe» Beeinträchtigung ist bei der Bewertung der Hydraulik nicht vorhanden.

Pro Station wurde die höchste und zweithöchste Beeinträchtigung der fünf hydrologischen Kenngrößen angeschaut (Abbildung 25 «Höchste Beeinträchtigung», «Zweithöchste Beeinträchtigung»). Die

höchste Beeinträchtigung beschreibt das höchste Level («keine», «gering», «mittel», «stark») am Standort, die zweithöchste Beeinträchtigung das zweithöchste Level. Ist an einem Standort bei mehr als einer Kenngrösse das höchste Level z.B. «stark», so ist auch die zweithöchste Beeinträchtigung «stark». Anbei zwei Beispiele zur Veranschaulichung:

- Niedrigwasserregime: «stark», Mittelwasserregime: «mittel», Hochwasserregime: «mittel», Kurzeffekte: «gering», Hydraulik: «mittel»
 - Höchste Beeinträchtigung: «stark»
 - Zweithöchste Beeinträchtigung: «mittel»
- Niedrigwasserregime: «stark», Mittelwasserregime: «mittel», Hochwasserregime: «mittel», Kurzeffekte: «gering», Hydraulik: «stark»
 - Höchste Beeinträchtigung: «stark»
 - Zweithöchste Beeinträchtigung: «stark»

Bei 47.8 % der Standorte war die höchste Beeinträchtigung «mittel», bei 38.2 % «stark» und bei 14 % «gering». «Keine» Beeinträchtigung ist nicht vorhanden. Das bedeutet, dass an jedem Standort mindestens eine der fünf hydrologischen Kenngrössen mindestens «gering» ist (siehe Niedrigwasserregime und Hochwasserregime).

Bei 63.2 % der Standorte war die zweithöchste Beeinträchtigung ebenfalls «mittel». Bei 30.1 % der Standorte war sie «gering», gefolgt von «stark» (6.6 %). «Keine» Beeinträchtigung ist nicht vorhanden.

5.3 Einzugsgebietscluster

Aus den Netzdiagrammen der 136 NAWA-Standorte wurden mithilfe eines weiteren R-Skripts acht Cluster definiert, in denen die dazugehörigen Stationen jeweils ein ähnliches Beeinflussungsmuster zeigen (Kapitel 4.7). Diese werden im Folgenden erläutert. Die Clusterzuteilung ist in Tabelle 14 detailliert aufgeschlüsselt.

Cluster 1: Beeinflussung durch Grundwassernutzung

Cluster 1 beinhaltet 20 NAWA-Einzugsgebiete, welche von Grundwassernutzung geprägt sind. Teilweise sind diese Einzugsgebiete zusätzlich hydrologisch beeinflusst durch landwirtschaftliche Nutzung sowie Trink-/Brauchwasser. Die Einzugsgebiete sind klein bis mittelgross und liegen hauptsächlich im Schweizer Mittelland und in den Voralpen (Abbildung 26).

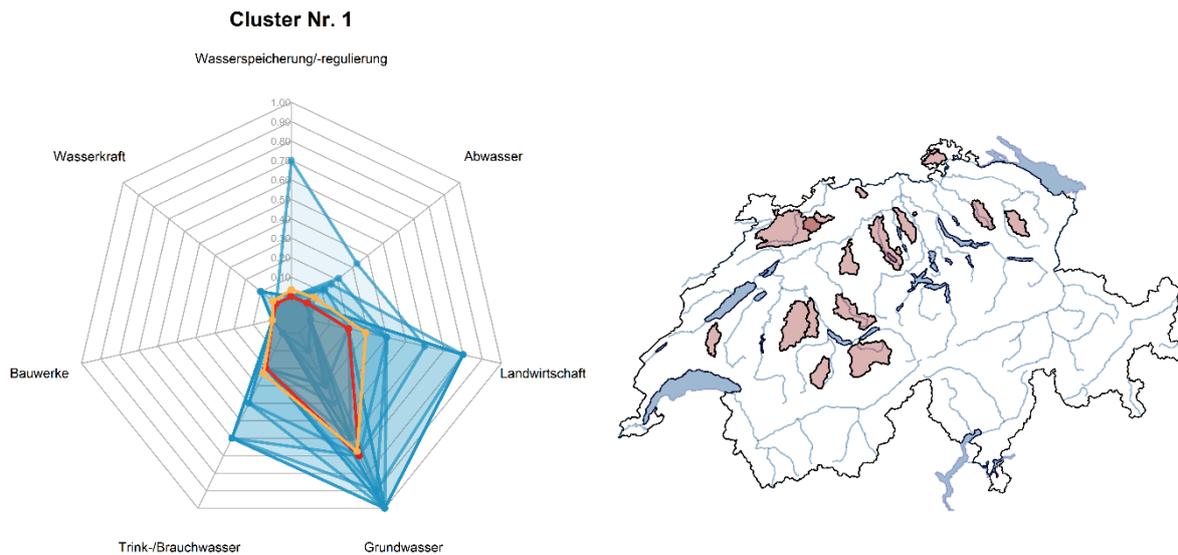


Abbildung 26: Cluster 1 mit hohem Einfluss durch Grundwassernutzung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 2: Mittel bis starke Beeinflussung durch mehrere Faktoren

Cluster 2 besteht aus 15 NAWA-Einzugsgebieten, welche durch mehrere Einflussfaktoren mittel bis stark hydrologisch beeinflusst sind. Der Haupteinfluss besteht aus Wasserkraft und/oder Wasserspeicherung/-regulierung. Zum Teil sind auch Einflüsse aus Trink-/Brauchwasser sowie Abwasser sichtbar. Die Einzugsgebiete sind mittel bis gross und liegen hauptsächlich im östlichen Landesteil (Abbildung 27).

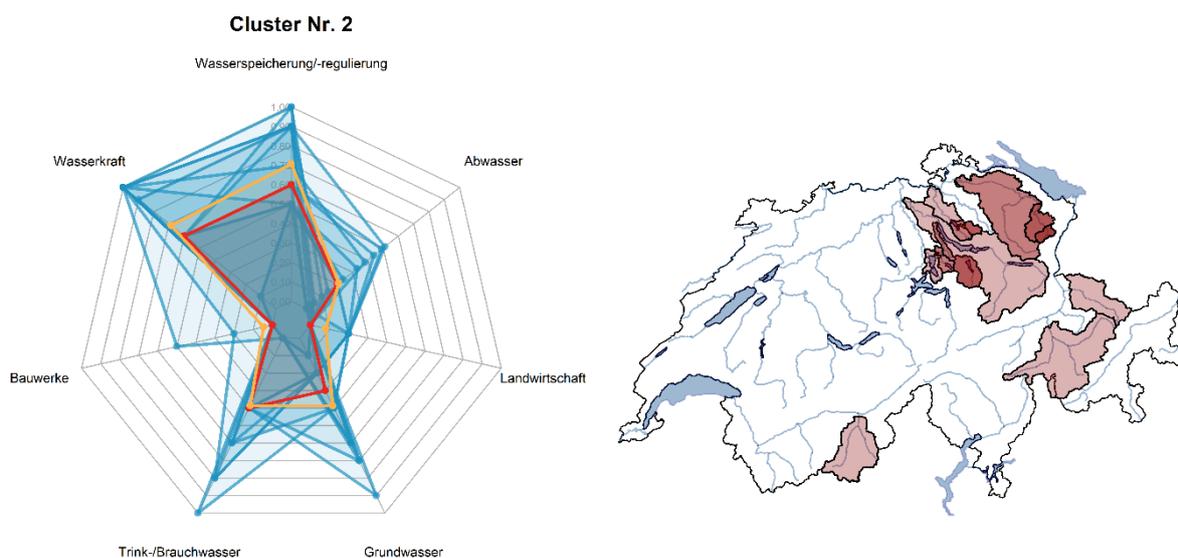


Abbildung 27: Cluster 2 mit mittlerer bis hoher hydrologischer Beeinflussung durch mehrere Faktoren. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 3: Moderater Einfluss ohne Wasserspeicherung/-regulierung

Cluster 3 besteht aus zehn NAWA-Einzugsgebieten, welche durch mehrere Einflussfaktoren gering bis mittel hydrologisch beeinflusst sind. Zu beachten ist, dass hier keine Beeinflussung durch Wasserspeicherung/-regulierung vorkommt. Die Einzugsgebiete sind im Allgemeinen eher gross und erstrecken sich vom Jura, über das Mittelland bis hin zu den Voralpen (Abbildung 28).

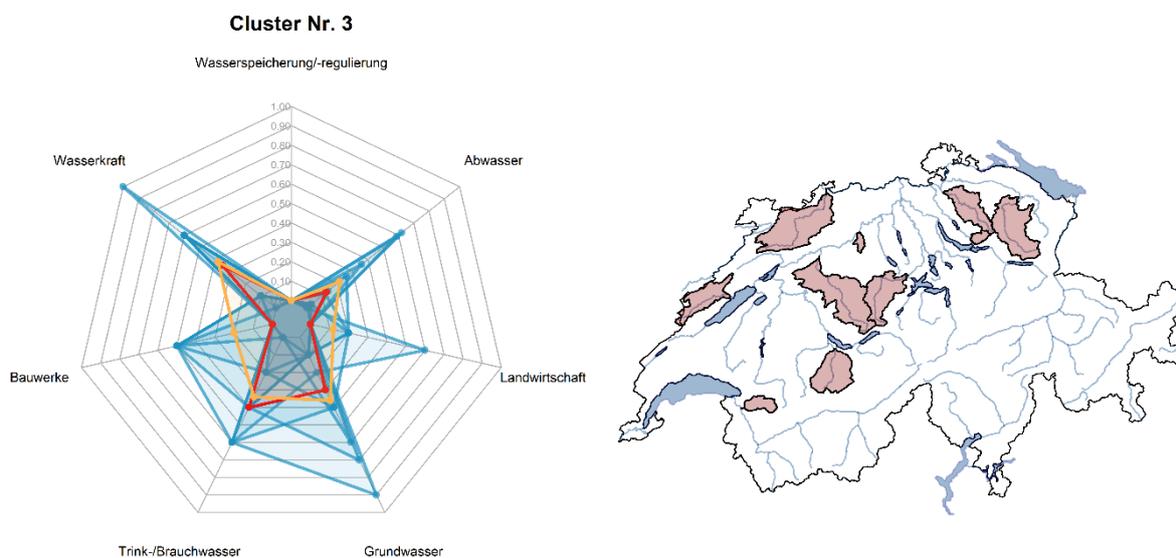


Abbildung 28: Cluster 3 mit mehreren moderat ausgeprägten Einflussfaktoren, jedoch ohne Wasserspeicherung/-regulierung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 4: Starker Einfluss durch Abwasser

Cluster 4 besteht aus 15 Einzugsgebieten, welche am NAWA-Standort stark durch Abwassereinleitungen geprägt sind. Häufig sind zusätzlich auch moderate Einflüsse durch Trink-/Brauchwasser oder Grundwasser vorhanden. Die Einzugsgebiete sind eher klein bis mittelgross, befinden sich mehrheitlich in der Nordschweiz und enthalten keine Speicherseen oder regulierte Seen (Abbildung 29).

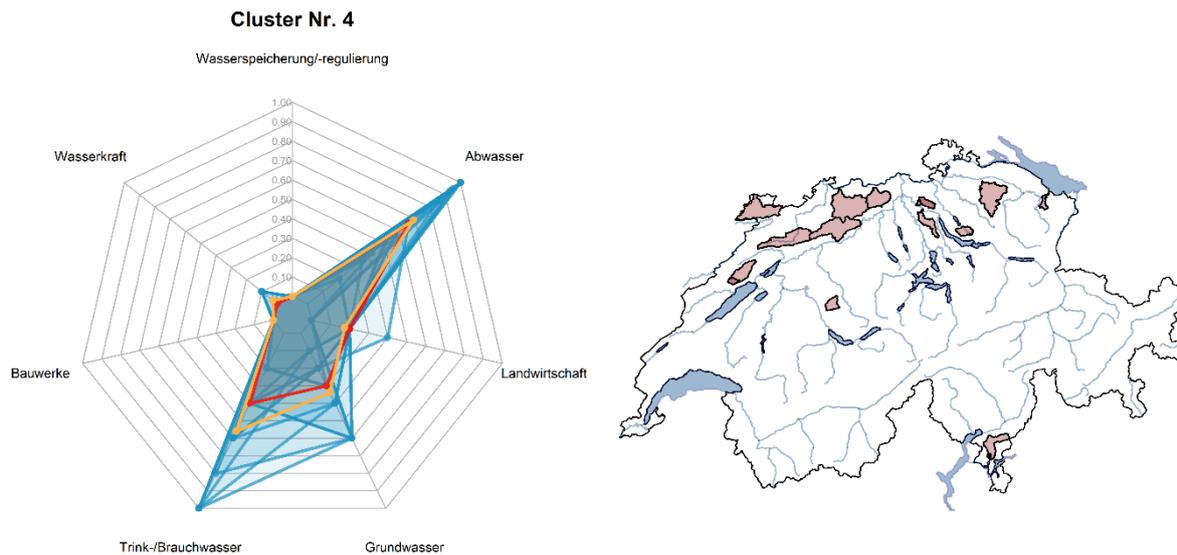


Abbildung 29: Cluster 4 mit dominantem Einfluss durch Abwasser. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 5: Starker Einfluss durch Bauwerke

Cluster 5 besteht aus acht Einzugsgebieten, welche am NAWA-Standort stark durch Bauwerke, künstliche Abstürze oder Staustrecken hydraulisch beeinflusst sind. Des Weiteren sind meist auch signifikante Einflüsse durch Wasserkraft und/oder Wasserspeicherung/-regulierung vorhanden. Die Einzugsgebiete sind im Allgemeinen gross bis sehr gross und decken die meisten der grossen Seen des Mittelandes ab (Abbildung 30).

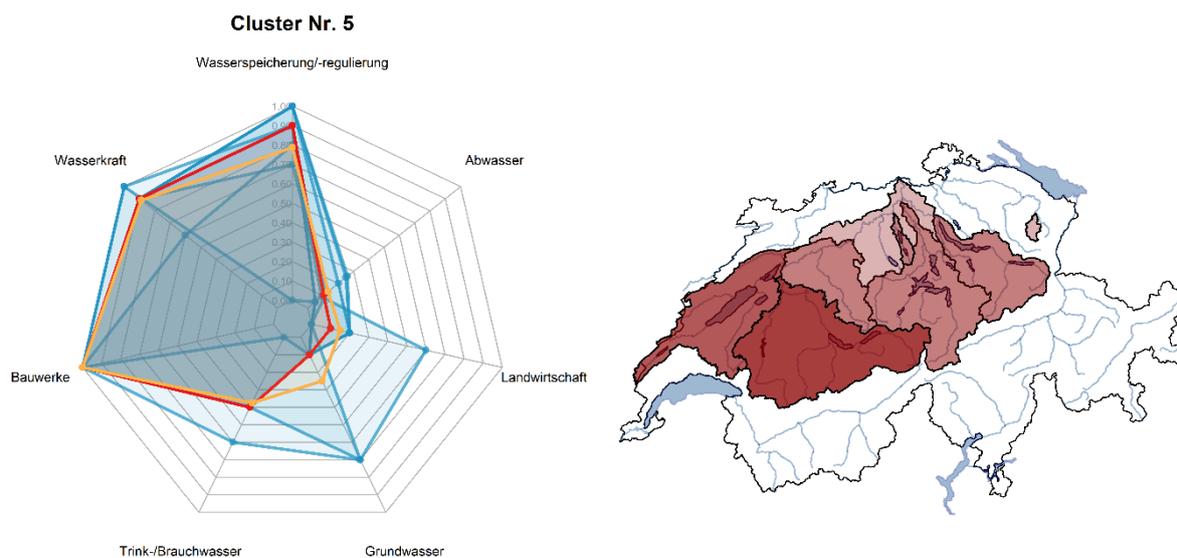


Abbildung 30: Cluster 5 mit starkem Einfluss durch Bauwerke. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 6: Starker Einfluss durch Wasserkraft und Wasserspeicherung/-regulierung

Cluster 6 besteht aus 29 Einzugsgebieten, welche stark durch Wasserkraftnutzung und Wasserspeicherung/-regulierung dominiert sind. Andere Einflussfaktoren sind nur marginal vorhanden. Die Einzugsgebiete sind gross bis sehr gross und decken zusammen beinahe die gesamte Fläche der Schweiz ab. Ein Grossteil der Einzugsgebiete liegt insbesondere im alpinen Raum, wo viele der Stauseen für die Wasserkraftnutzung liegen (Abbildung 31).

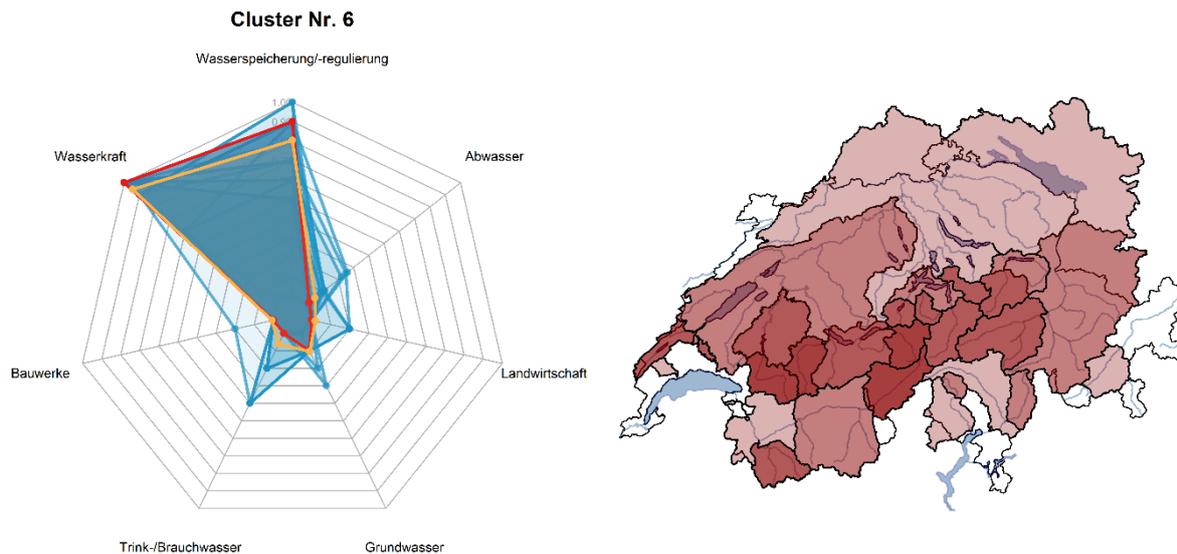


Abbildung 31: Cluster 6 mit dominantem Einfluss durch Wasserkraft und Wasserspeicherung/-regulierung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 7: Starker Einfluss durch Trink-/Brauchwasser

Cluster 7 beinhaltet 19 NAWA-Einzugsgebiete, welche hauptsächlich durch die intensive Nutzung von Trink-/Brauchwasser beeinflusst sind. Parallel ist in diesem Cluster auch ein moderater Einfluss durch landwirtschaftliche Nutzung ersichtlich. Die Einzugsgebiete sind eher klein bis mittelgross und die Mehrheit davon liegt in der Westschweiz (Abbildung 32).

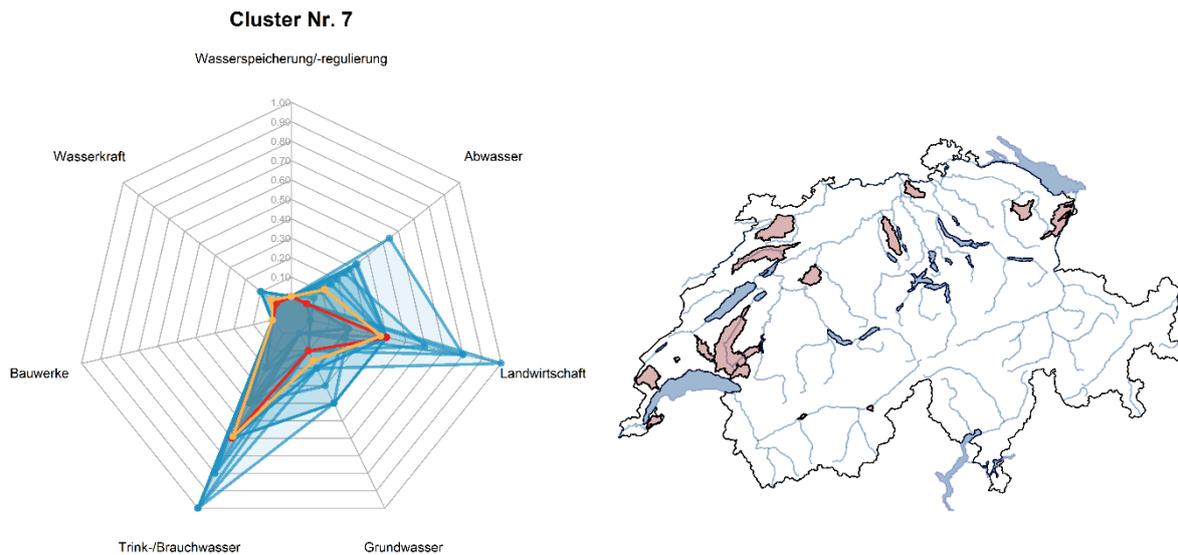


Abbildung 32: Cluster 7 mit dominantem Einfluss durch Trink-/Brauchwasser. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

Cluster 8: Starker Einfluss durch Landwirtschaft

Cluster 8 beinhaltet 20 NAWA-Einzugsgebiete, welche hauptsächlich durch die intensive landwirtschaftliche Wassernutzung hydrologisch beeinflusst sind. Ein moderater Einfluss durch Trink-/Brauchwasser sowie Abwasser ist teilweise auch vorhanden. Die Einzugsgebiete sind eher klein bis mittelgross und erstrecken sich gleichmässig über das Schweizer Mittelland vom Genfersee bis zum Bodensee (Abbildung 33).

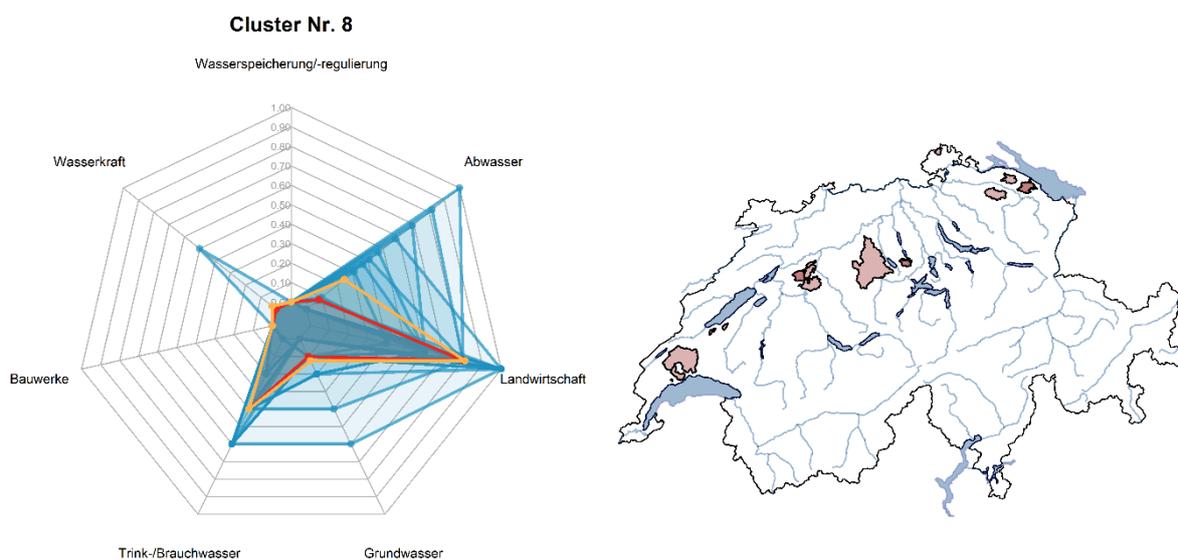


Abbildung 33: Cluster 8 mit stark landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.

6 Diskussion

6.1 Nicht verwendete Daten

In der Daten-Akquisitionsphase des Projekts wurde eine Vielzahl von weiteren Geodaten gesammelt, welche schlussendlich nicht als verwendete Grundlagen (Kapitel 3) gebraucht werden konnten. Oft lag es daran, dass die Daten nur in gewissen Kantonen verfügbar waren und so eine schweizweite Anwendung nicht möglich war (z.B. Entnahmen aus Oberflächengewässer für landwirtschaftliche Zwecke). In anderen Fällen fehlten quantitative Angaben über entnommene Wassermengen oder deren Verwendungszweck, was die Klassierung und Gewichtung der Parameter verunmöglichte (z.B. Grundwasserentnahmen aus kantonalen Datensätzen, Restwassermengen). Bei anderen Datensätzen war der tatsächliche Einfluss auf den Abfluss am NAWA-Standort schwierig zu definieren (z.B. Oberflächenabfluss). Letztlich gab es bei gewissen Geodaten auch Unsicherheit über den räumlichen Standort der Eingriffe (z.B. Mischwasserentlastungen, Drainagen).

6.2 Anwendungsmöglichkeiten

HydCheck ist ein Tool, das für ein beliebiges Einzugsgebiet in der Schweiz mit einem automatisierten Verfahren die anthropogene Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen beurteilt und visualisiert. Für die Eigenanwendung werden gute R- und GIS-Kenntnisse vorausgesetzt. Es wurde mit schweizweit einheitlichen Geodaten als Inputparameter gearbeitet, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Standorten zu gewährleisten. Entsprechend ist HydCheck ein Werkzeug auf relativ hoher Flughöhe, welches erlaubt, rasch einen Überblick über die möglich hydrologische Beeinflussung am Standort zu bekommen (Screening). Durch das automatisierte Verfahren lässt sich das Tool auf beliebige Standorte und deren Einzugsgebiete in der Schweiz anwenden. Dabei sind jedoch stets die Grenzen und Unsicherheiten der Methodik zu beachten (Kapitel 6.3).

Die Klassierungsergebnisse von HydCheck sind zu verstehen als Indikator für den Natürlichkeitsgrad des Abflussregimes sowie als Hinweis aus hydrologischer Sicht, wo ein ökologisch schlechter Zustand vorhanden sein könnte. Für eine ökologische Beurteilung ist aber eine Gesamtschau mit weiteren Faktoren wie z.B. Morphologie und Wasserqualität nötig. HYDMOD-F bietet diesbezüglich Interpretationshilfen zu den ökologischen Risiken und listet empfohlene Abklärungen auf (Kapitel 6.3 in Pfandler et al., 2011).

Wird anhand der Faktenblätter (Netzdiagramm und Ampel) eine signifikante hydrologische Beeinträchtigung festgestellt, sind für eine genaue Beurteilung weitere Detailuntersuchungen empfohlen, z.B. mit dem eingriffsbezogenen Ansatz HYDMOD-F, wobei zusätzliche Daten- und Informationsquellen hinzuzuziehen sind.

6.3 Grenzen / Unsicherheiten

Für die Interpretation der Resultate von HydCheck sind die Grenzen der Anwendbarkeit und die Unsicherheiten der Methodik zu beachten.

Fehlerhafte oder nicht vollständige Inputdaten mit kantonalen Unterschieden

Insbesondere beim ökomorphologischen Datensatz sind zum Teil nicht alle Bauwerke oder künstliche Abstürze im Gewässerbaukataster dokumentiert oder sie sind fehlerhaft typisiert. Der Genauigkeitsgrad ist kantonal sehr unterschiedlich. Für den Kanton Zug ist die Ökomorphologie Stufe F gar nicht vorhanden, was die Beurteilung der Kategorie «Bauwerke» für die beiden NAWA-Standorte Letzi (BAFU_ID 1264) und Frauental (BAFU_ID 1265) nicht möglich macht.

Aktualität der Inputdaten

Zu beachten ist stets die Aktualität der Inputdaten. In Tabelle 1 (Kapitel 3) ist der Datenstand der verwendeten Daten dokumentiert. Beispielsweise stammen die Restwasserstrecken und Schwall-Sunk-Strecken aus dem Datensatz von Balmer (2013). In den letzten elf Jahren wurden in der Schweiz jedoch diverse Sanierungsprojekte der Wasserkraft durchgeführt und entsprechend gibt es sanierte Streckenabschnitte, wo die Restwasser- und/oder Schwall-Sunk-Problematik behoben wurde. Bei der Interpretation der HydCheck-Resultate muss dies gegebenenfalls überprüft werden. Gleiches gilt für Entnahme- und Rückgabestellen aus Wasserkraftnutzung. Die Datenbasis der darauf basierenden Restwasserkarte stammt noch aus dem Jahr 2004. Beim Abwasseranteil besteht mit den neu modellierten Q_{347} -Schätzwerten (vgl. Kapitel 4.3.3) ein aktueller Datensatz. Für Detailstudien müssten diese Werte aber überprüft werden.

Gutachterliche Klassengrenzen und Gewichtungen

Die Einflussfaktoren wurden gutachterlich klassiert und gewichtet (Kapitel 4.3) und mit den Experten abgesprochen (Kapitel 4.5). Schlussendlich haben diese Klassierungen und Gewichtungen starken Einfluss auf die Endresultate (Netzdiagramm und Ampel). Die gutachterlichen Grenzen und Gewichtungen wurden bewusst so gewählt, dass in jeder Klasse Werte liegen und die Werteverteilung plausibel ist.

Bei Staustrecken, Restwasserstrecken und Schwall-Sunk-Strecken gibt es eine binäre Gewichtung (Indexwerte 0 oder 1), was sich automatisch in einer starken Beeinträchtigung der jeweiligen hydrologischen Kenngrösse manifestiert. Dies ist mit Vorsicht zu interpretieren, da die Restwassermenge unter Umständen ökologisch gesehen ausreichend ist oder Schwall-Sunk-Phänomene aus ökologischer Sicht vernachlässigbar sind. Eine detailliertere Unterscheidung des Beeinflussungsgrades ist somit nicht möglich und müsste mit weiteren Untersuchungen festgestellt werden.

Die Ampelklassierung wurde schliesslich konservativ gestaltet, sodass eine starke Beeinträchtigung nur bei hohen Indexwerten möglich ist.

Diffuser Wasserbedarf

Insbesondere die Bewertungskategorien Landwirtschaft und Trink-/Brauchwasser zeichnen sich durch einen diffusen Wasserverbrauch aus. Erstens ist der Wasserverbrauch schwierig zu quantifizieren und beruht auf statistischen Schätzwerten. Der Bewässerungsbedarf ist z.B. je nach Kulturfäche sehr unterschiedlich. In HydCheck wurde mit einem schweizweit gemittelten Wert gearbeitet. Zweitens ist es sehr schwierig festzustellen, aus welcher Wasserressource der Wasserbedarf gedeckt wird, bzw. ob es sich um Quellwasser, Grundwasser, Flussentnahmen oder Seewasser handelt. Je nachdem kann die Wasserressource auch aus einem anderen Einzugsgebiet kommen, was die Bilanzrechnung schwierig macht. Tendenziell wird die Wassernutzung für Landwirtschaft und Trink-/Brauchwasser somit eher überschätzt. Schliesslich ist auch der Vergleich mit der PREVAH-modellierten jährlichen Wasserfracht nur ein Indikator für den Vergleich von Wasserbedarf und -nachfrage im Einzugsgebiet, da modellierte Abflüsse grosse Unsicherheiten beinhalten.

Räumliche Limitationen

In den Beurteilungskategorien Abwasser, Bauwerke und Grundwasser spielt die Distanz der Eingriffstypen zum NAWA-Standort eine Rolle in der Bewertung. In *R* wird die Distanz geometrisch als kleinste Distanz zwischen zwei Punkten definiert. Entsprechend konnte nicht die Distanz entlang des Fließgewässernetzes implementiert werden, womit es tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Fließwege kommt.

Gewisse NAWA-Messstellen liegen direkt unterhalb eines Seeauslasses. Die dadurch entstehende Pufferwirkung mit Hinblick auf das Abflussregime ist in HydCheck methodisch nicht berücksichtigt. Auch dies ist bei der Interpretation der Resultate zu beachten.

7 Schlussfolgerungen

HydCheck ist als Screening-Tool zu verstehen. Die Resultate dienen als Indikator für die mögliche Beeinflussung des Abflusses am Untersuchungsstandort. Für eine genaue Beurteilung sind weiterführende Detailuntersuchungen notwendig. HydCheck verwendet möglichst aktuelle (Stand 2024) und schweizweit verfügbare (Geo-)Daten. Für eine standortspezifische Interpretation ist die Aktualität der verwendeten Grundlagen zu berücksichtigen. Kapitel 3 des Detailberichts gibt Auskunft über den Datenstand.

Weiter ist eine korrekte räumliche Abgrenzung der Input-Daten wichtig. Als Preprocessing sollte manuell geprüft werden, ob sich z.B. die Stationskoordinaten knapp innerhalb der Einzugsgebiete befinden. Gegebenenfalls sind manuelle Anpassungen der Einzugsgebietsgrenze nötig. Andernfalls kommt es zu Fehlberechnungen. Zu beachten ist ausserdem, dass nur Einzugsgebiete berücksichtigt werden, die mehr als 70 % ihrer Fläche in der Schweiz haben.

Die Faktenblätter von HydCheck geben Hinweise, wo aus hydrologischer Sicht ein ökologisches Defizit vorhanden sein könnte. Weiter können die Resultate auch dabei helfen, Standorte im NAWA TREND Basismessnetz zu identifizieren, bei denen die Anwendung des Modul-Stufen-Konzepts überprüft werden sollte. Beispielsweise ist bei lokal grosser hydraulischer Beeinträchtigung durch Bauwerke allenfalls der Probenahmestandort für biologische Indikatoren zu überdenken und gegebenenfalls leicht zu versetzen. Weiter kann das Wissen um einen hohen Abwasseranteil am Standort bei der Interpretation der chemischen Parameter (Nährstoffe) helfen.

In einem nächsten Schritt wird die Methodik von HydCheck auf das hydrometrische Messnetz des BAFU erweitert, um für 180 Stationen an Fliessgewässern eine Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses zu erhalten.

8 Literaturverzeichnis

- BAFU. 2007. Hydrogeologische Karte der Schweiz: Grundwasservorkommen 1:500000 [online] Available from: https://data.geo.admin.ch/ch.swisstopo.geologie-hydrogeologische_karte-grundwasservorkommen/
- BAFU. 2020. GAB-EZGG-CH Gewässerabschnittsbasierte Einzugsgebietgliederung der Schweiz. Produktdokumentation. [online] Available from: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/karten/geodaten/einzugsgebietgliederung-schweiz.html>
- BAFU. 2024. Geodatsatz NAWA Standorte und Einzugsgebiete (unveröffentlicht).
- Balmer M. 2013. Nachhaltigkeitsbezogene Typologisierung der schweizerischen Wasserkraftanlagen . vdf Hochschulverlag AG [online] Available from: <https://www.vdf.ch/info/showDetails.asp?isbnNr=3543>
- Bernhard L, Zappa M. 2012. Schlussbericht CCHydrologie: Teilprojekt WHH- CH-Hydro: Natürlicher Wasserhaushalt der Schweiz und ihrer bedeutendsten Grosseinzugsgebiete. . Birmensdorf
- BFE. 2023. Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz. Veröffentlichter Datensatz. [online] Available from: https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html#tab__content_bfe_de_home_versorgung_erneuerbare-energien_wasserkraft_jcr_content_par_tabs
- BFS. 2021. Arbeitsstätten und Beschäftigte nach Gemeinde und Wirtschaftssektor. STAT-TAB – interaktive Tabellen (BFS). Veröffentlichter Datensatz [online] Available from: https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/de/px-x-0602010000_102/px-x-0602010000_102/px-x-0602010000_102.px
- BFS. 2022a. Nutztiere und landwirtschaftliche Nutzflächen im Jahr 2022. Veröffentlichter Datensatz. [online] Available from: <https://www.bfs.admin.ch/news/de/2023-0407>
- BFS. 2022b. Schweizer Tourismusstatistik 2022. Veröffentlichter Datensatz. [online] Available from: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/tourismus/beherbergung.assetdetail.30405413.html>
- BFS. 2022c. Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP). Veröffentlichter Datensatz. [online] Available from: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/erhebungen/statpop.assetdetail.22406441.html>
- BLW. 2007. Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006 . Bern
- Brunner MI, Björnsen Gurung A, Speerli J, Kytzia S, Bieler S, Schwere D, Stähli M. 2019. Hydro-CH2018 Wasserspeicher: Welchen Beitrag leisten Mehrzweckspeicher zur Verminderung zukünftiger Wasserknappheit? . Birmensdorf
- BUWAL. 1998. Ökomorphologie Stufe F. Mitteilungen zum Gewässerschutz **27** : 51 S.
- Eisenführ F, Weber M, Langer T. 2010. Rational Decision Making . Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg [online] Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-02851-9>
- Freiburghaus M. 2009. Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft - Demande en eau de l' industrie. GWA Zürich **89** : 1001–1009.

- Fuhrer J. 2010. Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft
- Geodienste.ch. 2023. Planerischer Gewässerschutz der Kantone [online] Available from: https://www.geodienste.ch/services/planerischer_gewaesserschutz
- Gurtz J, Baltensweiler A, Lang H. 1999. Spatially distributed hydrotope-based modelling of evapotranspiration and runoff in mountainous basins. *Hydrological Processes* **13** : 2751–2768. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1085(19991215)13:17<2751::AID-HYP897>3.0.CO;2-O
- Helg U. 2023. Abwasseranteil am Q347 in Schweizer Fliessgewässern (unveröffentlicht). : 10 S.
- Iseli G. 2015. Künstliche Beschneidung in der Schweiz – Ausmaß und Auswirkungen . Bern, Schweiz
- Köplin N, Viviroli D, Schädler B, Weingartner R. 2010. How does climate change affect mesoscale catchments in Switzerland? – a framework for a comprehensive assessment. *Advances in Geosciences* **27** : 111–119. DOI: 10.5194/adgeo-27-111-2010 [online] Available from: <https://www.adv-geosci.net/27/111/2010/> (Zugegriffen 29 Mai 2020)
- Kummer M, Baumgartner M, Devanthery D. 2007. Restwasserkarte Schweiz. Wasserentnahmen und -rückgaben. Umwelt-Zustand Nr. 0715 . Bern, Schweiz
- Marty C, Schlögl S, Bavay M, Lehning M. 2017. How much can we save? Impact of different emission scenarios on future snow cover in the Alps. *Cryosphere* **11** : 517–529. DOI: 10.5194/tc-11-517-2017
- Pfaundler M, Dübendorfer C, Zysset A. 2011. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie - Abflussregime, Stufe F (flächendeckend) . Bern [online] Available from: www.umwelt-schweiz.ch/uv-1107-d
- Schattan P, Zappa M, Lischke H, Bernhard L, Thürig E. 2013. An approach for transient consideration of forest change in hydrological impact studies. 311–319 pp.
- Speich MJR, Bernhard L, Teuling AJ, Zappa M. 2015. Application of bivariate mapping for hydrological classification and analysis of temporal change and scale effects in Switzerland. *Journal of Hydrology* **523** : 804–821. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.086
- Viviroli D. 2007. Ein prozessorientiertes Modellsystem zur Ermittlung seltener Hochwasserabflüsse für ungemessene Einzugsgebiete der Schweiz - Phd Thesis, Universität Bern
- Viviroli D, Mittelbach H, Gurtz J, Weingartner R. 2009a. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part II: Parameter regionalisation and flood estimation results. *Journal of Hydrology* **377** : 208–225. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.022 [online] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169409005186> (Zugegriffen 29 Mai 2020)
- Viviroli D, Zappa M, Gurtz J, Weingartner R. 2009b. An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software* **24** : 1209–1222. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.04.001 [online] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815209000875> (Zugegriffen 19 Mai 2020)
- Viviroli D, Zappa M, Schwanbeck J, Gurtz J, Weingartner R. 2009c. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part I: Modelling framework and calibration results. *Journal of Hydrology* **377** : 191–207. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.023 [online] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169409005174> (Zugegriffen 29 Mai 2020)
- VSA. 2023. ARA-Daten mit IST-Situation und verschiedenen Szenarien, in Form einer EXCEL-Tabelle

Ward JH. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association* **58** : 236–244. DOI: 10.1080/01621459.1963.10500845 [online] Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1963.10500845>

Zappa M, Bernhard L, Fundel F, Jörg-Hess S. 2012. Vorhersage und Szenarien von Schnee- und Wasserressourcen im Alpenraum. 19–27 pp.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die sieben Bewertungskategorien mit ihren entsprechenden Einflussfaktoren für die Quantifizierung der Beeinflussung an NAWA-Messstellen.	14
Abbildung 2: Konzeptionelles Schema für die Beurteilung der Beeinflussung des Abflusses an NAWA-Messstellen. Das Netzdiagramm zeigt für sieben Bewertungskategorien den Einflussgrad (von 0 bis 1). Darauf basierend wird für fünf hydrologische Kenngrößen der Beeinträchtigungsgrad mit einer Ampelbewertung bestimmt (siehe Kapitel 4.4).	15
Abbildung 3: Beispiel von Schwall-Sunk Phänomenen bei Niedrigwasser an der hydrologischen Messtelle an der Alp (Einsiedeln), ausgelöst durch die ARA bei Holzrüti, 1.8 km flussaufwärts. Der Abwasseranteil am Q_{347} liegt hier bei 17.5 %.	18
Abbildung 4: Schema für den Einfluss unterstrom bei einer Gerinnebreite von 5 m.	19
Abbildung 5: Bauwerk- und Absturztypen gemäss Ökomorphologie Stufe F (BUWAL, 1998). Die gelb markierten Kategorien wurden für die hydraulische Beeinflussung unterstrom in HydCheck verwendet.	19
Abbildung 6: Infiltrations- und Exfiltrationsstandorte aus der Hydrogeologischen Karte GK500 (blaue Punkte). Überschneiden diese sich mit Grundwasserschutzperimeter S1 (transparente grüne Fläche), werden sie in HydCheck nicht berücksichtigt.	23
Abbildung 7: Abgrenzung des Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereichs in Abhängigkeit von MQ gemäss HYDMOD-F (Pfaundler u. a., 2011). NNQ: kleinster je gemessener Abfluss, HHQ: grösster je gemessener Abfluss, Q ₃₄₇ : Niedrigwasserabfluss, MQ: mittlerer jährlicher Abfluss.	24
Abbildung 8: Beispiel der Ampelbewertung für die NAWA-Messstelle Reppisch – Dietikon (BADU_ID 1020), um Art und Ausmass der hydrologischen Beeinträchtigung zu beurteilen.	25
Abbildung 9: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Wasserspeicherung / -regulierung für die 136 NAWA-Standorte.	31
Abbildung 10: Verteilung des Nutzvolumenanteils aus Stauseen und regulierten Seen an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.	31
Abbildung 11: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Wasserkraft für die 136 NAWA-Standorte.	32
Abbildung 12: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Abwasser für die 136 NAWA-Standorte.	33
Abbildung 13: Verteilung des Abwasseranteils am Niedrigwasserabfluss Q_{347} für die 136 NAWA-Standorte.	33
Abbildung 14: Prozentuale Änderung 2007 – 2022 im Vergleich zur Periode 1990 – 2006 für alle 136 NAWA-Standorte.	34
Abbildung 15: Vergleich PREVAH-modellierte Q_{347} -Abflusswerte zwischen 1990 – 2006 und 2007 – 2022 für alle 136 NAWA-Standorte (schwarze Linie 1:1).	34
Abbildung 16: BAFU-Werte Q_{347} von 2006 im Vergleich mit den PREVAH-korrigierten Werten an den 136 NAWA-Standorten (schwarze Linie 1:1).	35
Abbildung 17: Neuberechneter Abwasseranteil im Vergleich zu den ursprünglichen Werten mit veralteten Q_{347} -Werten (schwarze Linie 1:1).	35
Abbildung 18: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Bauwerke für die 136 NAWA-Standorte.	36
Abbildung 19: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Landwirtschaft für die 136 NAWA-Standorte.	37

Abbildung 20: Verteilung des jährlichen kummulierten Anteils des Wasserverbrauchs für Landwirtschaft an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.....	37
Abbildung 21: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Trink- / Brauchwasser für die 136 NAWA-Standorte.....	38
Abbildung 22: Verteilung des jährlichen kummulierten Trink- / Brauchwasseranteils an der jährlichen Wasserfracht für die 136 NAWA-Standorte.....	38
Abbildung 23: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für die Kategorie Grundwasser für die 136 NAWA-Standorte.....	39
Abbildung 24: Verteilung der Indexwerte im Netzdiagramm für alle sieben Einflussfaktoren für die 136 NAWA-Standorte.....	40
Abbildung 25: Verteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrößen für alle 136 NAWA-Standorte (vergleiche auch mit Tabelle 13) sowie der höchsten und zweithöchsten Beeinträchtigungsstufe einer der fünf hydrologischen Kenngrößen pro Standort.....	41
Abbildung 26: Cluster 1 mit hohem Einfluss durch Grundwassernutzung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	43
Abbildung 27: Cluster 2 mit mittlerer bis hoher hydrologischer Beeinflussung durch mehrere Faktoren. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	43
Abbildung 28: Cluster 3 mit mehreren moderat ausgeprägten Einflussfaktoren, jedoch ohne Wasserspeicherung/-regulierung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	44
Abbildung 29: Cluster 4 mit dominantem Einfluss durch Abwasser. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	45
Abbildung 30: Cluster 5 mit starkem Einfluss durch Bauwerke. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	45
Abbildung 31: Cluster 6 mit dominantem Einfluss durch Wasserkraft und Wasserspeicherung/-regulierung. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	46
Abbildung 32: Cluster 7 mit dominantem Einfluss durch Trink-/Brauchwasser. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	47
Abbildung 33: Cluster 8 mit stark landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten. Rote Linie = Median, orange Linie = Mittelwert.....	47
Abbildung 34: Standorte der 143 NAWA TREND Messstationen in der Schweiz.....	60
Abbildung 35: Gewässernetz.....	60
Abbildung 36: Bewässerungsbedürftigkeit.....	61
Abbildung 37: Grossvieh.....	61
Abbildung 38: Sektor 2.....	62
Abbildung 39: Sektor 3.....	62
Abbildung 40: Tourismus.....	63
Abbildung 41: Pistenkolimeter.....	63
Abbildung 42: Wohnbevölkerung.....	64
Abbildung 43: Stauseen und regulierte Seen.....	64
Abbildung 44: Staustrecken.....	65
Abbildung 45: Bauwerke und Abstürze.....	65
Abbildung 46: Abwasseranteil am Q_{347}	66
Abbildung 47: Standorte ARA Einleitungen.....	66
Abbildung 48: Standorte Grundwasser Fassungen und Quellen sowie Schutzzonen S1.....	67
Abbildung 49: Entnahme- und Rückgabestellen von Wasserkraftanlagen.....	67
Abbildung 50: Restwasserstrecken und Schwall-Sunk-Strecken.....	68

Abbildung 51: Jährliche Stromproduktion [GWh/Jahr] aus Wasserkraft..... 68

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der für HydCheck verwendeten (Geo-)Daten.....	10
Tabelle 2: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Wasserspeicherung / -regulierung.....	16
Tabelle 3: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Wasserkraft.....	17
Tabelle 4: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Abwasser.....	18
Tabelle 5: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Bauwerke.....	20
Tabelle 6: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Landwirtschaft.....	21
Tabelle 7: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Trink-/Brauchwasser.....	22
Tabelle 8: Klassierung und Gewichtung der Beurteilungsparameter bzgl. Grundwasser.....	23
Tabelle 9: Bewertungsmatrix für die Beurteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrössen.....	26
Tabelle 10: Bewertungsklassen (Ampel) anhand der summierten X-Werte aus der Bewertungsmatrix.....	27
Tabelle 11: Liste der konsultierten Experten für Feedbacks zu Methodik und Resultaten.....	27
Tabelle 12: In HydCheck nicht berücksichtigte NAWA TREND Stationen aufgrund eines Auslandanteils von mehr als 30 % an der Einzugsgebietsfläche.....	30
Tabelle 13: Verteilung des Beeinträchtigungsgrades der fünf hydrologischen Kenngrössen für alle 136 NAWA-Standorte (vergleiche auch mit Abbildung 25).....	40
Tabelle 14: Cluster-Zuordnung der 136 NAWA-Messstellen gemäss Kapitel 5.3.....	69

11 Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
FLOZ	Flussordnungszahl
GWh	Gigawattstunde
HHQ	Grösster je gemessener Abfluss
HYDMOD-F	Modul Hydrologie - Abflussregime für die Stufe F (flächendeckend)
HYDMOD-FIT	Elektronisches Hilfsmittel für HYDMOD-F
HydCheck	Screening-Tool zur automatisierten Beurteilung der hydrologischen Beeinflussung an Schweizer Fliessgewässern
MAVF	Multi-Attributive Value Function
MQ	Mittlerer jährlicher Abfluss
NAWA	Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität
NNQ	Kleinster je gemessener Abfluss
pc	engl.: per capita (dt.: pro Kopf)
PREVAH	PREecipitation-Runoff-EVApotranspiration HRU Mode
Q_{year}	Mittlere jährliche Wasserfracht
Q_{347}	Abflussmenge, die, gemittelt über 10 Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird
SVGW	Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Anhang

I. Kartographische Darstellung der Inputdaten

● NAWA Standorte

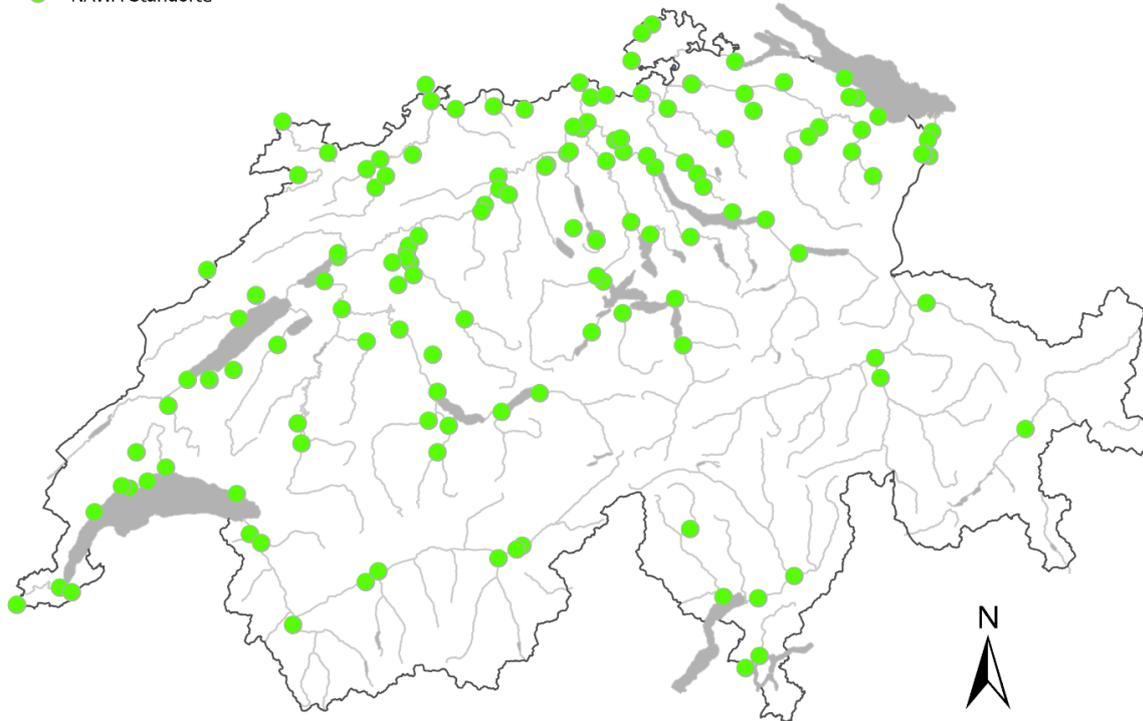


Abbildung 34: Standorte der 143 NAWA TREND Messstationen in der Schweiz.

— Gewässernetz

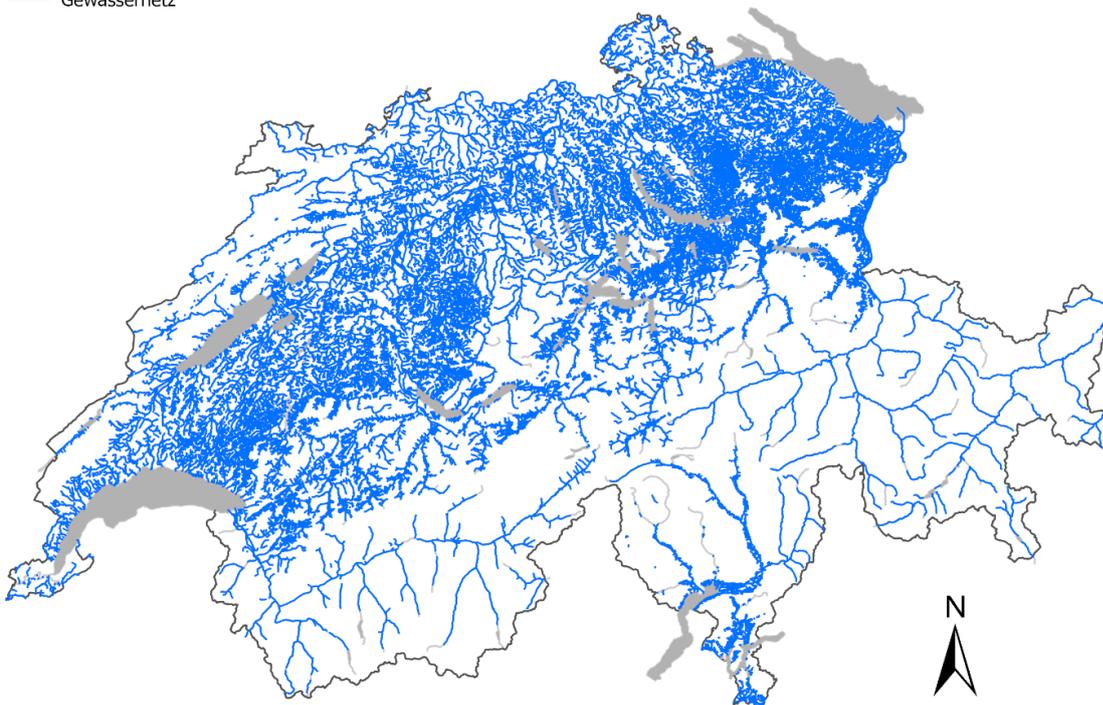


Abbildung 35: Gewässernetz

Bewässerung

377

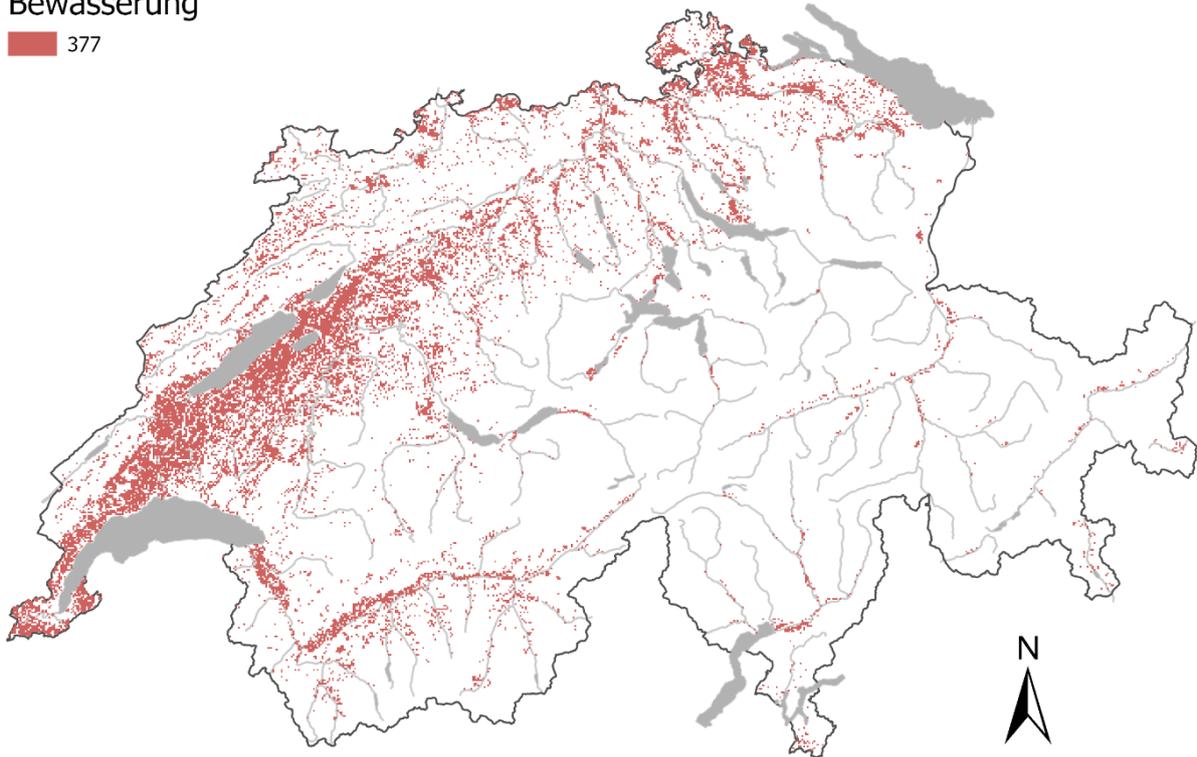


Abbildung 36: Bewässerungsbedürftigkeit

Grossvieh 2022

0 - 87
88 - 469
470 - 2156
2157 - 9597
9598 - 42420

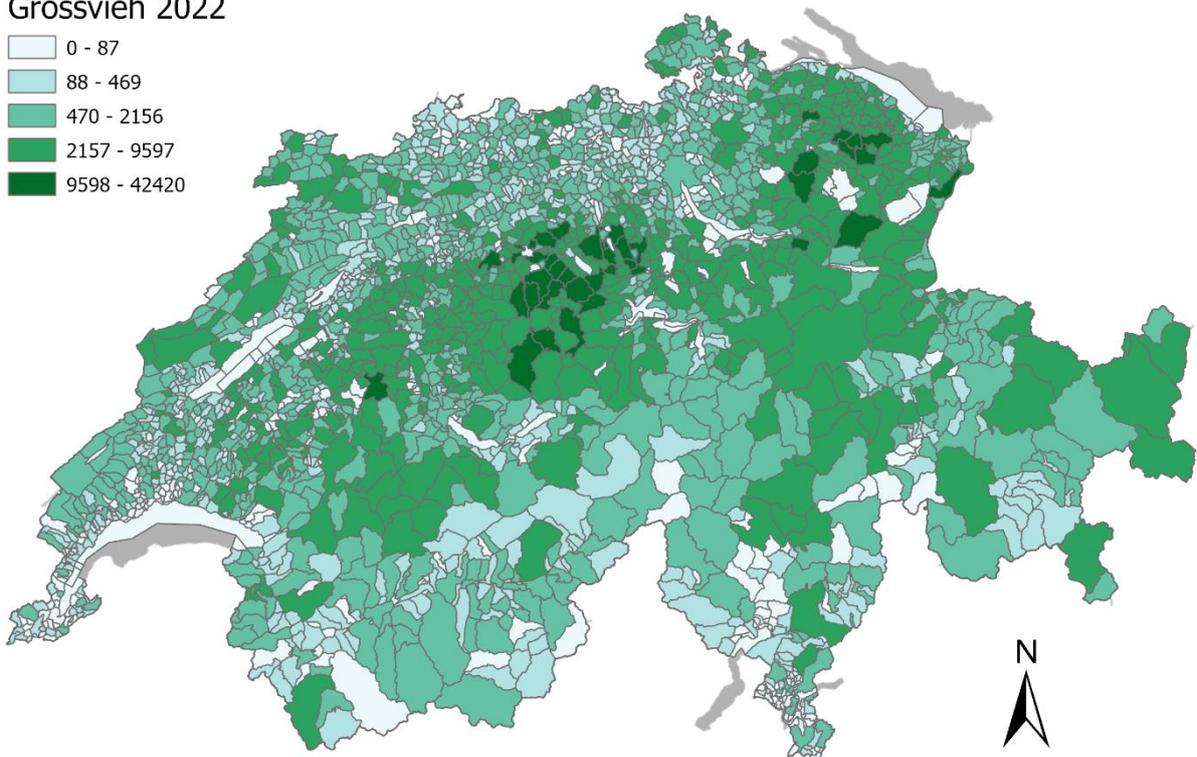


Abbildung 37: Grossvieh

Beschaeftigte 2021

Sektor 2

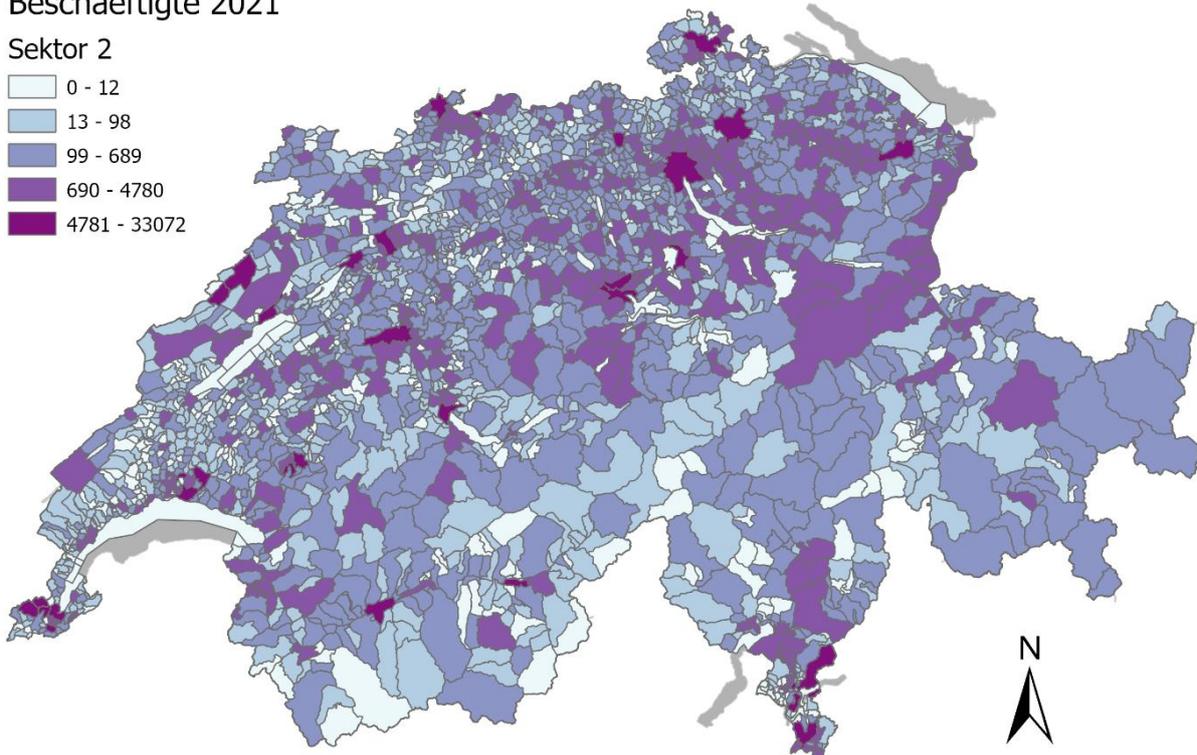
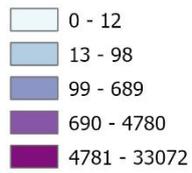


Abbildung 38: Sektor 2

Beschaeftigte 2021

Sektor 3

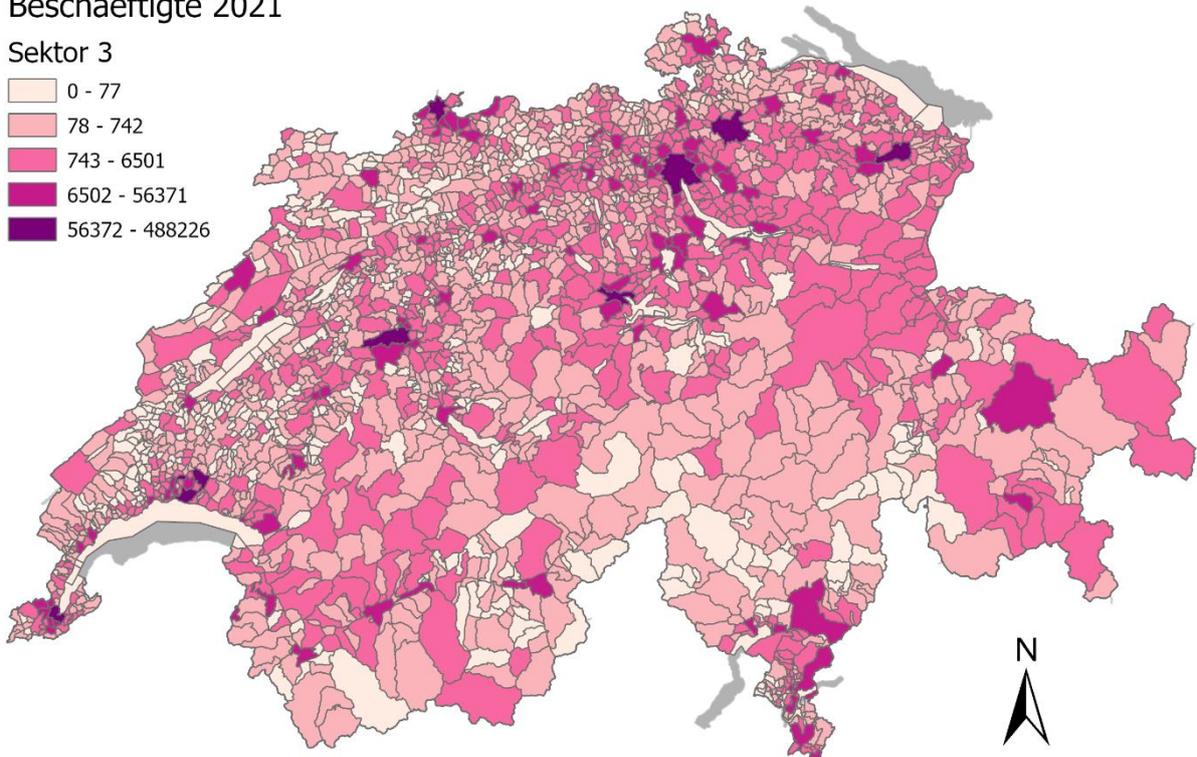
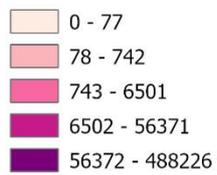


Abbildung 39: Sektor 3

Tourismus 2022

Logiernächte

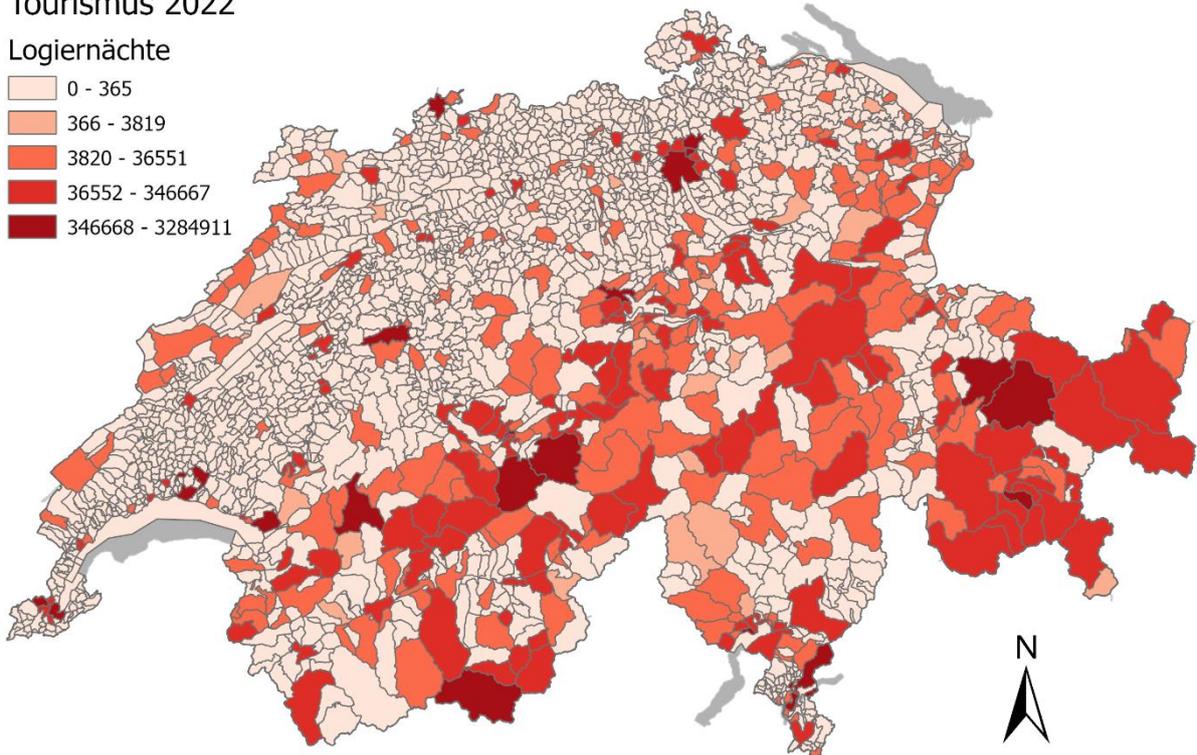
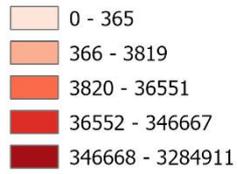


Abbildung 40: Tourismus

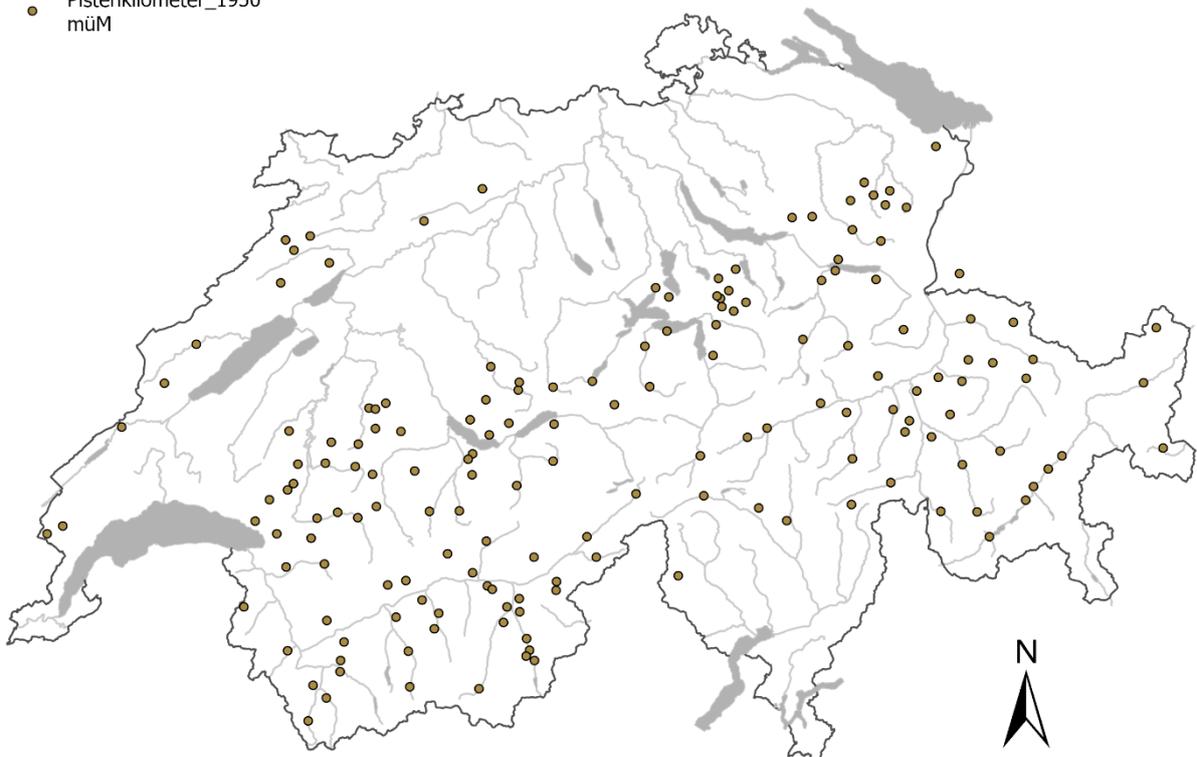
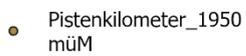


Abbildung 41: Pistenkolimeter

Bevölkerung 2021

Anz. Personen pro
km²

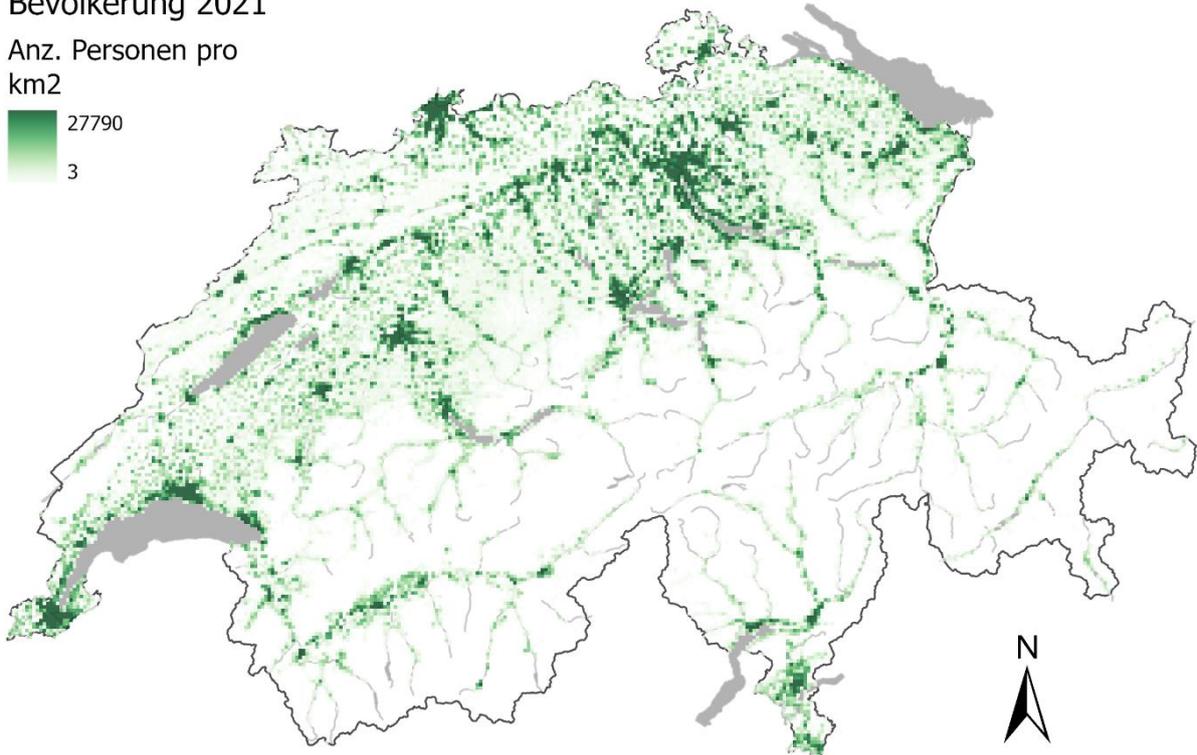


Abbildung 42: Wohnbevölkerung

Regulierte Seen
Stauseen
Nutzvolumen [Mio m³]

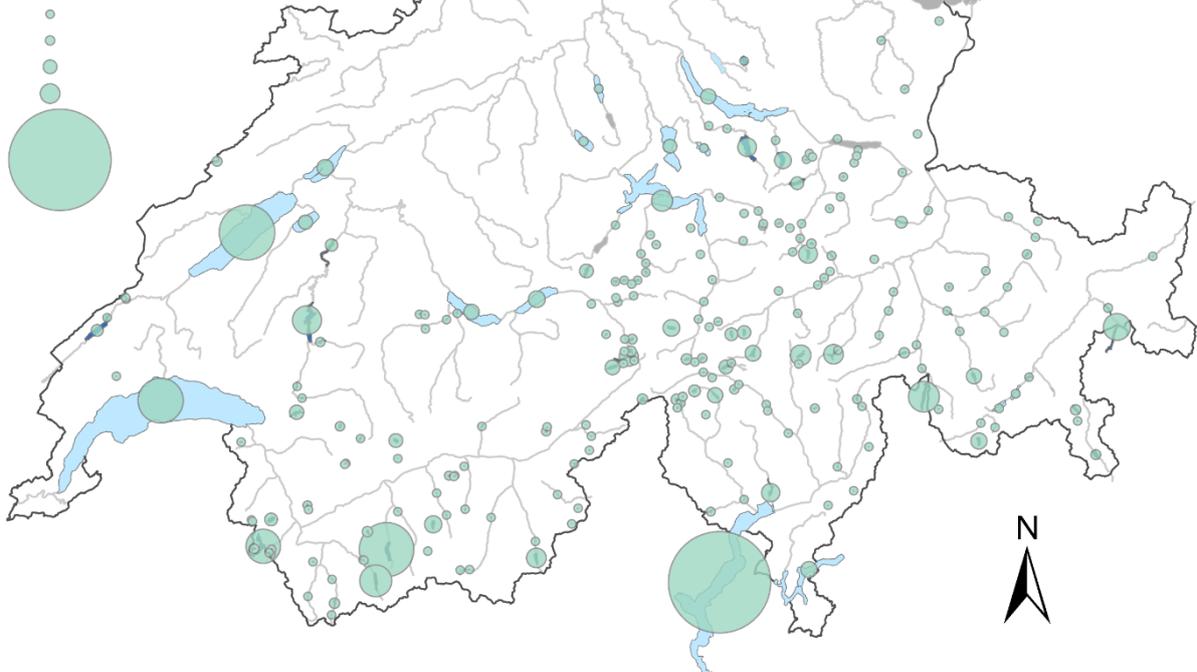


Abbildung 43: Stauseen und regulierte Seen

— Stautrecke

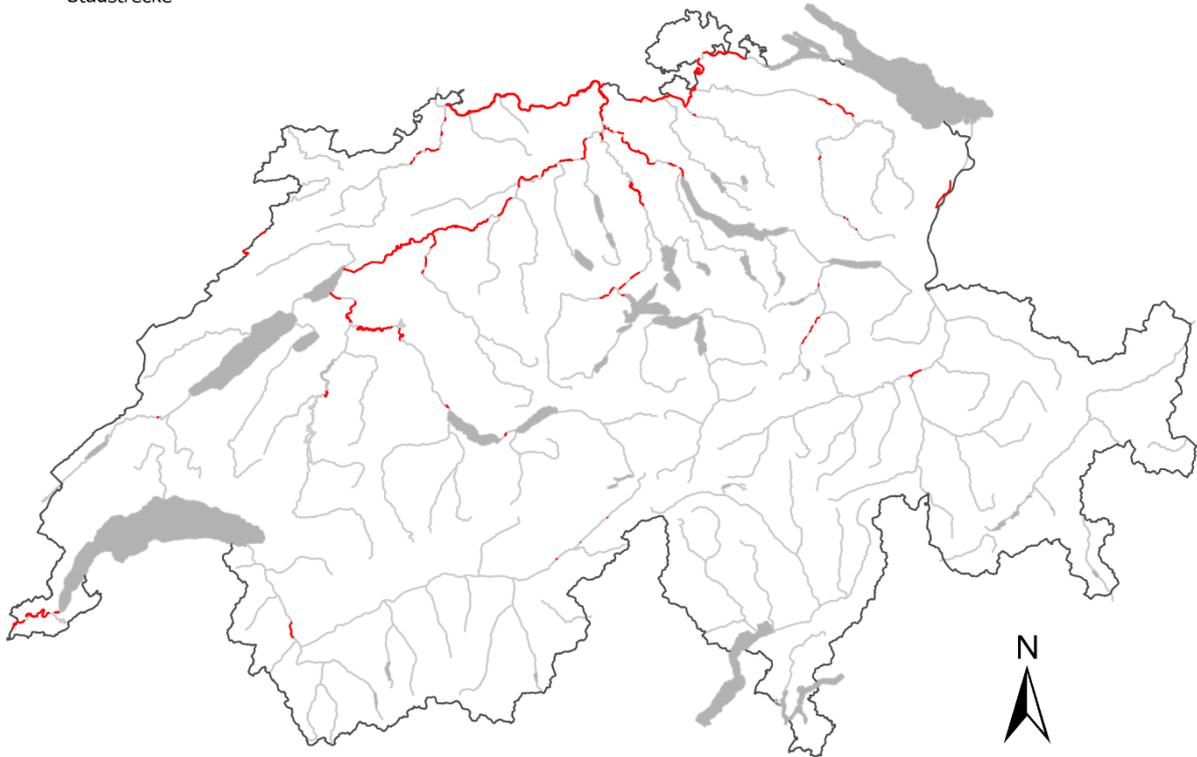


Abbildung 44: Stautrecken

× Bauwerke & Abstürze

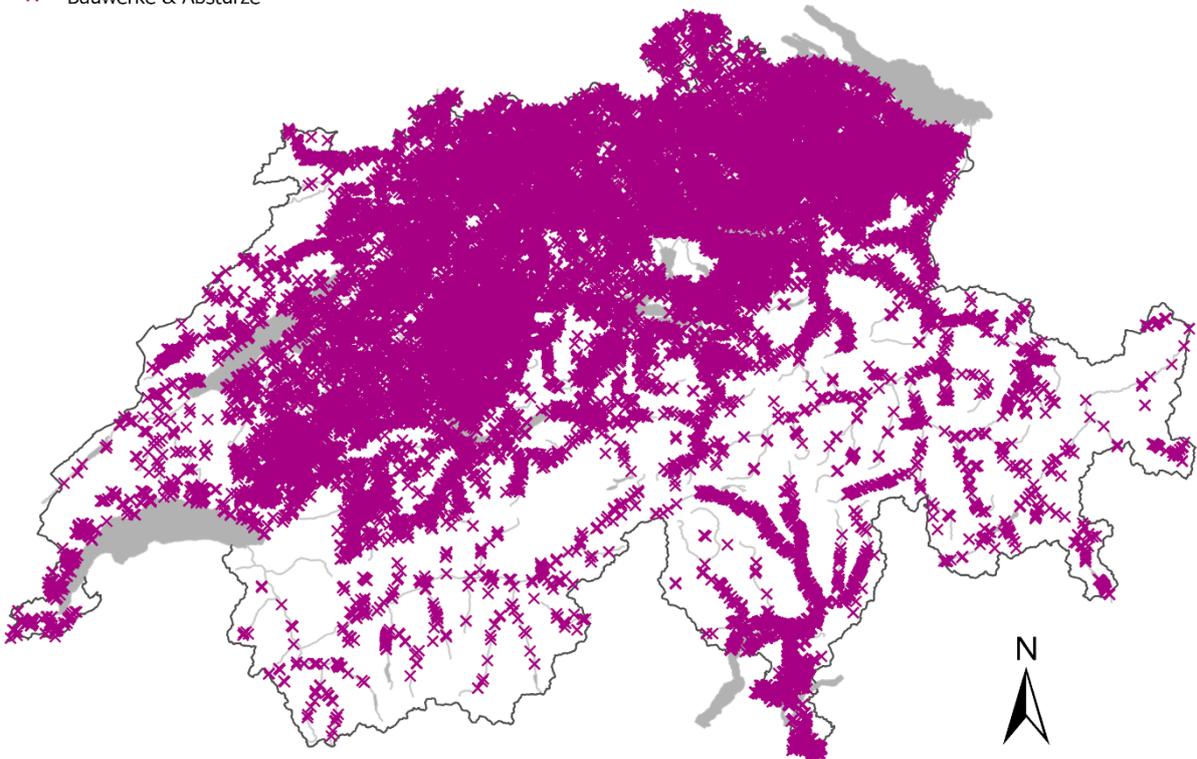
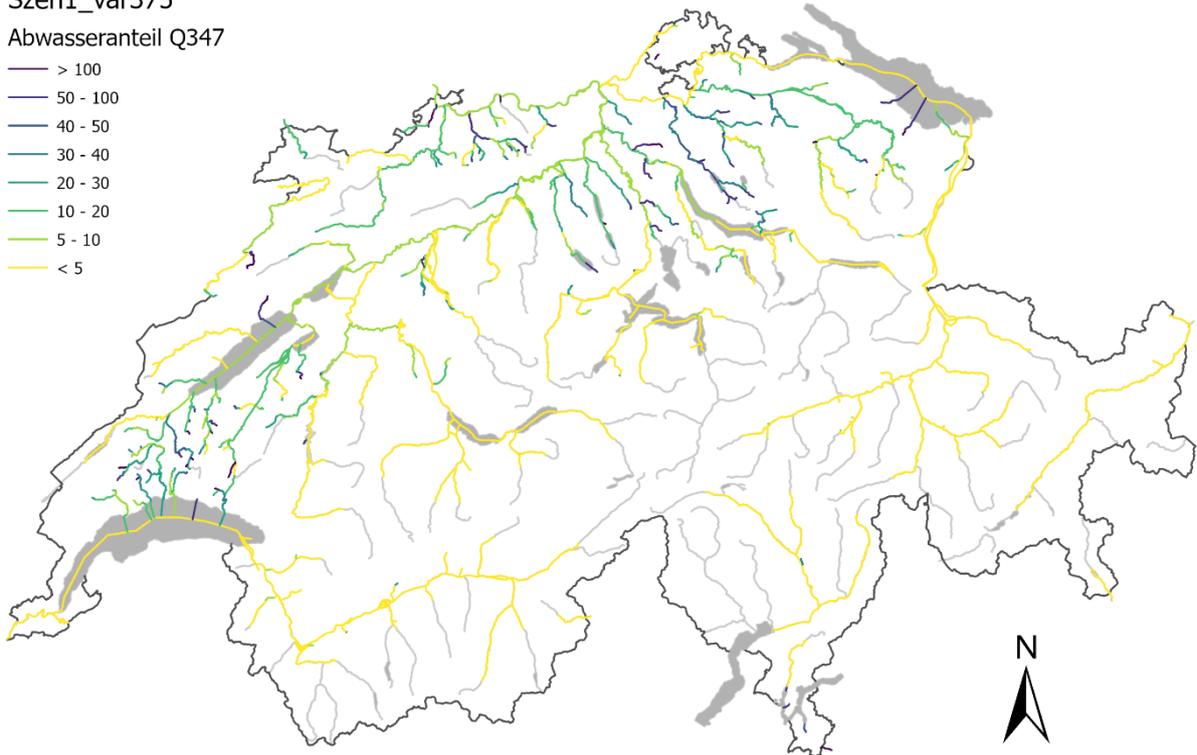
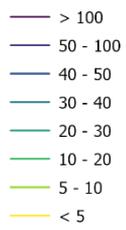


Abbildung 45: Bauwerke und Abstürze

Szen1_var375

Abwasseranteil Q347

**Abbildung 46: Abwasseranteil am Q₃₄₇**

- ARA_Einleitung

**Abbildung 47: Standorte ARA Einleitungen**

▲ Grundwasser

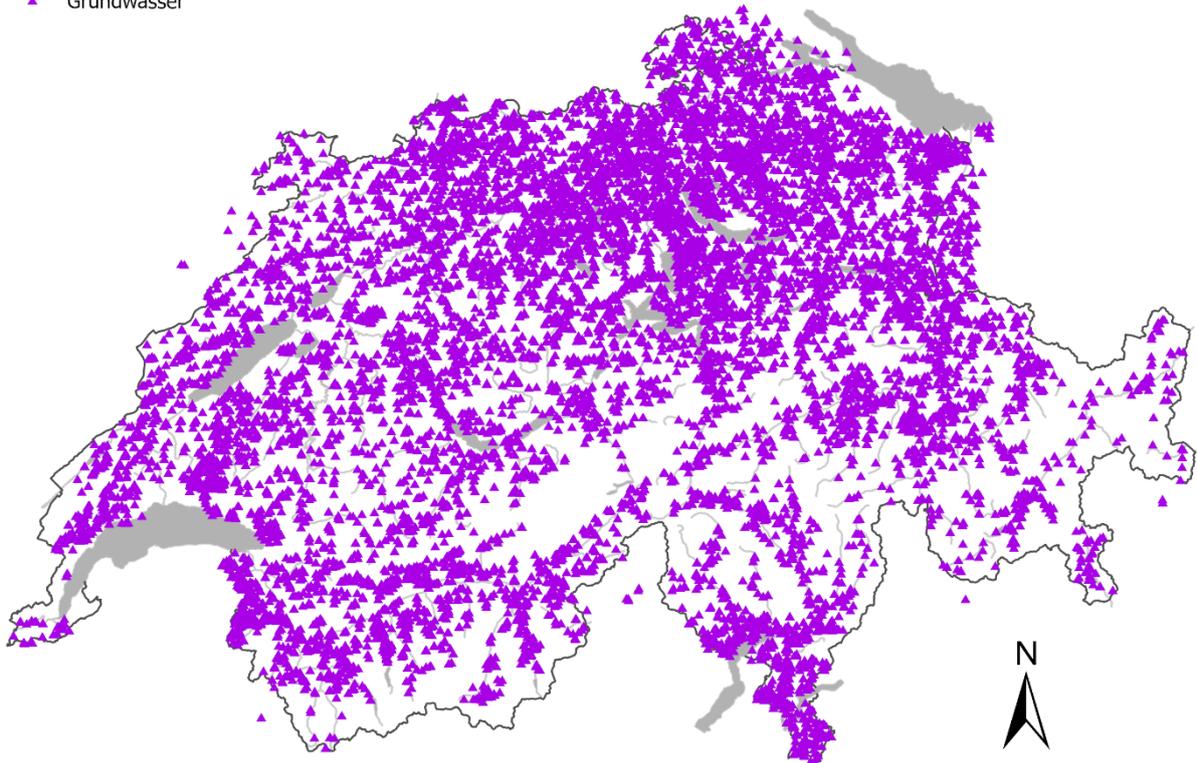


Abbildung 48: Standorte Grundwasser Fassungen und Quellen sowie Schutzzonen S1

Wasserkraft

● Entnahme
● Rückgabe

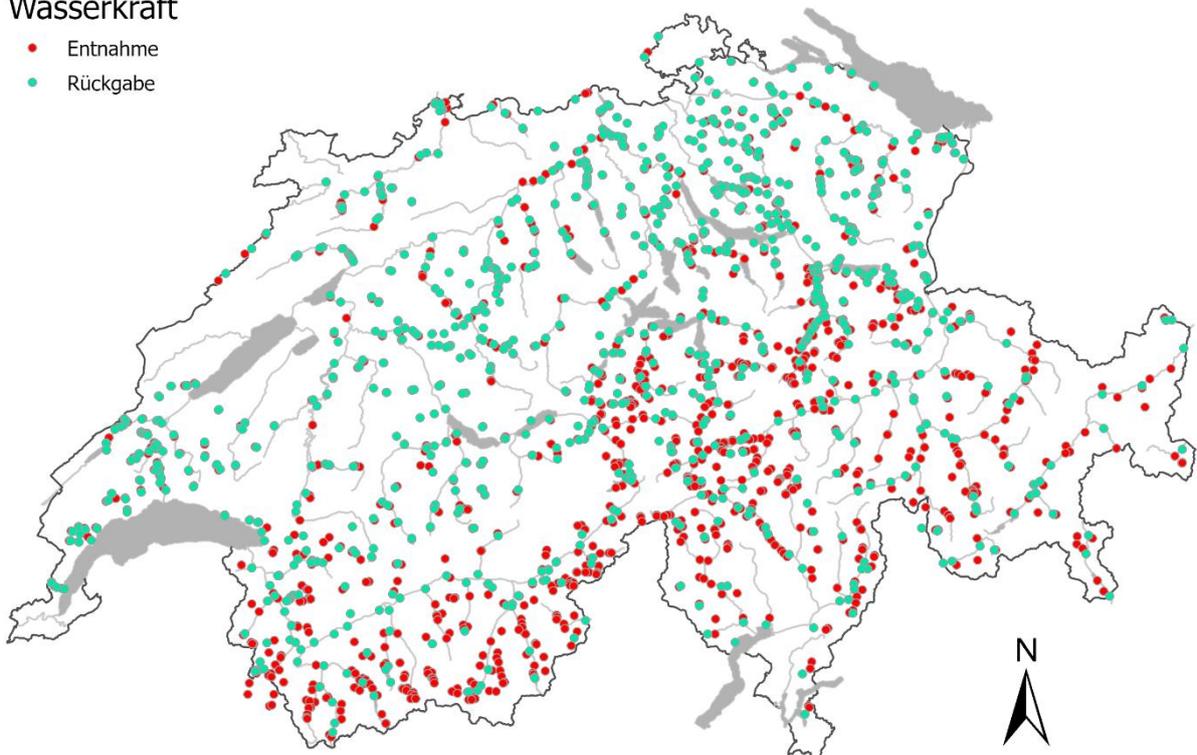


Abbildung 49: Entnahme- und Rückgabestellen von Wasserkraftanlagen

Wasserkraft

- Restwasserstrecken
- Schwall-Sunk-Strecken

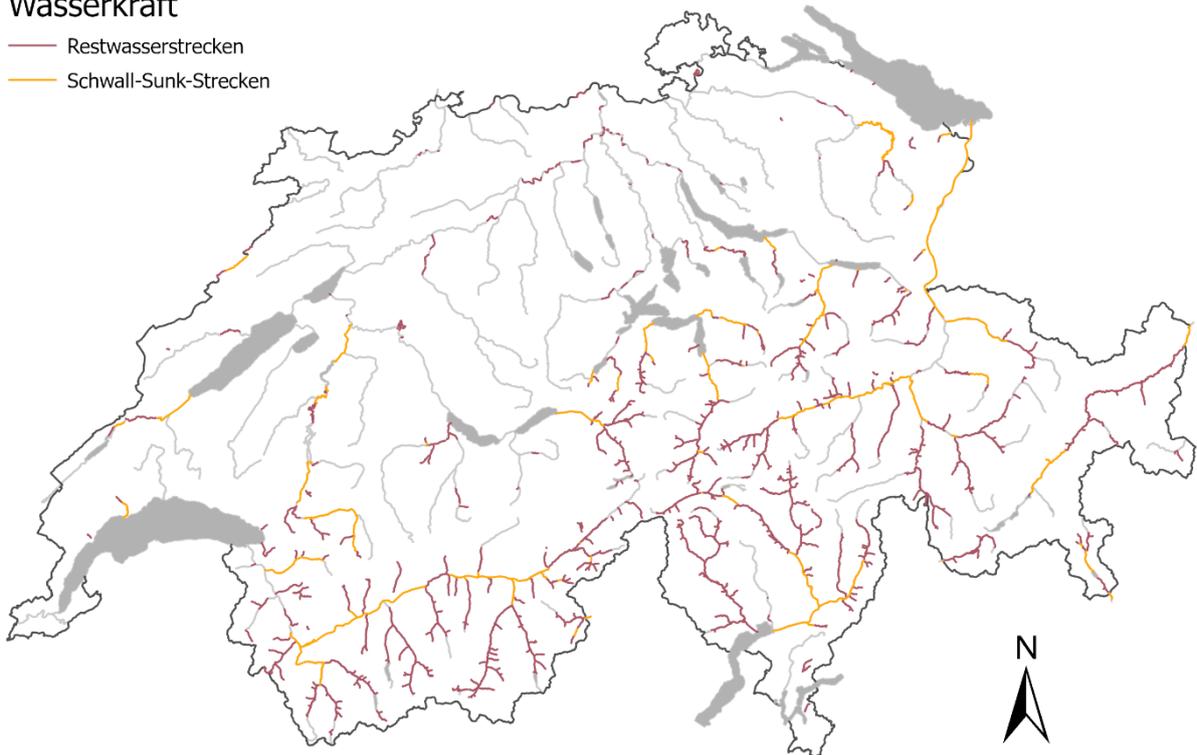


Abbildung 50: Restwasserstrecken und Schwall-Sunk-Strecken

Wasserkraft

Stromproduktion
[GWh/a]

- 0 - 50
- 50 - 100
- 100 - 500
- 500 - 1000
- > 1000

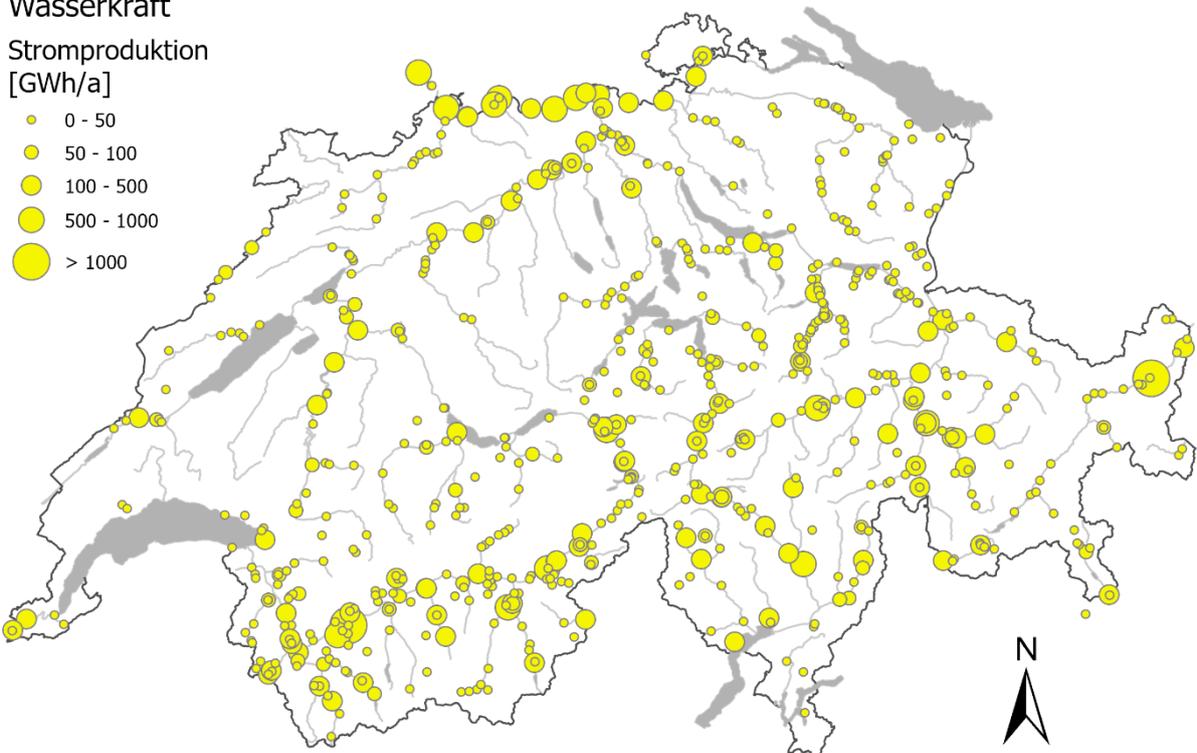


Abbildung 51: Jährliche Stromproduktion [GWh/Jahr] aus Wasserkraft

II. Clusterzuordnung der NAWA-Einzugsgebiete

Tabelle 14: Cluster-Zuordnung der 136 NAWA-Messstellen gemäss Kapitel 5.3.

BAFU_ID	Cluster Nr.	BAFU_ID	Cluster Nr.	BAFU_ID	Cluster Nr.
1002	1	1020	4	1154	7
1117	1	1055	4	1373	7
1158	1	1064	4	1388	7
1162	1	1072	4	1432	7
1163	1	1288	4	1504	7
1290	1	1307	4	1528	7
1366	1	1458	4	1768	7
1497	1	1494	4	1779	7
1873	1	1514	4	1934	7
1887	1	1765	4	2123	7
2075	1	1794	4	2127	7
2119	1	2149	4	3001	7
2991	1	3206	4	4330	7
6057	1	4879	4	4331	7
6257	1	5309	4	6263	7
6258	1	1053	5	6269	7
6262	1	1108	5	6270	7
6264	1	1142	5	6585	7
6402	1	1339	5	6589	7
6584	1	1344	5	1210	8
1010	2	1365	5	1291	8
1011	2	1832	5	1387	8
1016	2	2995	5	1402	8
1017	2	1145	6	1419	8
1044	2	1176	6	2003	8
1264	2	1536	6	2103	8
1265	2	1821	6	3173	8
1345	2	1833	6	6059	8
1823	2	1837	6	6259	8
1824	2	1840	6	6260	8
1988	2	1852	6	6261	8
3006	2	1912	6	6265	8
4057	2	1919	6	6266	8
4409	2	1973	6	6267	8
6055	2	2025	6	6268	8
1014	3	2033	6	6272	8
1181	3	2035	6	6401	8
1357	3	2064	6	6403	8
1476	3	2078	6	6527	8
2115	3	2129	6		
2885	3	2986	6		
2993	3	3860	6		
3627	3	3938	6		
3769	3	4070	6		
6315	3	4922	6		
		5023	6		
		5045	6		
		6056	6		
		6058	6		
		6060	6		
		6601	6		
		6602	6		