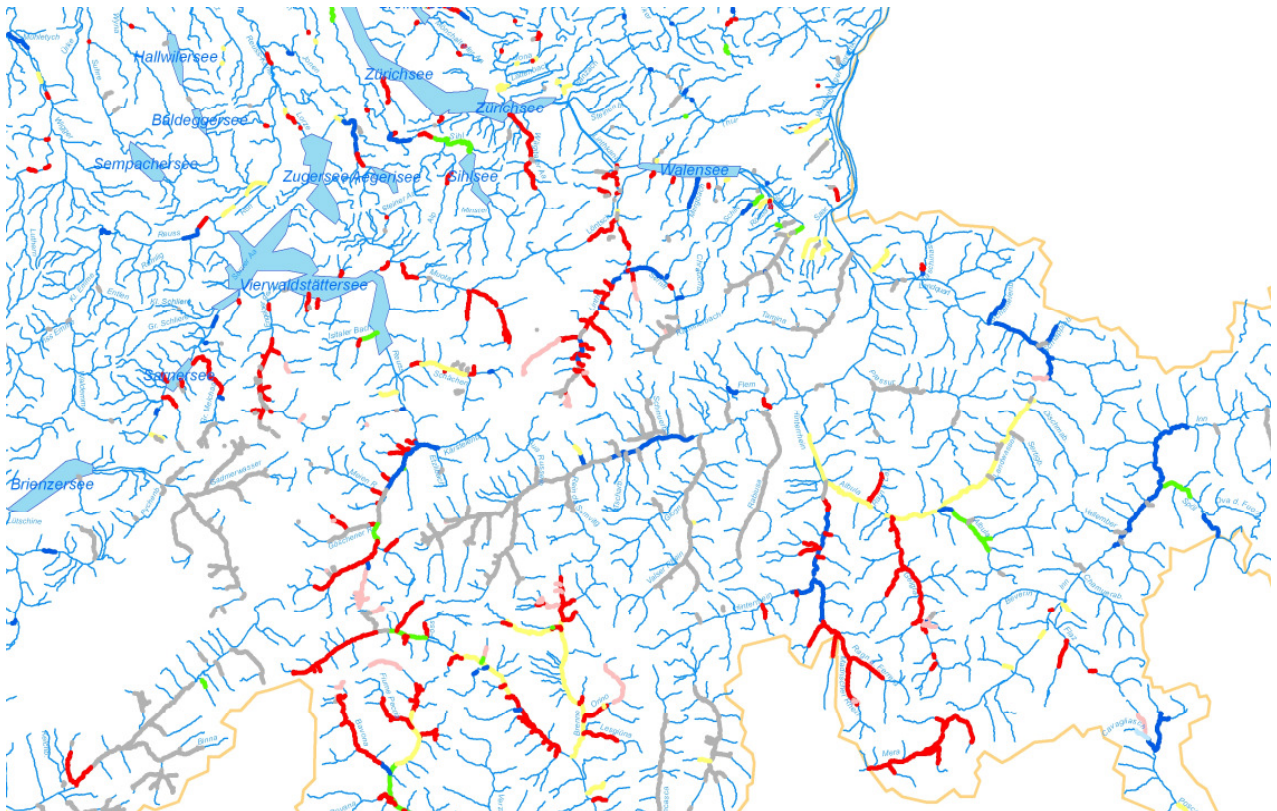


Wasserkraftnutzung und Restwasser

Restwasserstrecken und Sanierungsbedarf

Dokumentation



Wasserkraftnutzung und Restwasser

Restwasserstrecken und Sanierungsbedarf

© Eawag, 6047 Kastanienbaum
Nachdruck (auch teilweise) mit Quellenangaben und unter Absprache mit den Autoren erwünscht

Eawag
Oberflächengewässer
Seestrasse 79
6047 Kastanienbaum
Tel. 041 347 21 11
Fax 041 347 21 68
www.eawag.ch

Autoren:
Viviane Uhlmann
Prof. Dr. Bernhard Wehrli

Das Projekt Wasserkraftnutzung und Restwasser wurde teilweise von der MAVA-Stiftung finanziell unterstützt. Das Projekt erfolgte in loser Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Greina-Stiftung (SGS).

Kastanienbaum, Januar 2011

Bezug: <http://www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/wasserkraft>

Zusammenfassung

Die Restwassersituation in der Schweiz wird immer wieder thematisiert. Die neu aufgrund der im Gegenvorschlag zur Initiative „Lebendiges Wasser“ formulierten Gesetzesartikel des Gewässerschutzgesetzes sind 2011 in Kraft getreten. Im Hinblick auf die daraus resultierenden Arbeiten und Projekte, wie beispielsweise die Sanierung der Restwasserstrecken und Fliessgewässerrenaturierungen, dürfte ein geografischer Überblick über die Restwassersituation in der Schweiz von Interesse sein.

Im Gegensatz zu früheren Darstellungen wird in der mit dem vorliegenden Bericht publizierten Karte der Stand des Vollzuges der Restwasserbestimmungen dokumentiert. Bis anhin wurden verschiedene Karten zum Thema Restwasser und verändertes Abflussregime in Schweizer Fliessgewässern publiziert, wie beispielsweise die Karte „Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke und Seen“ des Hydrologischen Atlases der Schweiz (HADES 1992/2010), die die Beeinflussung der Fliessgewässer basierend auf den verbleibenden Anteil des mittleren natürlichen Jahresabflusses darstellt. Die Restwasserkarte des Bundesamtes für Umwelt (Bafu 2007 oder www.ecogis.admin.ch) zeigt die von den Kantonen inventarisierten Wasserentnahme- und Rückgabestellen und enthält verschiedene Angaben zu den Wasserentnahmen, die im Inventar vermerkt sind, ohne Klassierung der Restwasserstrecken. Vermutlich wurden ebenfalls Restwasserkarten zu einzelnen Einzugsgebieten in verschiedenen Kantonen erstellt. Eine Karte der Schweiz mit allen Restwasserstrecken lag bis anhin nicht vor. Die Eawag-Karte der Restwasserstrecken soll online verfügbar sein und periodisch nachgeführt werden.

Dieser Bericht dokumentiert die Methodik mit der die Karte erarbeitet wurde und fasst die wichtigsten Ergebnisse tabellarisch zusammen.

Das Projekt Wasserkraftnutzung und Restwasser publiziert im Jahre 2006 die Studie „Standortbestimmung zum Vollzug der Restwasservorschriften“. Darin wurde unter anderem untersucht, wie weit die Restwassersanierungen in den einzelnen Kantonen umgesetzt werden. Der Bericht wies auf den Sanierungsbedarf hin – die Resultate wurden in Tabellen und Grafiken dargestellt.

Zur Visualisierung der Restwassersituation in der Schweiz wurde mit dem vorliegenden Bericht eine Karte mit allen Restwasserstrecken erarbeitet (Datenstand 2004). Die Karte zeigt, dass in 375 Restwasserstrecken (28% aller insgesamt 1318 Restwasserstrecken) kein oder nur sehr wenig Restwasser dotiert wird (Kategorie rot). Für 645 Restwasserstrecken (49%) fehlen Angaben zur Dotierwassermenge (Kategorie grau). In einer ersten Näherung kann man annehmen, dass ein beträchtlicher Teil dieser Restwasserstrecken bzw. Wasserfassungen ebenfalls kein Wasser dotiert. Daraus kann ein Sanierungs- bzw. mindestens ein Informationsbedarf abgeleitet werden.

Die Geodaten wurden als Gesamtkarte der Schweiz im Massstab 1:900'000 (pdf, A3-Format) sowie in vier Teilen im Massstab 1:500'000 (pdf, je als A3-Format) aufgearbeitet. Der vollständige Geodatenatz, der der Karte als Grundlage dient, ist digital zugänglich und kann via Homepage der Eawag in beliebigen Massstäben eingesehen werden (www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/wasserkraft).

Die erarbeitete Karte zeigt den Zustand des Jahres 2004. Mit der Revision des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer (GSchG), das 2011 in Kraft gesetzt wurde, werden neue Anreize zur Umsetzung der Restwasservorschriften eingeführt. Es dürfte deshalb von Interesse sein in ca. 3 Jahren (2014) eine gleiche Karte der Restwasserstrecken der Schweiz zu erstellen, um im Rahmen einer Erfolgskontrolle die Umsetzung der Restwasservorschriften zu dokumentieren (z.B. Vergleich 2004 – 2014).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	3
2.1	Datenbank Wasserfassungen	3
2.2	Geodaten	4
3	Vorgehen und Methodik	5
3.1	Definition der Restwasserstrecke	5
3.2	Darstellen der Wasserfassungen	8
3.3	Ermitteln von Einzugsgebieten	8
3.4	Berechnen von Restwasserstrecken	9
4	Karte der Restwasserstrecken der Schweiz	9
4.1	Erläuterungen zum Inhalt der Karte	9
4.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	10
5	Ausblick	13
6	Abkürzungen / Glossar	14
7	Literatur	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Angaben zur Vollständigkeit der Datengrundlage in Bezug auf verschiedene Abflussmengen.	2
Abbildung 2: Beispiele zur Definition der Restwasserstrecke gemäss Bafu (Buwal 2000).	6
Abbildung 3: Beispiel eines berechneten Einzugsgebiets.	8
Abbildung 4: Karte der Restwasserstrecken der Schweiz (Ausschnitt).	10
Abbildung 5: Zustand Restwasserstrecken der Schweiz (Datenstand 2004)	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick der verwendeten Geodaten für die GIS-Anwendung.	4
Tabelle 2: Definition der Restwasserstrecke	7
Tabelle 3: Zusammenstellung Kategorien zur Beurteilung der Restwasserstrecke, Fliesstreckenlänge der Restwasserstrecken [km], Anzahl der Restwasserstrecken	12

1 Einleitung

Die Restwassersituation in der Schweiz wird immer wieder thematisiert – aktuell im Rahmen der Revision des GSchG. Die neu aufgrund der im Gegenvorschlag zur Initiative „Lebendiges Wasser“ formulierten Gesetzesartikel des Gewässerschutzgesetzes sind 2011 in Kraft getreten. Im Hinblick auf die daraus resultierenden Arbeiten und Projekte, wie beispielsweise die Sanierung der Restwasserstrecken und Fliessgewässerrenaturierungen, dürfte ein geografischer Überblick über die Restwassersituation in der Schweiz von Interesse sein.

Im Gegensatz zu früheren Darstellungen wird in der mit dem vorliegenden Bericht publizierten Karte der Stand des Vollzuges der Restwasserbestimmungen dokumentiert. Bis anhin wurden verschiedene Karten zum Thema Restwasser und verändertes Abflussregime in Schweizer Fliessgewässern publiziert, wie beispielsweise die Karte „Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke und Seen“ des Hydrologischen Atlases der Schweiz (HADES 1992/2010), die die Beeinflussung der Fliessgewässer basierend auf den verbleibenden Anteil des mittleren natürlichen Jahresabflusses darstellt. Die Restwasserkarte des Bundesamtes für Umwelt (Bafu 2007 oder www.ecogis.admin.ch) zeigt die von den Kantonen inventarisierten Wasserentnahme- und Rückgabestellen sowie verschiedene Angaben zu den Wasserentnahmen, die im Inventar vermerkt sind, ohne Klassierung der Strecken. Vermutlich wurden ebenfalls Restwasserkarten zu einzelnen Einzugsgebieten in verschiedenen Kantonen erstellt. Eine Karte der Schweiz mit allen Restwasserstrecken lag bis anhin nicht vor. Die Eawag-Karte der Restwasserstrecken soll online verfügbar sein und periodisch nachgeführt werden.

Dieser Bericht dokumentiert die Methodik mit der die Karte erarbeitet wurde und fasst die wichtigsten Ergebnisse tabellarisch zusammen.

Das Projekt Wasserkraftnutzung und Restwasser publizierte im Jahre 2006 die Studie „Standortbestimmung zum Vollzug der Restwasservorschriften“. Darin wurde unter anderem untersucht, wie weit die Restwassersanierungen in den einzelnen Kantonen umgesetzt werden. Der Bericht wies auf den Sanierungsbedarf hin – die Resultate wurden in Tabellen und Grafiken dargestellt. Ein Geografisches Informationssystem (GIS) ermöglicht die Analyse und Visualisierung räumlicher Daten.

Deshalb war es das Ziel, in einem zweiten Projektteil aktuelle Daten zu den Restwasserstrecken der Schweiz mit Hilfe von GIS in einer Gesamtkarte darzustellen. Die Karte soll die Restwassersituation in der Schweiz und daraus resultierend den Sanierungsbedarf aufzeigen. Die erarbeitete Karte soll danach digital und als Papierausdruck allen Interessierten zur Verfügung stehen.

Die Karte soll folgende Fragen beantworten:

- Wo sind Ausnahmeregelungen bis anhin und wo sind sie neu, d.h. mit dem revidierten GSchG ab 2011 möglich?
- Wo fliesst noch immer kein oder nur sehr wenig Restwasser?
- Wie viele Wasserfassungen bzw. in welchen Restwasserstrecken ist Artikel 31 Absatz 1 GSchG erfüllt?

Ursprünglich sollten im Rahmen des vorliegenden Projekts auch mögliche Produktionseinbussen der Wasserkraftnutzung bei verschiedenen Restwassermengen abgeschätzt werden. Aufgrund sehr lückenhafter Angaben einzelner für die Wasserkraftnutzung wichtiger Kantone wurde auf eine solche Abschätzung verzichtet (Abbildung 1).

Der vorliegende Bericht dient der Dokumentation und Erläuterung der Karte der Restwasserstrecken der Schweiz; insbesondere soll die GIS-Anwendung nachvollziehbar dargestellt werden.

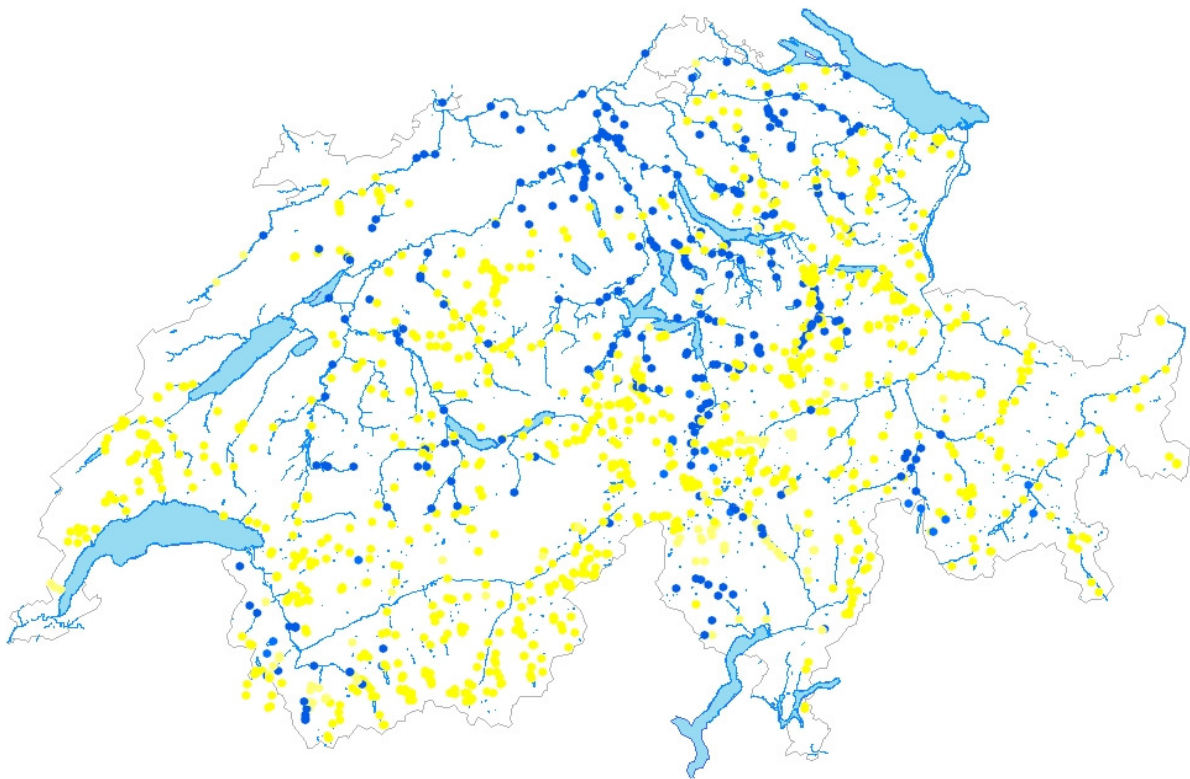


Abbildung 1: Angaben zur Vollständigkeit der Datengrundlage in Bezug auf verschiedene Abflussmengen (Datenbank INVENT des Bafu, Datenstand 2004): Wasserfassungen mit vollständigem Datensatz (blau) und unvollständigem Datensatz (gelb). Kartengrundlage: BFS, GEOSTAT / L+T 2003, swisstopo 2003 / 2006.

2 Grundlagen

2.1 Datenbank Wasserfassungen

Für die Auswertung stand die Datenbank INVENT des Bafu zur Verfügung (Datenstand 2004). Diese Datenbank bildet auch die Grundlage der im Juli 2007 publizierten Restwasserkarte des Bafu. Nach Rücksprache mit dem Bafu am 27. Mai 2008 verzichteten die Autoren auf eine Anfrage aktuellster Daten direkt bei den Kantonen. Eine weitere Zusammenstellung von Daten zur Wasserkraftnutzung und zu einzelnen Wasserfassungen hätte die Wasserkraftstatistik (WASTA) des Bundesamtes für Energie geben können. Diese Statistik ist jedoch vertraulich und war für diese Studie deshalb nicht verfügbar. Somit wurde mit der Datengrundlage aus dem Jahr 2004 gearbeitet.

Die Datenbank INVENT basiert auf dem Inventar der bestehenden Wasserentnahmen, das die Kantone im Zusammenhang mit der Sanierung von bestehenden Restwasserstrecken gemäss Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG, 1991) erstellen und dem Bund einreichen müssen.

Der Inhalt des Inventars ist in Artikel 36 der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) festgelegt. Für Wasserentnahmen, die der Wasserkraftnutzung dienen, nennt das Inventar (Art. 82 Abs. 1 GSchG) mindestens:

- a. die Bezeichnung der Wasserentnahme und -rückgabe (Namen, Koordinaten, Höhen ü.M., Namen der allfälligen Zentrale und Stauhaltung);
- b. den Beginn und die Dauer des verliehenen Nutzungsrechts, dessen Umfang, insbesondere die nutzbare Wassermenge in m^3/s , sowie den Namen des Nutzungsberechtigten;
- c. die Ausbauwassermenge in m^3/s ;
- d. die bisher einzuhaltende Restwassermenge mit Ortsangabe oder die Dotierwassermenge in l/s ;
- e. andere dem Nutzungsberechtigten auferlegte Pflichten zur Abgabe von Wasser;
- f. die Beteiligung des Nutzungsberechtigten an der Korrektur und am Unterhalt des Gewässers;
- g. weitere Auflagen oder Einrichtungen im Interesse des Gewässerschutzes und der Fischerei;
- h. soweit die entsprechenden Daten bereits vorliegen, Angaben über die Abflussmenge Q_{347} , das Abflussregime des Fliessgewässers oberhalb der Wasserentnahme und die dem Gewässer in jedem Monat entnommene Wassermenge in m^3/s , gemittelt über mehrere Jahre;
- i. Angaben darüber, ob das Wasser aus einem Fliessgewässer entnommen wird, das sich in Landschaften oder Lebensräumen befindet, die in nationalen oder kantonalen Inventaren aufgeführt sind.

Ein vollständiger Datensatz der Datenbank INVENT enthält somit folgende Angaben einer Wasserfassung: Kantonaler Code der Wasserfassung, Koordinaten und Höhe über Meer der Entnahmestelle, Name des Fliessgewässers, Zweck der Wasserentnahme, Name der Zentrale, WASTA-Nummer (Wasserkraft Statistik), Angabe zu Q_{347} , Art des Nutzungsrechts

(Konzession, ehehaftes Recht, anderes), Ende des Nutzungsrechts, Bemerkungen, Ausbauwassermenge, Monatsmittel der Abflussmenge oberhalb der Wasserentnahme, Monatsmittel der entnommenen Wassermenge, Monatsmittel der Dotierwassermenge sowie die Koordinaten der Wasserrückgabestelle.

Die Datenvollständigkeit und -qualität unterscheidet sich je nach Kanton (siehe Abbildung 1). Die Datenbank INVENT enthält Angaben zu 1488 Wasserfassungen, wovon 1402 der Wasserkraftnutzung dienen und damit in der vorliegenden Analyse und Karte dargestellt sind.

Relevant für die vorliegende Auswertung bzw. Darstellung sind die vollständigen Angaben zum Standort der Wasserfassungen für Wasserkraftnutzung und Rückgabestellen, d.h. Koordinaten und Höhe über Meer, sowie Angaben zur Dotierwassermenge und der Abflussmenge Q_{347} (mit Hilfe von Q_{347} kann die Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31 Abs. 1 GSchG berechnet werden).

Die Restwasserkarte des Bafu, die 2007 publiziert wurde, enthält eine Übersicht zu den inventarisierten Wasserentnahmen pro Kanton (Anzahl Wasserfassungen pro Kanton, Anzahl Entnahmen mit Entnahmemenge grösser als 50% Q_{347} , etc.). Im vorliegenden Bericht wird nicht näher auf die einzelnen Wasserentnahmen eingegangen. Für Details wird zudem auf den Bericht „Standortbestimmung zum Vollzug der Restwasservorschriften“ verwiesen. In Kapitel 7 des vorliegenden Berichts wird die verwendete Literatur aufgelistet.

2.2 Geodaten

Für die Kartenerstellung wurden ausgewählte Datensätze des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo), des Bundesamtes für Statistik (BFS, GEOSTAT) und des Bafu verwendet.

Tabelle 1: Überblick über die verwendeten Geodaten für die GIS-Anwendung.

Name	Beschrieb	Typ / Massstab	Quelle / Datenstand
DEM25 Matrixmodell	Höhenmatrix mit Maschenweite 25 m (Abbilden von Höhenstufen)	- Raster: 25 x 25 m abgeleitet aus dem Basismodell, - Höhengenaugkeit: 1.5 – 3.0m	swisstopo, 2003
GG25	Generalisierte Gemeindegrenzen (Generalisierungsstufe G4) - G4L01-Landesgrenze - G4R01-Grossregionen - G4K01-Kantonsgrenzen - G4B01-Bezirksgrenzen - G4G01-Gemeindegrenzen - G4S01-Seen (> 5 km ²)	Vektordaten im SHP-Format Vektor abgeleitet von LK25 1:25'000 (Generalisierungsstufe G4)	BFS GEOSTAT / L+T, 2003 (Stand 2001)

Fortsetzung Tabelle 1

Name	Beschrieb	Typ / Massstab	Quelle / Datenstand
Vector 25	Gewässernetz (gwn_CH)	Vektor abgeleitet von LK25 (Pixelkarte 1:25'000) Genauigkeit: 3-8m	swisstopo, 2006
Vector200	Gewässerachsen und Seen (gwn_200) - HydroInfo (Punkt) - FlowingWater (Polylinie) - StagnantWater (Polylinie) - Dam (Polylinie) - GWK_FW_Node (Punkt) - Lake (Polygon)	Vektor abgeleitet von LK200 (Pixelkarte 1: 200'000) Genauigkeit: 20-60m	swisstopo, 2006
Wasserfassungen	Für die Karte verwendete Daten aus Datenbank INVENT: Kantonal Code, Koordinaten und Höhe über Meer, Name des Fliessgewässers, Entnahmezweck, Q ₃₄₇ , Monatsmittel der Dotierwassermenge		Bafu, 2004
Rückgabestellen	Datenbank INVENT: X-Koordinate, Y-Koordinate		Bafu, 2004

Verwendung der Daten von swisstopo laut Vertrag 5704 000 000 (JA 100 119).

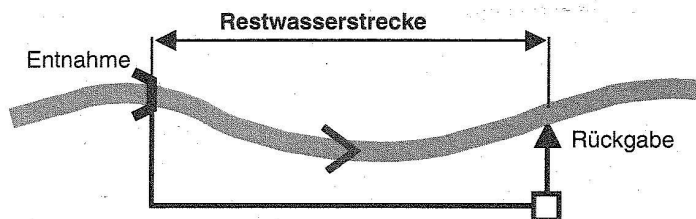
3 Vorgehen und Methodik

Für die Berechnung, Darstellung bzw. Auswertung und Visualisierung der Wasserfassungen und Restwasserstrecken eignet sich ein Geographisches Informationssystem (GIS). In der vorliegenden Analyse wird die Software ArcGIS 9.3 der Firma ESRI verwendet. Das Paket ArcInfo ermöglicht Raumanalysen mit dem ‚Spatial Analyst‘, um Modelle und Analysen basierend auf Rasterdaten durchzuführen und die Anwendung des Zusatz-Datenmodells ArcHydro. Das ArcGIS Hydro Datenmodell (kurz: ArcHydro) ist ein Datenmodell, das hydrologische Aspekte im GIS darstellt. Gearbeitet wird mit einer ‚Personal Geodatabase‘.

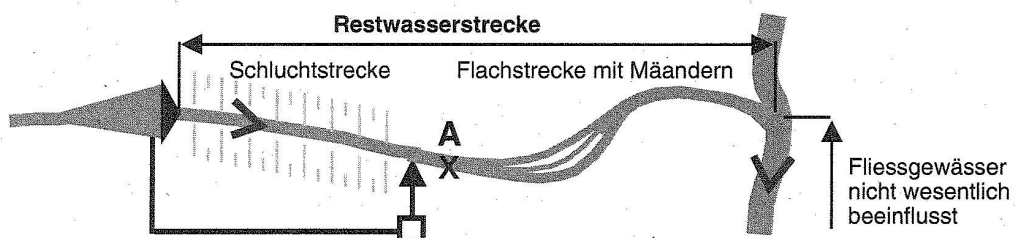
3.1 Definition der Restwasserstrecke

Gemäss der Wegleitung des Bafu „Angemessene Restwassermengen – wie können sie bestimmt werden?“ (Buwal 2000) ist eine Restwasserstrecke wie folgt definiert: *„Fliessgewässerstrecke, welche durch eine oder mehrere Wasserentnahmen wesentlich beeinflusst wird. Bei Laufkraftwerken mit Wasserentnahme entspricht die Restwasserstrecke der Strecke zwischen der Wasserfassung und der Rückgabestelle. Bei Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken ist die Restwasserstrecke nach oben durch den Speichersee bzw. durch die Wasserfassung begrenzt und erstreckt sich unterhalb soweit das Fliessgewässer wesentlich beeinflusst wird (siehe Abbildung 2).“*

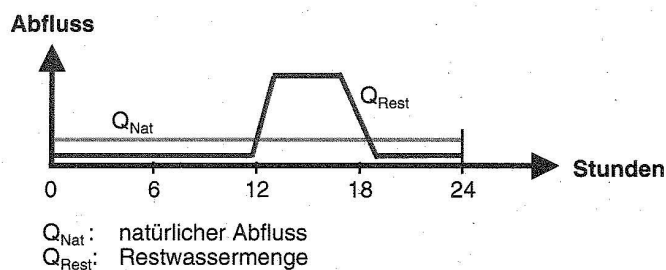
Beispiel 1: Laufkraftwerk mit Wasserentnahme



Beispiel 2: Speicherkraftwerk



Abflussganglinie am Punkt A



Beispiel 3: Wasserentnahme ohne Rückgabe

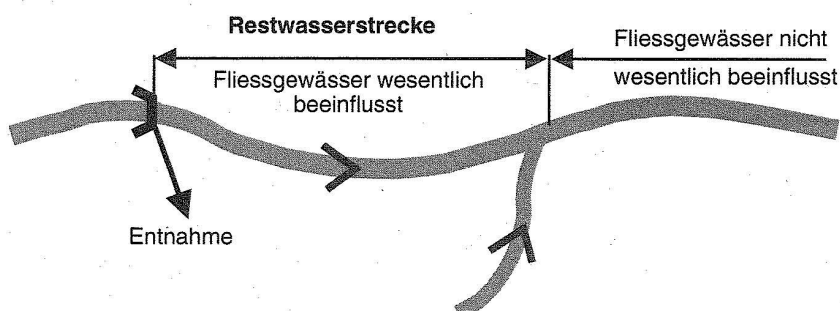


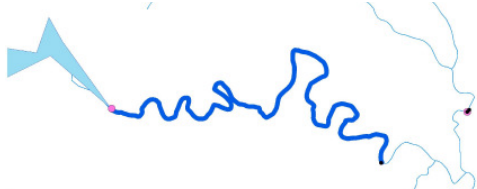
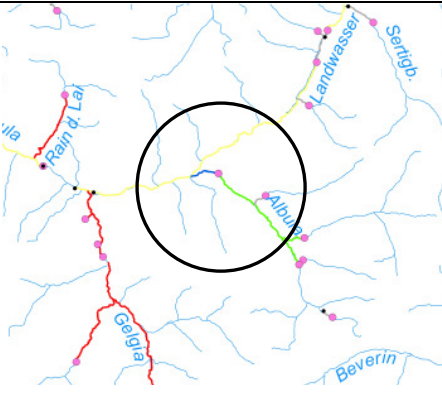
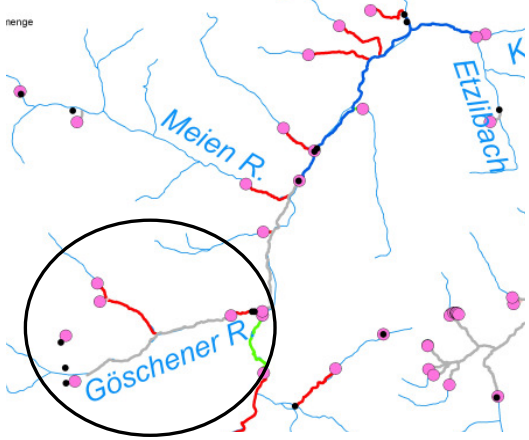
Abbildung 2: Beispiele zur Definition der Restwasserstrecke gemäss Bafu (Buwal 2000).

Im Rahmen dieses Projektes ist es nicht möglich, jede Strecke bezüglich wesentlicher Beeinträchtigung zu beurteilen. Deshalb wird im konkreten Einzelfall entschieden, wo eine Restwasserstrecke endet. Folgende Kriterien werden angewendet, um das Ende einer Restwasserstrecke festzulegen:

- Fließen zwei Restwasserstrecken zusammen, dann werden die Abflussdaten der Restwasserstrecke übernommen, welche ein grösseres Q_{347} aufweist.
- Fehlen Angaben zu Q_{347} , dann wird die Restwasserstrecke mit dem grösseren Teileinzugsgebiet weitergeführt. Details siehe Tabelle 2.

Diese Triage erfordert das Ermitteln von Einzugsgebieten, was mit Hilfe von GIS einfach möglich ist (siehe nachfolgendes Kapitel 3.3).

Tabelle 2: Definition der Restwasserstrecke

Variante 1 Rückgabestelle im selben Gewässer und Restwasserstrecke ohne Zufluss	
Variante 2 Restwasserstrecke mit Zufluss Abflussmenge Q_{347} Zufluss 1 ist kleiner als Q_{347} des Zufluss 2 → Kategorie Zufluss 2 wird weitergeführt Beispiel: Q_{347} der Landwasser ist grösser als Q_{347} der Albula. Deshalb wird die Kategorie „Gelb“ der Restwasserstrecke Landwasser weitergeführt.	
Variante 3 Restwasserstrecke mit Zufluss Teileinzugsgebietsfläche des Zufluss 1 ist kleiner als die Teileinzugsgebietsfläche des Zufluss 2 → Kategorie Zufluss 2 wird weitergeführt Beispiel: Einzugsgebiet der Göschener Reuss ist grösser als Einzugsgebiet des Zuflusses. Deshalb wird die Kategorie „Grau“ der Restwasserstrecke Göschener Reuss weitergeführt.	

3.2 Darstellen der Wasserfassungen

Die Daten aus der Datenbank INVENT werden in Form einer Exceldatei verwendet. Diese Exceldatei wird in ArcCatalog in einer dafür vorbereitete Geodatabase importiert und abgespeichert. Die Daten werden in ArcMap in eine mxd-Datei geladen. Mit ‚Display XY Data‘ werden die Daten als Punkte dargestellt. Einzelne Angaben zu den Wasserfassungen können damit in der Karte abgefragt werden. Die Wasserfassungen können betreffend verschiedene Attribute bzw. Eigenschaften kategorisiert und dargestellt werden (wie beispielsweise in Abbildung 1).

3.3 Ermitteln von Einzugsgebieten

Das Ermitteln des Einzugsgebiets eines bestimmten Punktes erfolgt mit Hilfe des digitalen Höhenmodells (DHM) und des Gewässernetzes der Schweiz. Mit der Ergänzung ‚Spatial Analyst‘ oder ArcHydro werden die verschiedenen Rasterdatensätze zur Berechnung der Einzugsgebiete erstellt, damit das Einzugsgebiet eines beliebigen Punktes berechnet werden kann. (Detailliertes Vorgehen siehe ‚Tutorial‘ ArcHydro, Download siehe Kapitel 7).

Die Wasserfassung muss genau auf dem Gewässer liegen, ansonsten werden falsche Einzugsgebiete berechnet. Daher müssen alle berechneten Einzugsgebiete überprüft und teilweise neu berechnet oder manuell angepasst werden. Angaben zur Grösse eines Einzugsgebietes sind nötig, um das Q_{347} bzw. gegebenenfalls das Ende einer Restwasserstrecke festzulegen.

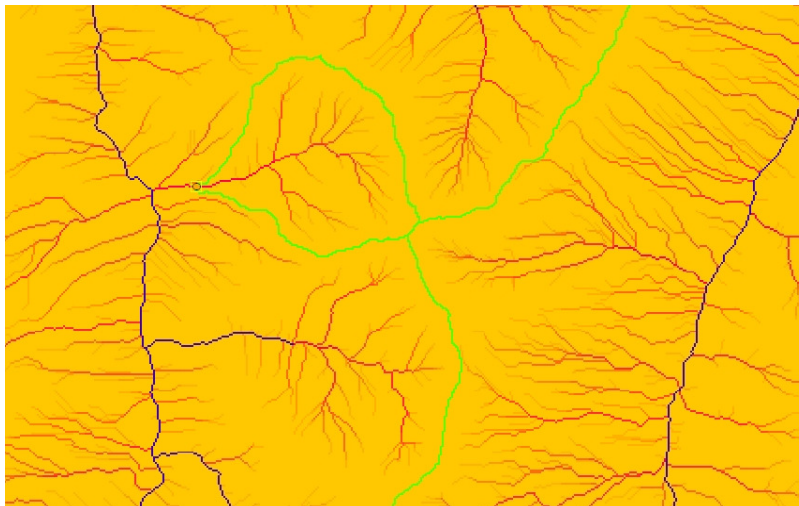


Abbildung 3: Beispiel eines berechneten Einzugsgebiets.

3.4 Berechnen von Restwasserstrecken

Das Ziel ist es, die Länge zwischen zwei Punkten auf dem Gewässernetz zu berechnen und die Fliessrichtung zu ermitteln. Dazu wurde in ArcGIS ein geometrisches Netzwerk für alle Flüsse der Schweiz erstellt. Das Netzwerk weist eine Richtung auf. Für jedes Einzugsgebiet, das aus der Schweiz fliesst, wird das ‚Outlet‘ definiert. Zur Berechnung wurde das modifizierte Skript ‚Pathfinder‘ (im Internet unter ArcObjects Online) verwendet, das auf dem Prinzip arbeitet, dass - von Entnahmepunkt zu Rückgabepunkt ein Weg (= ‚Path‘) erstellt wird.

Für jedes Gewässereinzugsgebiet werden die Daten separat berechnet. Ein Überprüfen und manuelles Bereinigen der Restwasserstrecken ist insbesondere erforderlich bei Wasserfassungen:

- die nicht eindeutig einem Gewässer zugeordnet werden können oder
- deren Wasser in einen Stausee geleitet wird. Die Strecken werden in diesem Fall teilweise in die falsche Richtung – also stromaufwärts – gezeichnet.

Mit einem ‚Join‘ (=Verknüpfung) über die ‚ID‘ (= Identifikation für jede einzelne Wasserfassung) können danach die Eigenschaften bzw. Attribute der Tabelle Wasserfassungen (z.B. Abflussdaten) an die Strecke (‚Path‘) angehängt und dargestellt werden.

4 Karte der Restwasserstrecken der Schweiz

4.1 Erläuterungen zum Inhalt der Karte

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Geodaten und Daten der Wasserfassungen können in Karten aufgearbeitet und visualisiert werden.

Die Karte liegt in zwei verschiedenen Massstäben vor:

- Ganze Schweiz, Massstab 1:900'000, A3-Format (pdf)
- Schweiz unterteilt in NO, NW, SO, SW, Massstab 1:500'000, A3-Format (pdf)

Der vollständige Geodatensatz ist auf einer interaktiven Karte der Homepage der Eawag (www.eawag.ch/forschung/surf/schwerpunkte/project/wasserkraft) digital zugänglich. Die Webkarte wurde auf der Basis von Google Maps erstellt und mit den Restwasserstrecken als kml-Dateien überlagert. Die Informationen zu den Restwasserstrecken erscheinen per Mausklick via Infofenster.

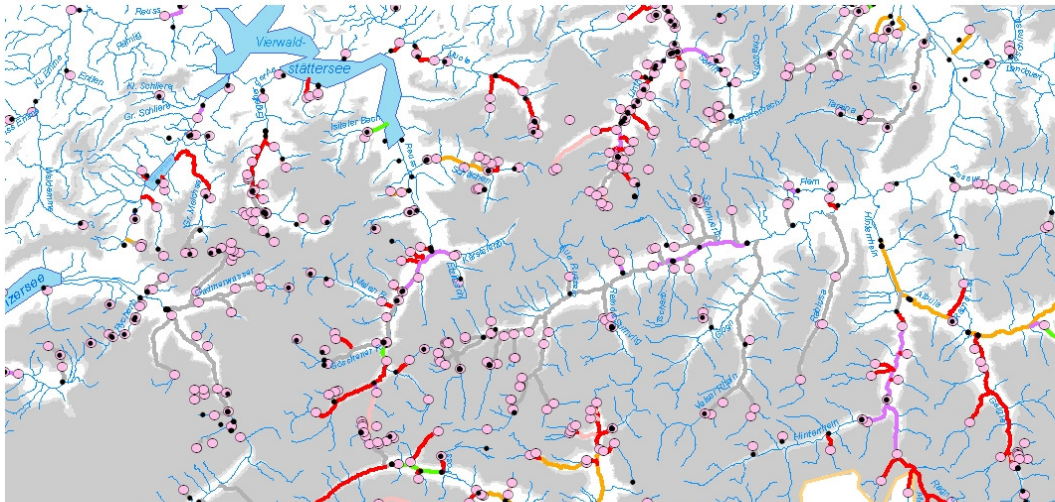


Abbildung 4: Karte der Restwasserstrecken der Schweiz (Ausschnitt).

Die Darstellung zeigt die Restwasserstrecken kategorisiert gemäss dem Anteil der Dotierwassermenge an der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG. Dieses Verhältnis wurde gewählt, da diese Mindestrestwassermenge basierend auf Q_{347} einfach zu berechnen ist. Für die Sicherung angemessener Restwassermengen nach GSchG sind die Artikel 31 bis 33 relevant. Die Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG kann mit den Artikeln 31 Absatz 2 und 33 GSchG entsprechend erhöht werden. Die vorliegende Karte zeigt deshalb, ob diese Mindestrestwassermenge erfüllt ist oder nicht. Sie gibt keine direkten Hinweise zur ökologischen Funktionsfähigkeit eines betreffenden Gewässerabschnittes.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Basierend auf den Dotierwassermengen der Datenbank INVENT des Bafu und den ergänzten Auswertungen können die Restwasserstrecken kategorisiert werden. Bei 375 Restwasserstrecken (28% aller insgesamt 1318 Restwasserstrecken; dunkelrot) wird kein oder nur sehr wenig Restwasser dotiert. Für 645 Restwasserstrecken (49%; grau) fehlen Angaben zur Dotierwassermenge. In einer ersten Näherung kann angenommen werden, dass in einem beträchtlichen Teil dieser Restwasserstrecken ebenfalls kein Wasser dotiert wird. Daraus kann ein Sanierungs- bzw. mindestens ein Informationsbedarf abgeleitet werden. In 152 Restwasserstrecken (11%; violett) fliesst mindestens 90% der Mindestrestwassermenge gemäss GSchG (siehe Tabelle 3, Abbildung 5 und 6).

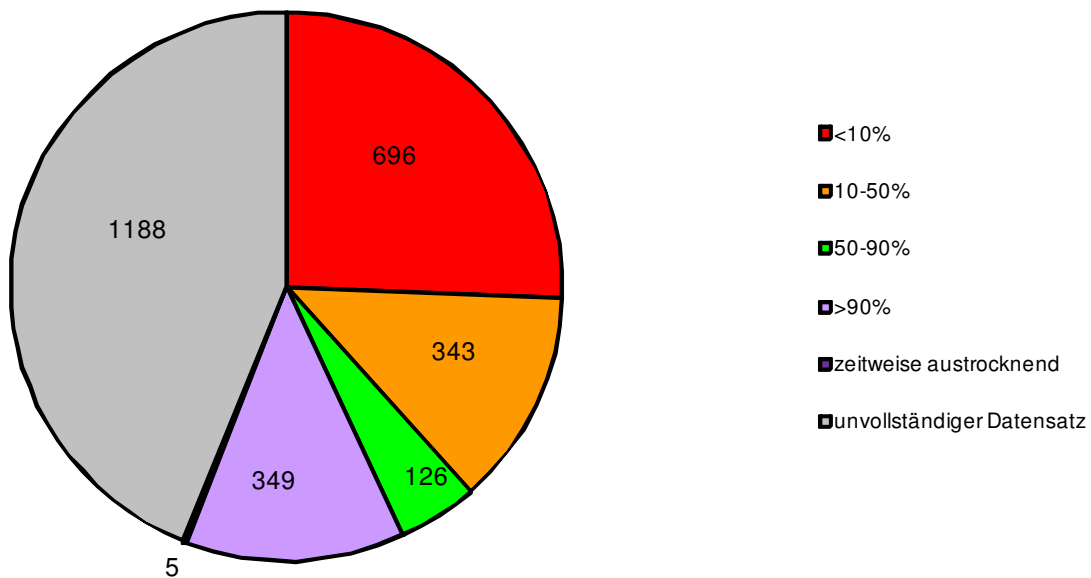


Abbildung 5: Zustand Restwasserstrecken der Schweiz – Angaben zu Flie遛sstreckenlnge [km] (Bafu, 2007). Prozentangaben bedeuten: Anteil Dotierwassermenge an Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG (1991).

Die Karte zeigt folgende Ergebnisse (siehe Abbildung 5) für die insgesamt 1318 Restwasserstrecken (entsprechen ungefähr 2700 km Flie遛sstrecke):

- auf 696 km Flie遛sstrecke oder in 375 (28%) Restwasserstrecken Dotierwassermengen flie遛sen, die weniger als 10% der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG betragen;
- auf 343 km Flie遛sstrecke oder in 100 (8%) Restwasserstrecken zwischen 10-50% der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG flie遛sen;
- auf 126 km Flie遛sstrecke oder in 42 (3%) Restwasserstrecken zwischen 50-90% der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG flie遛sen;
- auf 349 km Flie遛sstrecke oder in 152 (11%) Restwasserstrecken 90% oder mehr der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG flie遛sen;
- 5 km Flie遛sstrecke oder 4 Restwasserstrecken eine temporäre Wasserführung aufweisen und deshalb die Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG nicht erfüllen müssen;
- für 1188 km Flie遛sstrecke oder 645 (49%) Restwasserstrecken nur unvollständige Daten vorliegen (d.h. keine Angaben zu Dotierwassermenge oder Q_{347}).

Das Inventar der Wasserfassungen enthält Angaben zu 1402 Wasserfassungen, die der Wasserkraftnutzung dienen. Die vorliegende Karte zeigt ‚nur‘ 1318 Restwasserstrecken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich bei einzelnen Wasserfassungen um gefasste Quellen handelt, die im digitalisierten Gewässernetz in kein Flie遛sgewsser münden oder dass mehrere Kraftwerke an einem Ausleitungskanal liegen, wie beispielsweise an der Emme oder dem Aabach bei Uster.

In der Karte sind die Höhenstufen der Wasserfassungen unter 1500 m .M. (weiss), zwischen 1500 und 1700 m .M. (hellgrau) und über 1700 m .M. (dunkelgrau) dargestellt. Gemäss GSchG (1991) Artikel 32 gab es für Gewässer, die über 1700 m .M. liegen, eine

Ausnahmeregelung. Diese Ausnahmeregelung wurde revidiert und ausgedehnt und gilt seit 1. Januar 2011 für Gewässer über 1500 m ü.M. Die Karte zeigt die unterschiedlichen Höhenstufen und welche Restwasserstrecken neu dieser Ausnahmeregelung unterliegen: 307 oder 21% der Restwasserstrecken liegen über 1700 m ü.M., 72 bzw. 5% der Restwasserstrecken befinden sich zwischen 1500 und 1700 m ü.M.. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Kategorien nach Höhenstufen aufgeteilt, ebenso in der nachfolgenden Abbildung 6.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Kategorien zur Beurteilung der Restwasserstrecke unterteilt in Höhenstufen <1500 m ü.M., 1500-1700 m ü.M., >1700 m ü.M., Fliesstreckenlänge der Restwasserstrecken [km] und Anzahl der Restwasserstrecken.

Farbe (Kategorie)	Anteil Dotierwassermenge an Mindestrestwassermenge gem. Art.31 Abs.1 GSchG:	Länge		Anzahl Restwasserstrecken	
		[km]	%	Anzahl	%
Für Wasserfassungen < 1500 m ü.M.					
Dunkelrot	<10%	378	22	263	28
Orange	10-50%	303	18	90	10
Hellgrün	50-90%	113	6	38	4
Violett	>90%	275	16	141	15
Blau gestrichelt	zeitweise austrocknend	2	<1	2	<1
Grau	Keine Angaben zu Q ₃₄₇ und/oder Dotierwassermenge	670	38	405	43
Total Wasserfassungen < 1500 m ü.M.		1741		939	
Für Wasserfassungen 1500-1700 m ü.M.					
Dunkelrot	<10%	52	27	22	31
Orange	10-50%	18	9	4	6
Hellgrün	50-90%	11	6	3	4
Violett	>90%	39	20	6	8
Blau gestrichelt	zeitweise austrocknend	0	0	0	0
Grau	Keine Angaben zu Q ₃₄₇ und/oder Dotierwassermenge	74	38	37	51
Total Wasserfassungen 1500-1700 m ü.M.		194		72	
Für Wasserfassungen > 1700 m ü.M.					
Dunkelrot	<10%	266	34	90	29
Orange	10-50%	16	2	6	2
Hellgrün	50-90%	2	<1	1	<1
Violett	>90%	34	4	5	2
Blau gestrichelt	zeitweise austrocknend	3	<1	2	1
Grau	Keine Angaben zu Q ₃₄₇ und/oder Dotierwassermenge	456	59	203	66
Total Wasserfassungen > 1700 m ü.M.		777		307	
	Alle Wasserfassungen	2712		1318	

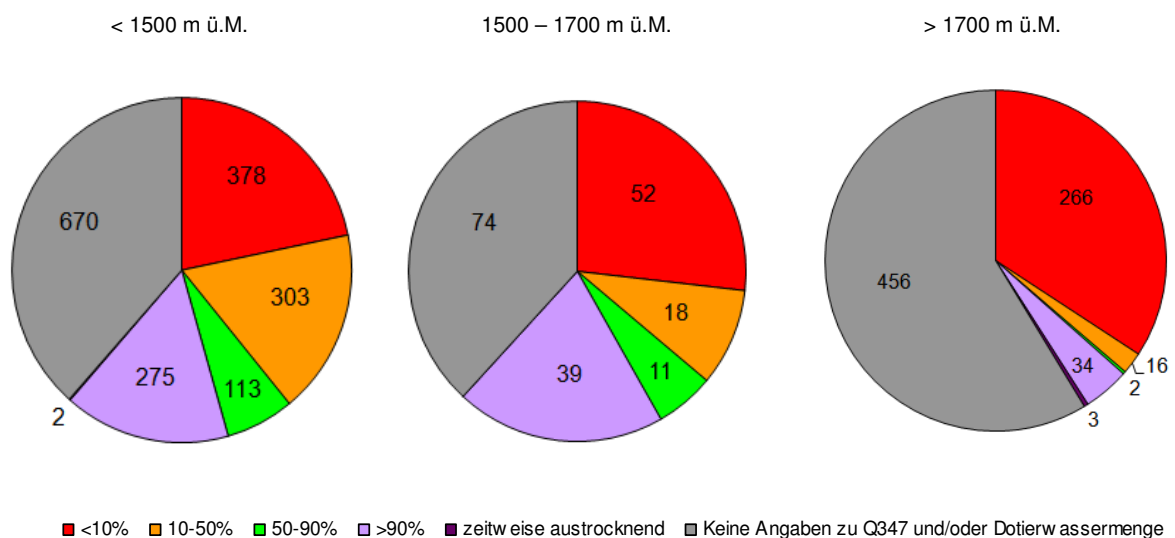


Abbildung 6: Zustand Restwasserstrecken der Schweiz –aufgeteilt nach Höhenlage < 1500 m ü.M. (939 Restwasserstrecken), zwischen 1500 und 1700 m ü.M. (72 Restwasserstrecken) sowie > 1700 m ü.M. (307 Restwasserstrecken). Angaben zu Flie遝sstreckenlänge [km] (Bafu, 2007). Prozentangaben der Kategorien rot, orange, hellgrün, violett und grau beziehen sich auf Anteil der aktuellen Dotierwassermenge an der Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG (1991).

In Bezug auf Artikel 31 Absatz 1 GSchG können für die 1318 Restwasserstrecken folgende Erkenntnisse festgehalten werden (siehe Tabelle 3, Abbildung 6):

1. Restwasserstrecken, die unter 1500 m ü.M. liegen:

- in 263 Restwasserstrecken oder 28% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die weniger als 10% der Mindestrestwassermenge betragen;
- in 141 oder 15% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die 90% oder mehr der Mindestrestwassermenge betragen.

2. Restwasserstrecken, die zwischen 1500 und 1700 m ü.M. liegen:

- in 22 Restwasserstrecken oder 31% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die weniger als 10% der Mindestrestwassermenge betragen;
- in 6 Restwasserstrecken oder 8% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die 90% oder mehr der Mindestrestwassermenge betragen.

3. Restwasserstrecken, die höher als 1700 m ü.M. liegen:

- in 90 Restwasserstrecken oder 29% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die weniger als 10% der Mindestrestwassermenge betragen;
- in 5 Restwasserstrecken oder 2% der Strecken fliessen Dotierwassermengen, die 90% oder mehr der Mindestrestwassermenge betragen;

Die Karte der Restwasserstrecken zeigt den Sanierungsbedarf auf. Sie gibt aber keinen Aufschluss darüber, ob die aktuelle Dotierwassermenge bzw. die Mindestrestwassermenge gemäss Artikel 31 Absatz 1 GSchG ausreichend für die ökologische Funktionsfähigkeit eines betreffenden Flie遝sgewässerabschnittes ist.

5 Ausblick

Die Restwasserstrecken, bei denen die Dotierwassermenge weniger als 10% der Mindestrestwassermenge Artikel 31 Absatz 1 GSchG beträgt und ebenso die Restwasserstrecken mit unvollständigem Datensatz dürfen nach 2012 nur noch vereinzelt existieren. Ausnahme bilden die Gewässer über 1500 m ü.M.. Bis dann müssen die Sanierungen umgesetzt, somit auch das Inventar der Wasserentnahmen vervollständigt und die Datenlücken beseitigt werden. Die Kategorie „Grau“ darf es ab 2013 nicht mehr geben.

Offene Fragen sind somit weiterhin:

- Welche Gewässer dürfen gemäss dem revidierten GSchG genutzt werden?
- Wie wird die Karte nach Umsetzung aller Restwassersanierungen bzw. wie sollte die Karte nach 2013 aussehen?

Bereits in ca. drei Jahren könnte somit eine weitere, aktualisierte Karte der Restwasserstrecken im Rahmen einer Erfolgskontrolle erstellt werden. Der Vergleich könnte sein: Datenstand 2004 (vorliegende Karte) und 2014. Die erarbeitete Karte soll im Internet deshalb möglichst aktuell gehalten werden und jeder Zeit abgerufen werden.

6 Abkürzungen / Glossar

Arc Hydro	ArcGIS Hydro Datenmodell der Firma ESRI (kurz: ArcHydro) ist ein Datenmodell, das hydrologische Aspekte im GIS darstellt.
DHM	Digitales Höhenmodell
GSchG	Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz)
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998
Q ₃₄₇	Abflussmenge, die durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist.
Dotierwasser- menge	Wassermenge, die zur Sicherstellung einer bestimmten Restwassermenge bei der Wasserentnahme im Gewässer belassen wird.
Rasterdaten	Rasterdaten (Bilddaten, digitale Bilder) bestehen aus Rasterpunkten (Bildelemente, Pixel). Die Rasterelemente sind in der Regel quadratisch geformt und von identischer Grösse. Jedem Rasterelement sind ein oder mehrere Zahlenwerte zugeordnet, wie z.B. Höhenwerte. Beispiele sind Satellitenbilder oder digitale Höhenmodelle (DHM)
Spatial Analyst	Ergänzung für ArcGIS (ESRI), die zahlreiche Werkzeuge enthält, um Modelle und Analysen basierend auf Rasterdaten durchzuführen.
Vektordaten	Vektordaten sind Informationen, die in die Elemente Punkt, Linie, Fläche, Text gegliedert werden können. Vektordaten beinhalten Informationen über Koordinaten, Verbindungen (Topologie), räumliche Eigenschaften (Attribute) und Darstellungsregeln (Farbe, Linienart, usw.) Beispiele sind das Gewässernetz.

7 Literatur

Gesetzliche Grundlagen

- Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG), SR 814.20
- Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV), SR 814. 012

Allgemeine Literatur

- Buwal 2000: Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden? Wegleitung. S. 140.
- Buwal 2007: Restwasserkarte Schweiz 1:200'000. Wasserentnahmen und –rückgaben. Papierkarten und CD mit Textfiles und pdf-Dateien. Bundesamt für Umwelt (Bafu), Bern bzw. www.ecogis.admin.ch
- Bafu 2010: Erläuternder Bericht zur Parlamentarischen Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer (07.492) - Änderung der Gewässerschutz-, Wasserbau-, Energie- und Fischereiverordnung. Entwurf vom 11. Mai 2010. Bern, S.31.
- Bafu 2010: Faktenblatt zur Parlamentarischen Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer. 10. Februar 2010. Bern, S. 3.
- ESRI 2007: ArcHydro Tools – Tutorial. USA, S. 131.
<http://resources.arcgis.com/content/hydro-data-model>
- Margot, A., Sigg, R., Schädler, B. und R. Weingartner 1992 / 2010: Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke (≥ 300 kW) und Seen. Tafel 5.3 Hydrologischer Atlas der Schweiz.
- Uhlmann, V. und B. Wehrli 2006: Wasserkraftnutzung und Restwasser - Standortbestimmung zum Vollzug der Restwasservorschriften. Eawag Kastanienbaum. S. 62.