

> Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer

*Hydrologie – Abflussregime
Stufe F (flächendeckend)*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

> Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer

*Hydrologie – Abflussregime
Stufe F (flächendeckend)*

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen, andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autoren

Martin Pfaundler, Abteilung Wasser, BAFU

Christina Dübendorfer, Ernst Basler + Partner AG

Andreas Zysset, Ernst Basler + Partner AG

Begleitung

Daniel Devanthery, Dienststelle für Strassen- und Flussbau, Kanton Wallis

Werner Göggel, BAFU

Ion Iorgulescu, Service cantonal de l'écologie de l'eau, Kanton Genf

Manfred Kummer, BAFU

Peter Molnar, Institut für Umweltingenieurwissenschaften ETH Zürich

Beat Müller, Amt für Umwelt und Energie des Kantons St.Gallen

Armin Peter, Eawag: das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereiches

Roger Pfammatter, Schweiz. Wasserwirtschaftsverband SWV

(vor 1.9.2010: Ernst Basler + Partner AG)

Christopher Robinson, Eawag

Andrea Salvetti, Ufficio dei corsi d'acqua, Kanton Tessin

Markus Zeh, Amt für Wasser und Abfall, Kanton Bern

Weitere Beiträge

Hugo Aschwanden, Daniel Devanthery, Melanie Flubacher, Andreas

Helbling, Christoph Joerin, Caroline Kan, Mario Keusen, Markus

Knellwolf, Thomas Scheuner, Kathrin Schneider, Sandro

Webersberger, Thomas Wüthrich (alle BAFU)

Erprobung der Methode anhand von Fallbeispielen

Peter Baumann, Limnex

(Fallbeispiel Linth-Limmern)

Barbara Imhof, Fredy Elber, AquaPlus

(Fallbeispiel Muotatal)

Beat Müller, Amt für Umwelt und Energie des Kantons St.Gallen

(Fallbeispiel Sitter)

Andrea Salvetti, Ufficio dei corsi d'acqua, Kanton Tessin

(Fallbeispiel Blenio)

Steffen Schweizer, Nick Heuberger, Kraftwerke Oberhasli AG

(Fallbeispiel Hasliaare)

Zitierung

Pfaundler M. et al. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächen-deckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.

Gestaltung

Christina Dübendorfer, Ernst Basler + Partner AG; Ursula Nöthiger

Titelfoto

Steffen Schweizer, Kraftwerke Oberhasli AG

PDF-Download

www.umwelt-schweiz.ch/uv-1107-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2011

> Inhalt

Abstracts	4
Vorwort	5
Zusammenfassung	7

1	Einleitung	9
1.1	Ausgangslage	9
1.2	Bedeutung des Abflussregimes	10
1.3	Rechtliche Grundlagen	11
1.4	Adressaten	12
1.5	Aufbau der Publikation	12
1.6	Anwendung der Methode	13

2	Konzept HYDMOD-F	15
2.1	Ziele und Grundsätze	15
2.2	Abgrenzungen	16
2.3	Klassierungsschema und Bewertungsmethodik	17
2.4	Definition Abflussregime	20
2.5	Auswahl der Bewertungsindikatoren	21

3	Berechnung hydrologische Kenngrößen	22
3.1	Daten- und Informationsquellen	23
3.2	Datenverfügbarkeit und Berechnungsmöglichkeiten	25
3.3	Allgemeine Kenngrößen	28
3.4	Kenngrößen Mittelwasserregime	33
3.5	Kenngrößen Hochwasserregime	36
3.6	Kenngrößen Niedrigwasserregime	40
3.7	Kenngrößen Kurzzeiteffekte	43

4	Untersuchungsraum und Eingriffsinventar	49
4.1	Untersuchungsraum	50
4.2	Identifizieren der Eingriffe	50
4.3	Feststellen der Erheblichkeit der Eingriffe	52
4.4	Feststellen der Signifikanz der Eingriffe	52
4.5	Tabelle und Darstellung Eingriffsinventar	53

5	Berechnung und Klassierung der Bewertungsindikatoren	55
5.1	Zu berücksichtigende Bewertungsindikatoren	56
5.2	Mittelwasser-Abflussverlauf	57
5.3	Hochwasserhäufigkeit	59
5.4	Hochwasser-Saisonalität	62
5.5	Niedrigwasserabfluss	64
5.6	Niedrigwasser-Saisonalität	66
5.7	Dauer Niedrigwasserperioden	66
5.8	Schwall/Sunk-Phänomen	68
5.9	Spülung und Entleerung	72
5.10	Regenwassereinleitungen	76
5.11	Bewertungstabelle Eingriffsstellen	77

6	Bewertung und Interpretation	78
6.1	Abschnittsbewertung der Einzelindikatoren	79
6.2	Darstellung der Bewertung	82
6.3	Interpretation der Bewertung	84
6.4	Aggregation zur Gesamtbewertung	87

Anhang Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen	89
A1 Übersicht Auswertungen und Referenzstationen	89
A2 Auswertungen Pardéoeffizienten (Pki) und R-Werte	93
A3 Auswertungen weitere hydrologische Kenngrößen	98

Anhang Inter- und Extrapolation	106
A4 Berechnungsanleitungen für Inter- und Extrapolation	106

Verzeichnisse	108
Literatur	113

> Abstracts

The Modular Stepwise Procedure to investigate and assess watercourses includes assessment procedures in three intensity steps (=spatial scales) for the areas hydromorphology, biology and chemical and toxic effects. This hydrology-flow regime module for the so-called spatial step R (regional scale), HYDMOD-R for short, is in this respect the method for describing hydrological conditions of a region by logging the water resources management measures and assessing their effects on the flow regime. The natural state of the flow regime is assessed and classified using nine assessment indicators, which cover a number of characteristics from the areas of low flow, medium flow and high flow regime.

Das Modul-Stufen-Konzept zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer umfasst Erhebungsverfahren in drei Intensitätsstufen für die Bereiche Hydromorphologie, Biologie sowie chemische und toxische Effekte. Das vorliegende Modul Hydrologie – Abflussregime für die Stufe F (flächendeckend), kurz HYDMOD-F, ist in diesem Rahmen die Methode zur Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse einer Region mit der Erfassung der wasserwirtschaftlichen Eingriffe und der Beurteilung deren Auswirkungen auf das Abflussregime. Beurteilt und klassiert wird der Natürlichkeitsgrad des Abflussregimes anhand von neun Bewertungsindikatoren, welche verschiedene Charakteristika aus den Bereichen Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserregime abdecken.

Le système modulaire gradué d'analyse et d'appréciation des cours d'eau comprend des méthodes subdivisées en trois niveaux d'analyse et concernant les domaines de l'hydromorphologie, de la biologie ainsi que des effets chimiques et toxiques. Le présent module «Hydrologie – régime d'écoulement» conçu pour le niveau R (région), ou HYDMOD-R, représente la méthode mise au point pour décrire les conditions hydrologiques d'une région en y relevant les atteintes liées à la gestion des eaux et en évaluant leurs effets sur le régime d'écoulement. Le degré de naturalité du régime d'écoulement est apprécié et classé à l'aide de neuf indicateurs d'évaluation tenant compte de diverses caractéristiques du régime d'étiage, du régime des débits moyens et du régime de crue.

Il concetto basato su moduli e livelli per l'analisi e la valutazione dei corsi d'acqua prevede delle procedure di rilevamento suddivise in tre livelli di intensità per i settori idromorfologia, biologia ed effetti chimici e tossici. In tale ambito, il presente modulo idrologia – portata di deflusso per il livello R («regione»), abbreviato in HYDMOD-R, è il metodo utilizzato per la descrizione delle condizioni idrologiche di una regione mediante il rilevamento degli interventi idraulici e la valutazione delle loro ripercussioni sulla portata di deflusso. Il grado di naturalità della portata di deflusso viene valutato e classificato in base a nove indicatori di valutazione che coprono diverse caratteristiche relative alla portata di magra, media e massima (o di piena).

Keywords:

Modular Stepwise Procedure,
Watercourse assessment,
Measures, Hydrology,
Flow regime

Stichwörter:

Modul-Stufen-Konzept,
Gewässerbewertung,
Eingriffe, Hydrologie,
Abflussregime

Mots-clés :

Système modulaire gradué,
évaluation des cours d'eau,
atteintes, hydrologie, régime
d'écoulement

Parole chiave:

Concetto basato su moduli e
livelli, valutazione dei corsi
d'acqua, interventi, idrologia,
portata di deflusso

> Vorwort

Der umfassende Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen als Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie die nachhaltige Nutzung der Gewässer durch den Menschen sind zentrale Ziele des Gewässerschutzrechts des Bundes. Ein umfassender Schutz der Gewässer bedingt genaue Kenntnisse über deren Zustand. Im Rahmen des Modul-Stufen-Konzeptes werden von Fachleuten aus BAFU, Eawag und kantonalen Fachstellen Untersuchungsmethoden, sogenannte Module, für die Beurteilung der Fliessgewässer erarbeitet. Die Methoden decken die Bereiche Hydrologie und Morphologie, Biologie, Wasserchemie und Ökotoxikologie auf drei Stufen unterschiedlicher Bearbeitungsintensität ab.

Der ökologische Zustand der Fliessgewässer wird von vielfältigen menschlichen Nutzungen beeinflusst. Ganz allgemein können diese den Einflussfaktoren Qualität des Wassers, Struktur- und Raumverhältnisse der Gewässer sowie Wasserführung zugeordnet werden. Entsprechend wurden im Leitbild Fliessgewässer Schweiz (BUWAL & BWG 2003) auf der Basis der geltenden Gesetzgebung die Entwicklungsziele «ausreichende Wasserqualität», «ausreichender Gewässerraum» und «ausreichende Wasserführung» formuliert. Während die stoffliche Belastung durch Abwasser und diffuse Einträge in den letzten Jahrzehnten durch grosse Anstrengungen im Gewässerschutz deutlich reduziert werden konnte, ist die Hydromorphologie vieler Schweizer Fliessgewässer nach wie vor stark beeinträchtigt. Insbesondere die Wasserführung wird zukünftig durch die aus der Klima- und Energiepolitik resultierenden Förderung der Wasserkraft weiter zunehmendem Druck ausgesetzt.

Die vorliegende Methode ist eine Vollzugshilfe für die notwendigen Untersuchungen im Rahmen der in der Gewässerschutzgesetzgebung festgelegten Zielsetzung nach naturnahen Verhältnissen des Abflussregimes und dient auch zur Beurteilung des Entwicklungszieles «ausreichende Wasserführung». Darunter wird nicht nur eine angemessene Restwassermenge verstanden, sondern weit allgemeiner ein naturnahes Abflussregime (einschliesslich der indirekten Auswirkungen auf die Dynamik des Geschiebehaushaltes). Demzufolge geht die vorliegende Methode über den klassischen Parameter «Restwassermenge» hinaus, beinhaltet auch die in letzter Zeit stark thematisierte – und in der Revision des Gewässerschutzgesetzes vom 11. Dezember 2009 explizit berücksichtigte – Problematik von Schwall und Sunk und basiert die Beurteilung des hydrologischen Defizits auf einer ganzen Reihe weiterer, ökologisch relevanter Parameter des Abflussregimes.

Untersuchungsgegenstand der Methode sind also die Auswirkungen menschlicher Eingriffe auf den Natürlichkeitsgrad des Abflussregimes. In der Schweiz sind dies vorwiegend anthropogene Massnahmen aus den Bereichen Siedlungswasserwirtschaft und Wasserkraftnutzung. Aus letzterer ist in den nächsten Jahren mit gesteigerten Aktivitäten zu rechnen. Dementsprechend wichtig ist es, dass Methoden vorhanden sind, welche die dadurch hervorgerufenen Veränderungen beurteilen, damit den Ent-

scheidungsträgern eine Grundlage für eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung zur Verfügung steht.

Mit der vorliegenden Methode liegt ein wesentlicher Baustein zur Schliessung der Lücke für eine umfassende Beurteilung des Gewässerzustandes vor. Zusammen mit den hydrologischen Grundlagen, die parallel mit der Methodenentwicklung erarbeitet und zur Verfügung gestellt werden, soll diese Methode breite Anwendung finden und Nutzen stiften.

Stephan Müller
Chef der Abteilung Wasser
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Das Modul Hydrologie – Abflussregime auf Stufe F (flächendeckend), kurz HYD-MOD-F, stellt im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts die Methode zur Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse einer Region mit der Erfassung der wasserwirtschaftlichen Eingriffe und der Beurteilung deren Auswirkungen auf das Abflussregime dar. Es liefert als Ergebnis eine Aussage über den hydrologischen Zustand des Gewässersystems eines Einzugsgebietes mit den einzelnen Gewässerabschnitten als Bezugsobjekte. Um sich ein umfassendes Bild des Gewässerzustandes zu machen, fehlte dieser Aspekt bislang neben den bestehenden Modulen, welche die Bereiche Biologie, Morphologie und Chemie abdecken. Die vorliegende Methode ist eine Vollzugshilfe für die notwendigen Untersuchungen im Rahmen der in der Gewässerschutzgesetzgebung festgelegten Zielsetzung nach naturnahen Verhältnissen des Abflussregimes und dient auch zur Beurteilung des im Leitbild Fließgewässer formulierten Entwicklungszieles «ausreichende Wasserführung».

Beurteilt und klassiert wird der Natürlichkeitsgrad des Abflussregimes anhand von neun Bewertungsindikatoren, welche verschiedene Charakteristika aus den Bereichen Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserregime abdecken. HYDMOD-F geht deutlich weiter als bloss eine Beschreibung des Abflussregimetyps oder die Behandlung des «klassischen» Problems angemessener Restwassermengen oder der in letzter Zeit an Aktualität gewonnenen Problematik von Schwall und Sunk.

HYDMOD-F ist als Eingriffs-bezogener Ansatz konzipiert. Die Ursachen erheblicher hydrologischer Beeinträchtigungen sind meist punktuelle und direkte wasserwirtschaftliche Eingriffe. Dies hat den Vorteil, dass die Erhebungen gezielt auf die Eingriffe und die davon betroffenen Gewässerabschnitte fokussieren können. Grossteils stammen die Eingriffe aus den Bereichen Siedlungswasserwirtschaft und Wasserkraftnutzung.

Die Methode ist auf Stufe F angesiedelt. Dementsprechend ist die Zielsetzung, für eine Region, für ein ganzes Einzugsgebiet einen Überblick über die Abflussregime-relevanten Eingriffe zu erhalten, deren Auswirkungen zu quantifizieren und die daraus resultierenden Defizite des Gewässerzustandes aus hydrologischer Perspektive zu beurteilen und darzustellen. HYDMOD-F beinhaltet aber keine Massnahmenplanung.

Die Anwendung der Methode ist mit einem gewissen Aufwand verbunden, insbesondere bei der Erfassung und Informationsbeschaffung zu den Eingriffen. Die Methode selber verlangt Fachkenntnisse in den Bereichen Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerökologie.

Die Anwendung von HYDMOD-F benötigt verschiedene hydrologische Kenngrössen. In vielen Fällen ist aber davon auszugehen, dass die verfügbare Datenlage spärlich ist. Deswegen wurden parallel zur Methodenentwicklung auch eine Reihe hydrologischer Grundlagen und Abschätzverfahren erarbeitet, welche Bestandteil von HYDMOD-F

sind. Schliesslich wurde auch ein EDV-Programm als elektronisches Hilfsmittel entwickelt, welches für einzelne Schritte im Methodenablauf eine Erleichterung für den Anwender bringen soll.

HYDMOD-F ist demzufolge als Paket zu verstehen: Im Zentrum steht die eigentliche Bewertungsmethodik. Daneben werden auch diverse Abschätzverfahren bereitgestellt. Beides ist in dieser Publikation beschrieben. Schliesslich wird das Paket durch das zur Verfügung gestellte elektronische Hilfsmittel (HYDMOD-FIT) zur IT-gestützten Anwendung, Standardisierung und Verringerung des Anwendungsaufwands komplettiert. Letzteres wird über die Internetseiten www.modul-stufen-konzept.ch > Hydrologie vertrieben.

1 > Einleitung

Dieses Kapitel beschreibt Ausgangslage, Anforderungen und die gesetzlichen Grundlagen der Beurteilungsmethodik und gibt einen Überblick über den Aufbau der Publikation.

1.1 Ausgangslage

Eine ausreichende Wasserführung und ein Abflussregime, das naturnahen Verhältnissen entspricht, sind wichtige ökologische Ziele für Gewässer. In der Gesetzgebung zum Gewässerschutz sind die ökologischen Ziele verbal formuliert. Für die praktische Umsetzung bedarf es einer Interpretation und Konkretisierung, die so weit als möglich zu messbaren, numerisch formulierten, nachvollziehbaren Einschätzungen und einheitlichen Anforderungen führt.

Von verbalen Zielen
zu messbaren Grössen

Die vorliegende Vollzugshilfe ist Teil der «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer» (Modul-Stufen-Konzept). Ziel des Modul-Stufen-Konzepts (BUWAL 1998) ist die Entwicklung standardisierter Methoden für die Untersuchung und Bewertung des Zustandes der Fliessgewässer in der Schweiz. Die Methoden erfassen strukturelle und hydrologische, biologische, chemische sowie ökotoxikologische Aspekte der Gewässerqualität. Die entwickelten Methoden richten sich als Vollzugshilfen an die kantonalen Fachstellen. Das Modul-Stufen-Konzept unterscheidet drei Stufen des Bearbeitungsaufwandes. Die drei Stufen F (flächendeckend), S (systemhaft) und A (abschnittsweise) beziehen sich auf unterschiedliche räumliche Massstäbe des Untersuchungsraums.

Teil des Modul-Stufen-Konzepts

Das vorliegende Modul Hydrologie – Abflussregime (HYDMOD-F) ist für die Stufe F ausgelegt. Es zeigt eine Methode zur flächendeckenden Beurteilung der hydrologischen Verhältnisse einer Region auf, unter Berücksichtigung der Eingriffe und ihrer Wirkungen auf das Abflussregime. Die Methode stützt sich für die Bewertung der Natürlichkeit des Abflussregimes auf ökologischen Erwägungen ab.

Vollzugshilfe zur Beurteilung
der hydrologischen Verhältnisse
einer Region

Als Methode der Stufe F gelten für HYDMOD-F folgende Anforderungen:

Anforderungen Stufe F

- > Flächendeckende Untersuchung aller Fliessgewässer eines grösseren Gebietes (Kanton, Region) möglich
- > Untersuchungstiefe und Aufwand pro untersuchtem Gewässerabschnitt relativ gering
- > Überblick über wichtige Aspekte des Zustandes der Gewässer bzw. deren Beeinträchtigungen, abschnittsweise Beurteilung, kartografische Darstellung

Die Anwendung der Methode HYDMOD-F erfordert entgegen der Zielsetzung einen relativ grossen Aufwand, insbesondere für die Datenbeschaffung und -aufbereitung (siehe auch Kapitel 1.6). Eine Reduktion oder Vereinfachung ist aber ohne grösseren Verlust an der Aussagekraft nicht möglich.

1.2 Bedeutung des Abflussregimes

Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ökologie eines Fließgewässers sind die Wasserqualität, der morphologische Zustand und die hydrologischen Bedingungen. Die Relevanz des Abflussregimes für die aquatische Ökologie umfasst:

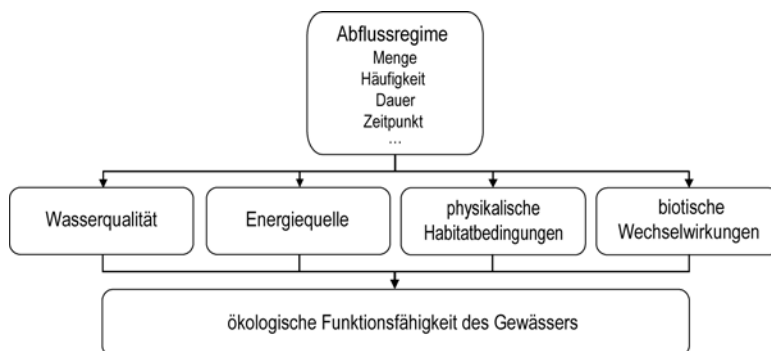
- > die Erhaltung der aquatischen Lebensräume und
- > die Förderung eines naturnahen Geschiebehaltens.

Direkte Wirkungen sind die Begrenzung der aquatischen Habitatgrösse über die Gewässerbreite und die Wassertiefe sowie die Wirkung der Fließgeschwindigkeit als hydraulischer Stressfaktor. Indirekt wirkt das Abflussgeschehen auch auf den Feststoffhaushalt (Geschiebe wie Schwebstoffe) und damit auf die morphologische Ausgestaltung des Habitats sowie auf das Temperaturregime.

Schematisch skizziert die folgende Abbildung grundlegende Zusammenhänge zwischen Abflussregime und ökologischer Funktionsfähigkeit der Gewässer.

Abb. 1 > Abflussregime und ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer

Das Abflussregime stellt eine entscheidende abiotische Steuergrösse für aquatische Habitatbedingungen dar und beeinflusst massgebend die ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer.



Eigene Darstellung gemäss Petts, 1995

Ökologische Relevanz des
Abflussregimes

1.3

Rechtliche Grundlagen

Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20) beauftragt in Artikel 57 den Bund und in Artikel 58 die Kantone, Abklärungen über Gewässer vorzunehmen. Darunter fallen unter anderem Erhebungen darüber, ob die in Anhang 1 Ziffer 1 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) definierten ökologischen Ziele für oberirdische Gewässer, welche gemäss Artikel 1 Absatz 2 GSchV beim Vollzug der Gewässerschutzvorschriften zu berücksichtigen sind, erreicht werden.

Gemäss Anhang 1 Ziffer 1 Absatz 2 GSchV sollen die Hydrodynamik (Geschiebetrieb, Wasserstands- und Abflussregime) und die Morphologie naturnahen Verhältnissen entsprechen. Sie sollen insbesondere die Selbstreinigungsprozesse, den natürlichen Stoffaustausch zwischen Wasser und Gewässersohle sowie die Wechselwirkung mit der Umgebung uneingeschränkt gewährleisten.

Die Anforderungen an die Wasserqualität oberirdischer Gewässer werden in Anhang 2 Ziffer 1 der Gewässerschutzverordnung genannt. In Ziffer 12 Absatz 3 wird festgehalten, dass durch Wasserentnahmen, Wassereinleitungen und bauliche Eingriffe unter anderem die Hydrodynamik des Gewässers nicht derart verändert werden darf, dass dessen Selbstreinigungsvermögen vermindert wird oder die Wasserqualität für das Gedeihen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht mehr genügt. Stellt eine Behörde fest, dass ein Gewässer die Anforderungen nach Anhang 2 GSchV nicht einhält, muss sie gemäss Artikel 47 GSchV die Art, das Ausmass und die Ursachen der Verletzung der Anforderungen ermitteln, die Wirksamkeit der möglichen Massnahmen beurteilen und dafür sorgen, dass diese gestützt auf die entsprechenden Vorschriften getroffen werden.

Abklärungen über die Gewässer sind sodann wichtig für den Vollzug der Bestimmungen der Gewässerschutzgesetzgebung bezüglich Sicherung angemessener Restwassermengen. Die Artikel 29–36 und 80–83 GSchG und die Artikel 33–41 GSchV enthalten Vorschriften über die Sicherung angemessener Restwassermengen im Rahmen der Erteilung von Wasserentnahmebewilligungen sowie zur Sanierung von durch Wasserentnahmen wesentlich beeinflussten Fliessgewässern.

Auch für den Vollzug der Bestimmungen des GSchG bezüglich Verhinderung und Behebung von kurzfristigen künstlichen Änderungen des Wasserabflusses (Schwall und Sunk), welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinflussen (Artikel 39a und 83a GSchG) sind Abklärungen zur Hydrodynamik, insbesondere über den Grad der Beeinträchtigung des Gewässers durch Schwall und Sunk, nötig.

Gemäss Artikel 50 GSchG und Artikel 49 GSchV informieren Kantone über den Zustand der Gewässer. Die vorliegende Publikation zeigt Methoden auf, nach welchen Abklärungen und Erhebungen der Kantone bezüglich der hydrologischen Verhältnisse von Fliessgewässern vorgenommen werden können.

GSchG / GSchV:

Gewässerökologie und
Lebensräume

**GSchV: Ökologische Ziele für
oberirdische Gewässer**

**GSchV: Anforderungen an die
Wasserqualität**

GSchG / GSchV:

Wasserentnahmen und
Restwasser

GSchG:

Schwall und Sunk

GSchG / GSchV:

Information über Zustand der
Gewässer

Neben den gesetzlichen Grundlagen existiert mit dem Leitbild Fließgewässer Schweiz (BUWAL & BWG 2003) ein übergeordnetes Konzept für einen nachhaltigen Umgang mit den Gewässern. Es stellt neben den Forderungen nach ausreichender Wasserqualität und ausreichendem Gewässerraum als drittes Entwicklungsziel eine ausreichende Wasserführung und naturnahe Abflussverhältnisse. Der Ausdruck «ausreichende Wasserführung» bezieht sich dabei nicht nur auf eine angemessene Restwassermenge, sondern umfasst ganz generell die Dynamik des Abflussgeschehens und beinhaltet die Forderung, ein möglichst natürliches Abflussregime mit all seinen Merkmalen zu erhalten oder wieder herzustellen. Die vorliegende Methode kann für die Beurteilung des Zustands der Gewässer im Hinblick auf dieses Entwicklungsziel ebenfalls benutzt werden.

Leitbild Fließgewässer Schweiz

1.4 Adressaten

Die Methode HYDMOD-F wendet sich in erster Linie an die betroffenen kantonalen Fachstellen, insbesondere an jene der Hydrologie, des Gewässerschutzes und der Wassernutzung. Als Anwender der Methode kommen jedoch auch spezialisierte Ingenieur-, Umwelt- und Gutachterbüros sowie Anlagebetreiber in Frage.

1.5 Aufbau der Publikation

Kapitel 2 beschreibt die Ziele der Methode HYDMOD-F und nimmt verschiedene Abgrenzungen vor. Weiter werden wichtige Grundsätze der Bewertungsmethodik beschrieben.

Kapitel 2: Konzept

Für die Anwendung der Bewertungsmethodik werden verschiedene hydrologische Kenngrößen benötigt. Eine Anleitung zu deren Berechnung oder Abschätzung sowie eine Übersicht über mögliche Datenquellen sind in Kapitel 3 gegeben. Zudem wird dort auf das EDV-Programm HYDMOD-FIT sowie auf die GIS-Hilfsdateien verwiesen, die auf der Website des Modul-Stufen-Konzepts (www.modul-stufen-konzept.ch > Hydrologie) zur Verfügung stehen.

Kapitel 3:
Abschätzverfahren und Hilfsmittel

Im Anhang stehen verschiedene Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen zu den in Kapitel 3 beschriebenen hydrologischen Kenngrößen zur Verfügung.

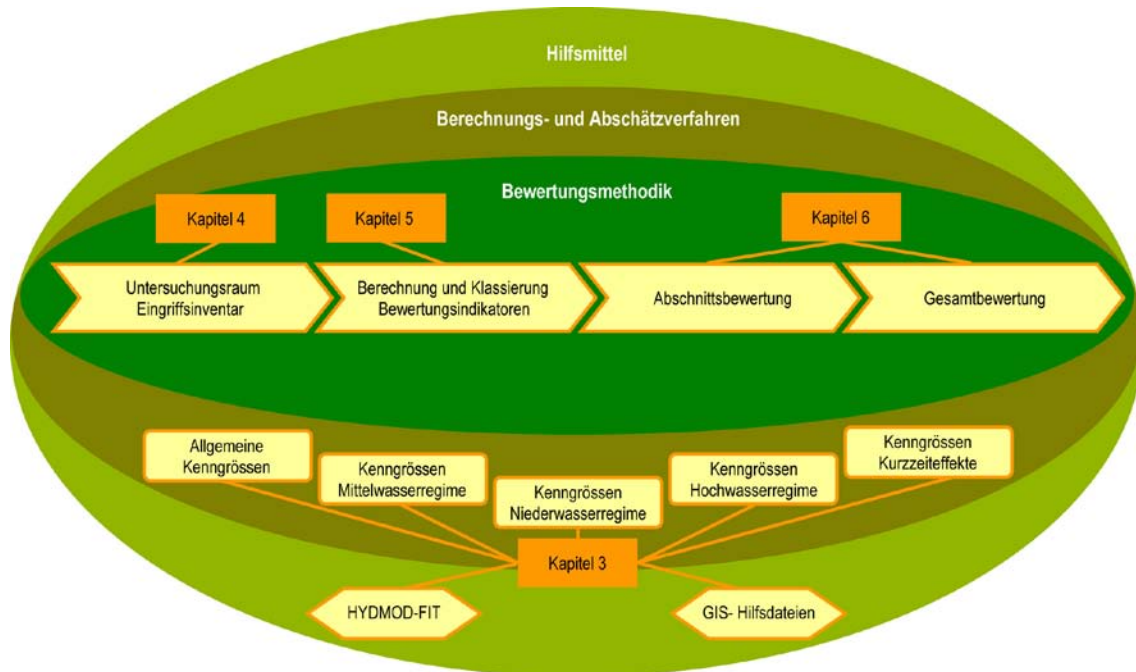
Anhang: Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen

Kernstück der Methode HYDMOD-F ist die eigentliche Bewertungsmethodik. Die Durchführung der Bewertung erfolgt in vier Hauptarbeitsschritten, aus denen unterschiedliche Produkte entstehen. Diese Arbeitsschritte sind in den Kapiteln 4–6 dieser Publikation beschrieben.

Kapitel 4–6: Bewertungsmethodik
mit vier Hauptarbeitsschritten

Die folgende Abbildung zeigt im Zentrum die vier Hauptarbeitsschritte der Bewertungsmethodik sowie die ebenfalls zur Verfügung gestellten Berechnungsanleitungen, Abschätzverfahren und Hilfsmittel. Zu Beginn der Kapitel 3–6 wird diese Leitgrafik wiederholt, wobei die Inhalte des Kapitels farblich hervorgehoben sind. Zudem werden die Produkte des jeweiligen Arbeitsschritts sowie die Anforderungen an den Anwender beschrieben.

Leitgrafik

Abb. 2 > Ablauf der Bewertungsmethodik und Hilfsmittel*Leitgrafik zur Orientierung im Bericht.*

1.6 Anwendung der Methode

Die Anwendung der Methode HYDMOD-F erfordert einen Anfangsaufwand, um sich mit der Methode, dem Vorgehen und den Hilfsmitteln vertraut zu machen. Anschließend hängt der Aufwand stark von der Anzahl und Komplexität der Eingriffe im Einzugsgebiet und der Datenverfügbarkeit ab.

Bearbeitungsaufwand

Der Aufwand für die Hauptarbeitsschritte der Methode kann grob wie folgt beschrieben werden:

- > Arbeitsschritt Untersuchungsraum, Eingriffsinventar: Der Aufwand für die Identifikation und Erfassung der Eingriffe und deren Betriebsweise sowie für die Daten- und Informationsbeschaffung ist gross.
- > Arbeitsschritt Berechnung und Klassierung Bewertungsindikatoren: Der Aufwand für das Bereitstellen der notwendigen hydrologischen Kenngrößen und weiterer Hilfsgrößen ist abhängig von der Datenverfügbarkeit, erfordert jedoch erfahrungsgemäss einen grossen Aufwand. Als eher gering wird der Aufwand für die Bewertung selber eingeschätzt.
- > Arbeitsschritt Abschnittsbewertung: Der Aufwand für die Abschnittsbildung und -bewertung sowie die Darstellung der Ergebnisse wird im Vergleich zu den oberen Arbeitsschritten als eher gering erachtet.
- > Arbeitsschritt Gesamtbewertung: Der Aufwand für die Gesamtbewertung ist klein.

Je nach Arbeitsschritt sind vertiefte Fachkenntnisse der Hydrologie, der Wasserwirtschaft und der Gewässerökologie vorteilhaft oder erforderlich. In den Einleitungen zu den Kapiteln 3 bis 6 sind die jeweils erforderlichen Fachkenntnisse bezeichnet.

Anforderungen an die Anwender

Über alle Arbeitsschritte hinweg ist der Einsatz eines geografischen Informationssystems (GIS) hilfreich, u.a. zur Bestimmung von Einzugsgebietsflächen und für die kartografische Darstellung der Ergebnisse.

2 > Konzept HYDMOD-F

Dieses Kapitel beschreibt die Grundsätze der Bewertungsmethodik und führt basierend auf der Definition des Abflussregimes die Bewertungsindikatoren ein.

2.1 Ziele und Grundsätze

HYDMOD-F 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. Es liefert als Ergebnis eine Aussage über den hydrologischen Zustand des Gewässersystems eines Einzugsgebietes.

Bewertung des hydrologischen Zustands

Mit dem Modul HYDMOD-F alleine kann nicht der ökologische Zustand eines Gewässers als solcher bewertet werden. Die ökologische Funktionsfähigkeit wird bestimmt durch die Einflussfaktoren Wasserqualität, Morphologie und Hydrologie. Der gesamt-ökologische Zustand ergibt sich aus deren Zusammenspiel, was sich dann seinerseits im biologischen Zustand manifestiert (und entsprechend mittels Bioindikatoren beurteilt werden kann, vgl. biologische Module des Modul-Stufen-Konzepts).

Beeinflussung des ökologischen Zustands durch weitere Faktoren

Das Ergebnis von HYDMOD-F kann daher mit der Bewertung des Natürlichkeitsgrads des Abflussregimes nur eine Aussage liefern, wie stark ein Fließgewässer aus rein hydrologischer Sicht in seiner ökologischen Funktionsfähigkeit gefährdet ist. Dies gilt trotz dem Umstand, dass bei der Auswahl der Bewertungsindikatoren ökologische Erwägungen berücksichtigt wurden und die Klassierungsregeln sich ebenfalls stark an ökologischen Kriterien anlehnen.

Keine abschliessende Aussage zur ökologischen Funktionsfähigkeit

Der hydrologische Zustand im Sinne des Natürlichkeitsgrades des Abflussregimes wird anhand einer Auswahl von Bewertungsindikatoren ausgewiesen. Bewertungsinhalt ist also die Naturnähe des Abflussregimes, Bewertungsgegenstand ist das Fließgewässernetz mit den einzelnen Gewässerabschnitten als Bezugsobjekte.

Bewertungsinhalt und -gegenstand

HYDMOD-F ist als Eingriffs-bezogener Ansatz ausgelegt. Die Ursachen von hydrologischen Beeinträchtigungen sind meistens punktuelle und direkte, wasserwirtschaftliche Eingriffe, die klar identifiziert werden können. Dies hat den Vorteil, dass die Erhebungen gezielt auf die Eingriffe und die davon betroffenen Gewässerabschnitte fokussieren können.

Eingriffs-bezogener Ansatz

2.2

Abgrenzungen

Bei der Anwendung von HYDMOD-F sind folgende Abgrenzungen zu beachten:

- > Die im Zuge der HYDMOD-F Anwendung berechneten hydrologischen Kenngrößen und Indikatoren sind Schätzwerte, welche Übersichten über die regionalen Verhältnisse liefern, deren Genauigkeit aber nicht den Anforderungen von Bemessungswerten oder einer Projektierungsgrundlage entsprechen. Insbesondere die zur Verfügung gestellten Schätzwerte aus Abflussregimetyp-spezifischen Auswertungen geben nur Größenordnungen an.

Genauigkeit
- > Die durch die Anwendung von HYDMOD-F gewonnenen Ergebnisse sind nicht als Ersatz konzipiert für andere hydrologische Analysen, wie etwa Abklärungen im Zustandsbericht im Rahmen der Generellen Entwässerungsplanung (GEP), bei Restwasserfestlegungen oder für Hochwasserbemessungsgrößen. Vielmehr können die im Zuge solcher hydrologischer Analysen gewonnenen Ergebnisse für HYDMOD-F verwertet werden oder durch HYDMOD-F ergänzt werden.

Anwendungsgebiet
- > Diffuse, indirekte Eingriffe (z. B. Landnutzungsänderungen, Drainagen) werden nicht berücksichtigt, da sie schwierig zu identifizieren sind. Zudem können Kollektivwirkungen (Überlagerungen in komplexen Systemen) und unscharfe und z. T. verzögerte Ursache-Wirkungsbeziehungen auftreten. Ebenso werden kleine Eingriffe nicht berücksichtigt, da ihre Wirkung häufig nicht oder nur schwierig quantifizierbar ist. Aus diesen Gründen wird der Aufwand für die Berücksichtigung diffuser sowie kleiner, direkter Eingriffe für eine Methode der Stufe F als unverhältnismässig erachtet.

Dies kann bei kleineren Gewässern dazu führen, dass negative Auswirkungen nicht erkannt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass solche Auswirkungen durch das proportional rasch zunehmende Einzugsgebiet nur kurze Gewässerabschnitte betreffen und damit dem regionalen Fokus einer Stufe-F-Methodik nicht gerecht werden.

Keine Berücksichtigung von diffusen und kleinen Eingriffen
- > Flussverbauungen werden im Rahmen von HYDMOD-F ebenfalls nicht beachtet, da diese zwar die hydraulischen Bedingungen verändern mögen, aber kaum hydrologische Veränderungen bewirken, abgesehen von einer möglichen Erhöhung der Hochwasserspitzen. Die Grösse der Hochwasserspitzen ist jedoch ökologisch weniger relevant als z. B. deren Häufigkeit (vgl. Kap. 2.5).

Keine Berücksichtigung von Flussverbauungen
- > Wegen dem Verzicht auf die Berücksichtigung kleiner sowie diffuser Eingriffe, wird die Anwendung für Einzugsgebiete «meso- (1–1000 km²) und makroskaliger (>1000 km²) Größenordnung empfohlen. Bei mikroskaligen (<1 km²) Einzugsgebieten gewinnen die kleinen und diffusen Eingriffe zunehmend an Bedeutung. Die Anwendungsgrenze der Methode wird daher bei Gewässern im unteren Mesoskalenbereich gesehen (ca. 2–5 km² Einzugsgebietsfläche).

Einzugsgebietsfläche

2.3 Klassierungsschema und Bewertungsmethodik

2.3.1 Klassierungsschema

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Stufe F sollen einen schnellen Überblick über wichtige Aspekte des Zustandes der Gewässer bzw. deren Beeinträchtigungen geben. Um dies zu erleichtern, wird in den verschiedenen Modulen soweit als möglich ein einheitliches Klassierungssystem zur Einstufung des Natürlichkeitsgrades eingesetzt.

Für das Modul HYDMOD-F wird das Klassierungsschema ergänzt mit einer Sonderklasse «ohne Bewertung», welche dann zur Anwendung kommt, wenn eine Veränderung des Abflussregimes vorliegt, aber eine Einstufung in eine der fünf Klassen aufgrund ungenügender Datengrundlage nicht möglich ist.

Klassierungsschema mit
Sonderklasse

Abb. 3 > Klassierungsschema: Bezeichnung und Farbcodierung der Klassen

Das Klassierungsschema zur Einstufung des Natürlichkeitsgrades des Abflussregimes basiert auf dem allgemeinen Klassierungsschema des Modul-Stufen-Konzeptes mit der ergänzten Sonderklasse «ohne Bewertung».

Klasse 1	blau	natürlich / naturnah
Klasse 2	grün	wenig verändert
Klasse 3	gelb	wesentlich verändert
Klasse 4	orange	stark verändert
Klasse 5	rot	naturfern
-	grau	ohne Bewertung

2.3.2 Bewertungsindikatoren

Die Bewertung des Abflussregimes erfolgt anhand einer Auswahl von Bewertungsindikatoren (vgl. Kap. 2.5). Diese werden in Kap. 5 definiert und beschrieben, wobei immer folgende Schritte unterschieden werden:

Definition Bewertungsindikatoren
und Klassierungsregeln

- > Herleitung und Definition des Bewertungsindikators und seiner Bewertungsgrößen.
- > Anleitung zur Berechnung der Indikatorwerte und weiterer Bewertungsgrößen (Hilfsgrößen für die Klassierung).
- > Klassierungsregel zur Zuordnung der Indikatorwerte in die Zustandsklassen.

Soweit als möglich basieren die Definitionen der Bewertungsindikatoren und die Klassierungsregeln auf folgenden, einheitlichen Überlegungen:

Überlegungen zu den Definitionen

- > Der Eingriffs-bezogene Ansatz von HYDMOD-F fokussiert auf die durch Eingriffe verursachten Veränderungen. Um das Ausmass der Veränderung feststellen zu können, braucht es eine Vergleichsbasis, also einen Referenzzustand.

- > Für die Definition der Grenzen zwischen den Bewertungsklassen sollen möglichst ökologische Erwägungen herangezogen werden.
- > Es kann nicht von einer linearen Beziehung zwischen prozentualer Abweichung vom Referenzzustand und ökologischer Bedeutung ausgegangen werden.
- > Wenn sich der veränderte Zustand einer hydrologischen Kenngrösse im Rahmen der natürlichen Variabilität derselben bewegt, kann nicht von einer starken Veränderung ausgegangen werden.

Wichtige Grundlagen für die Bewertung bilden also der Referenzzustand und die natürliche Variabilität.

2.3.3 Referenzzustand bezüglich Abflussregime

Die Methode HYDMOD-F stützt die Bewertung auf einem Referenzzustand ab, welcher bei den meisten Bewertungsindikatoren in die Klassierungsregel einfließt.

Eine solche Bewertung wird in verschiedenen Methoden der Stufe S des Modul-Stufen-Konzepts angewendet. Dabei wird als Referenzzustand ein Zustand angenommen, der sich unter den heutigen landschaftlichen Bedingungen einstellen würde, wenn sämtliche menschlichen Nutzungen im unmittelbaren Umfeld des Gewässers aufgegeben würden: der naturnahe Gewässerzustand in der vorgegebenen, land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft.

Referenzzustand als Basis
für die Bewertung

Referenzzustand als naturnaher
Gewässerzustand in der
vorgegebenen Kulturlandschaft

Abb. 4 > Einordnung Referenzzustand

Referenzzustand als naturnaher Gewässerzustand in der vorgegebenen Kulturlandschaft.



Der Referenzzustand entspricht also nicht einem Gewässer der ursprünglichen Naturlandschaft, die in Mitteleuropa praktisch nirgendwo mehr existiert. Vielmehr schließt der Referenzzustand grossräumige und irreversible Einflüsse des Menschen ein, wie z. B. die Veränderung der grossflächigen Landnutzung im Einzugsgebiet (z. B. grossflächige Waldrodungen, Trockenlegung von Sümpfen, Siedlungstätigkeit). Es wird davon ausgegangen, dass das derart veränderte Abflussregime die charakteristischen Grundzüge des natürlichen Zustandes im Wesentlichen enthält und damit dem Referenzzustand weiterhin entspricht.

Wenn jedoch massive Siedlungstätigkeit ein kleines Einzugsgebiet überwiegend prägt, kann nicht mehr von einem naturnahen Gewässerzustand ausgegangen werden. Weiter können Abweichungen vom Referenzzustand durch direkte, punktuelle und signifikante Eingriffe in das Fließgewässer entstehen.

Abweichungen vom
Referenzzustand

Einen besonderen Fall stellen Seeregulierungen und Flussumleitungen in Seen dar. Die Seeregulierungen reichen z. T. einige Jahrhunderte zurück und weisen unterschiedliche Veränderungsausmasse auf. Dasselbe gilt für die historischen Flussumleitungen in Seen (wie z. B. bei der Kander, der Linth und bei der Juragewässerkorrektur). Im Rahmen von HYDMOD-F sind diese Fälle als Referenzzustand anzusehen.

Historische Seeregulierungen und
Flussumleitungen als Referenz-
zustand

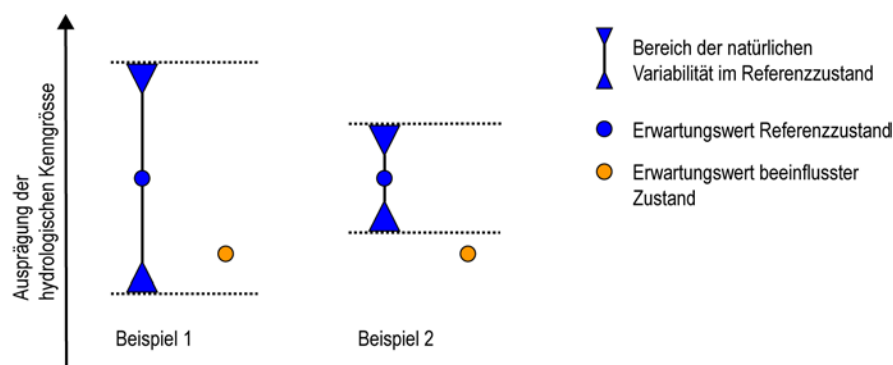
2.3.4 Natürliche Variabilität des Abflussregimes

Wie in Kap. 2.3.2 festgestellt wurde, spielt es eine Rolle, ob sich der veränderte Zustand einer hydrologischen Kenngröße im Bereich des natürlichen Erwartungswertes (= Mittelwert), innerhalb der natürlich vorkommenden Streuung (natürliche Variabilität) oder ausserhalb davon bewegt. Diese relative Lage des veränderten Abflussregimes im Verhältnis zu Lage und Streubereich des Referenzzustandes bildet die Basis für die Einteilung in die Zustandsklassen.

Rolle der natürlichen Variabilität

Abb. 5 > Natürliche Variabilität und relative Lage des beeinflussten Zustands

Trotz der gleichen absoluten Lage des Erwartungswerts im beeinflussten Zustand fällt die Bewertung von Bsp. 1 besser aus als von Bsp. 2. Ausschlaggebend ist dessen Abweichung vom Erwartungswert des Referenzzustands im Vergleich zum Bereich der natürlichen Variabilität. Auch beim beeinflussten Zustand ist eine Streuung zu erwarten. Diese wird jedoch im Rahmen von HYDMOD-F nicht berücksichtigt.



Die natürliche Variabilität der hydrologischen Kenngrößen wird je nach Charakteristik des Bewertungsindikators und in Abhängigkeit des Vorliegens etablierter ökologischer Kriterien direkt in der Definition des Indikators oder in der Klassierungsregel berücksichtigt. In den meisten Fällen wird das Variabilitätsmass durch den statistisch definierten Variationskoeffizienten ausgedrückt, in einigen Fällen auch durch Quantile (siehe Definitionen in Kap. 5).

Berücksichtigung
der natürlichen Variabilität

In Anbetracht des Klimawandels stellt sich auch die Frage nach der Stationarität (zeitliche Veränderungen von Erwartungswerten und Variabilitäten) des Referenzzustandes. Gemäss einer systematischen Untersuchung schweizerischer Abflussdatenserien (Birsan et al. 2005a/b) lassen sich in den alpin geprägten Einzugsgebieten in statistischem Sinne signifikante klimatisch bedingte Veränderungen feststellen. Gemäss dem aktuellen Klimabericht zur Schweiz (OcCC/ProClim 2007) sind weitere Veränderungen zu erwarten. Deren Ausmass bewegt sich aber im Bereich der Ungenauigkeit der in HYDMOD-F verwendeten Schätzmethoden und wird daher vernachlässigt.

Umgang mit klimatisch bedingten Trends

2.4

Definition Abflussregime

Unter dem Begriff Abflussregime wird das Abflussverhalten eines Fließgewässers verstanden. Es wird hauptsächlich durch die Milieufaktoren Klima, Relief, Vegetation und durch den hydrogeologischen Aufbau eines Gebietes gesteuert. Das Klima ist hierbei der wichtigste Einflussfaktor.

Abflussverhalten eines Fließgewässers

Das Abflussregime zeigt sich im Verlauf und der Ausprägung der Abflussganglinien. Dabei hat das Jahr als bestimmende Periode für die Abflussvorgänge eine herausragende Bedeutung. Aus der Ganglinie lassen sich verschiedene Kenngrößen ableiten, welche die hydrologischen Merkmale eines Gewässers charakterisieren. Folgende Größen stehen dabei im Vordergrund:

Hydrologische Merkmale

- > Grösse
- > Häufigkeit
- > Dauer
- > Zeitpunkt (Saisonalität)
- > Variabilität (Streuung der Merkmale von Jahr zu Jahr)
- > Veränderungsrate

Das Abflussgeschehen kann in die drei Teilregime Mittelwasserregime, Hochwasserregime und Niedrigwasserregime gegliedert werden. Die sie charakterisierenden Merkmale weisen eine unterschiedliche ökologische Bedeutung auf und können durch Eingriffe verändert werden. Zusätzlich werden anthropogen verursachte Kurzzeiteffekte betrachtet. HYDMOD-F unterscheidet deshalb folgende vier Teilbereiche des Abflussregimes:

HYDMOD unterscheidet vier Teilbereiche des Abflussregimes

- > Mittelwasserregime
- > Hochwasserregime
- > Niedrigwasserregime
- > Kurzzeiteffekte

Die in HYDMOD-F verwendete Definition des Abflussregimes ist deutlich weiter gefasst als die Definition der Abflussregimetypen, welche für die Schweiz von Aschwanden und Weingartner (1985) aufgestellt wurden und Auskunft über den durchschnittlichen Jahresgang der mittleren monatlichen Abflüsse geben. Diese Abflussregimetypen sind jedoch eine wichtige Grundlage für HYDMOD-F, indem sie bei fehlenden Daten für die Abschätzung des Referenzwertes beigezogen werden (siehe Kap. 3.3.1).

Die Abflussregimetypen der Schweiz

2.5

Auswahl der Bewertungsindikatoren

HYDMOD-F definiert neun Bewertungsindikatoren, welche die in Kapitel 2.4 definierten Teilbereiche des Abflussregimes abdecken. Diese Bewertungsindikatoren berücksichtigen den beeinflussten Zustand sowie den Referenzzustand und seine natürliche Variabilität. Oft handelt es sich beim Indikatorwert deshalb um eine relative Grösse, deren numerischer Wert alleine, abgesehen davon, dass er die Zuordnung in eine Zustandsklasse erlaubt, wenig aussagekräftig ist.

Bewertungsindikatoren

In die Berechnung dieser Bewertungsindikatoren fliessen diverse hydrologische Kenngrössen sowie einige Hilfsgrössen ein. Die hydrologischen Kenngrössen erlauben eine Charakterisierung des Abflussregimes.

Hydrologische Kenngrössen

Die Auswahl der Bewertungsindikatoren orientiert sich an verschiedenen Faktoren wie

Auswahl der
Bewertungsindikatoren

- > der ökologischen Aussagekraft des Indikators,
- > einer breiten Erfassung der Charakteristika des Abflussregimes,
- > dem Erfassen der Auswirkungen von in der Schweiz verbreiteten wasserwirtschaftlichen Eingriffen,
- > der Machbarkeit und der Aufwandbegrenzung der Auswertung.

Diese Erwägungen führten zu der in Tab. 1 aufgelisteten Auswahl an Bewertungsindikatoren und den dazu benötigten hydrologischen Kenngrössen.

Tab. 1 > Bewertungsindikatoren und benötigte hydrologische Kenngrössen

Die vier Teilbereiche des Abflussregimes und die zugehörigen Bewertungsindikatoren und hydrologischen Kenngrössen.

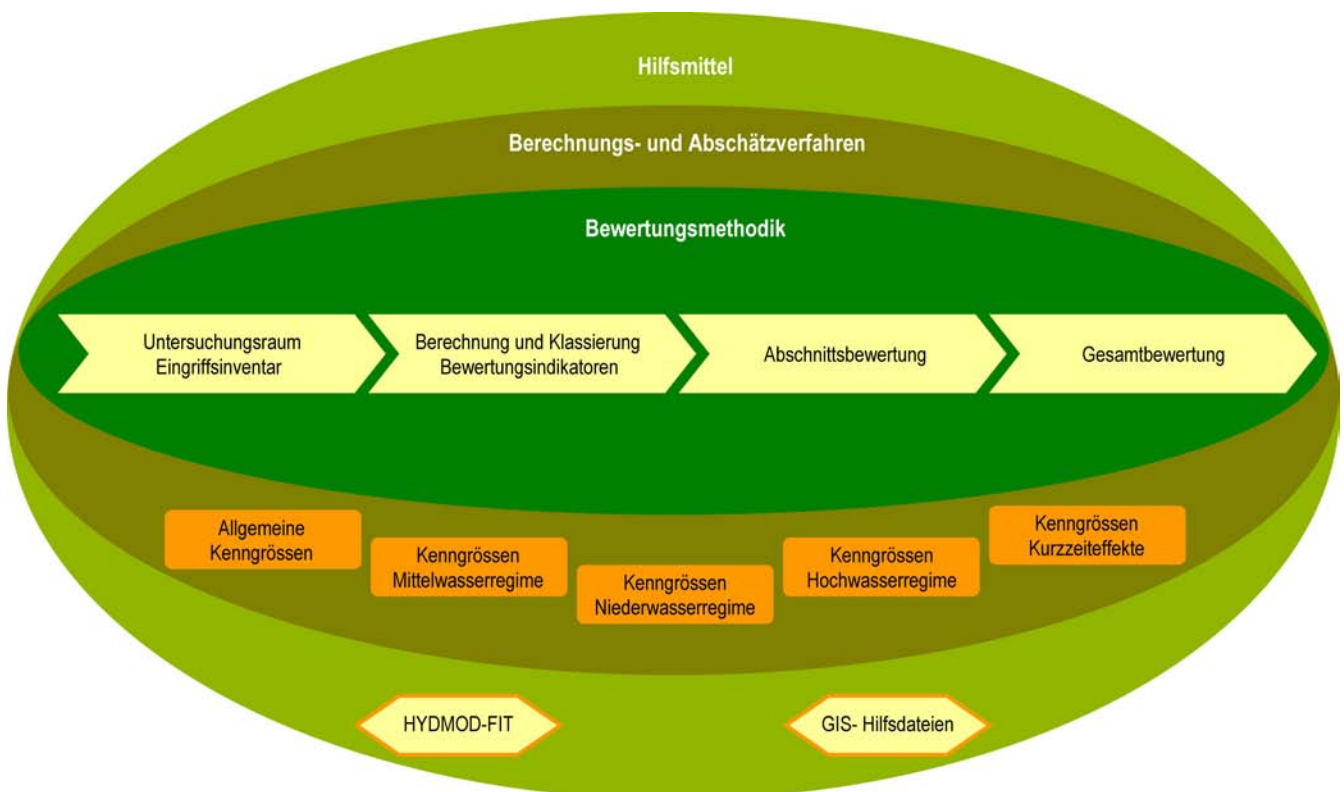
Bereich	Bewertungsindikatoren	Benötigte Hydrologische Kenngrössen
Mittelwasserregime	1 Mittelwasser-Abflussverlauf	Mittlere monatliche Abflüsse, Mittlerer jährlicher Abfluss, Pardéoeffizienten
Hochwasserregime	2 Hochwasserhäufigkeit 3 Hochwasser-Saisonalität	Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabfluss), Hochwasserschwellenwert, Mittlere Hochwasserhäufigkeit (Momentanabflüsse) Hochwasser-Saisonalität (Mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)
Niedrigwasserregime	4 Niedrigwasserabfluss 5 Niedrigwasser-Saisonalität 6 Dauer Niedrigwasserperioden	Niedrigwasserabfluss, Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss Niedrigwasser-Saisonalität (Mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität) Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode
Kurzzeiteffekte	7 Schwall/Sunk-Phänomen 8 Spülung und Entleerung 9 Regenwassereinleitungen	Schwallabfluss, Sunkabfluss, Schwall/Sunk-Verhältnis, Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk, Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk Spülabfluss, Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen, Pegelanstiegsrate Spülungen und Entleerungen Mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen (Momentanabflüsse)

3 > Berechnung hydrologische Kenngrößen

Dieses Kapitel definiert alle in den Bewertungsindikatoren verwendeten hydrologischen Kenn- und Hilfsgrößen und zeigt abhängig von der verfügbaren Datengrundlage alternative Berechnungsmöglichkeiten für die verschiedenen Größen auf.

Daneben werden mögliche Daten- und Informationsquellen aufgelistet, die verfügbaren elektronischen Hilfsmittel kurz vorgestellt sowie die Möglichkeiten zur Inter- und Extrapolation von Kenngrößen bei knapper Datengrundlage beschrieben.

Die Lektüre dieses Kapitels ist nicht zwingend erforderlich, falls durchgehend die elektronischen Hilfsmittel verwendet werden und vertiefte hydrologische Kenntnisse bereits vorliegen. Das Kapitel kann als Nachschlagewerk bei der Bearbeitung der Methodikschritte verwendet werden.



3.1 Daten- und Informationsquellen

Für die Anwendung der Methode HYDMOD-F werden viele verschiedene Daten zu den Eingriffen, zum Einzugsgebiet und zu den Abflussverhältnissen im Gewässer benötigt. Es wird empfohlen, mit einem geografischen Informationssystem (GIS) zu arbeiten, einerseits zur vereinfachten Bereitstellung einiger Eingangsdaten (z. B. Einzugsgebietsflächen), andererseits zur kartografischen Aufbereitung der Ergebnisse. Entsprechend ist bei der Datenbeschaffung darauf zu achten, dass möglichst viele Daten als Geodatenätze oder mit einer Georeferenzierung beschafft werden können.

Grosser Datenbedarf,
GIS als Hilfsmittel

Auf der Website des Modul-Stufen-Konzepts (www.modul-stufen-konzept.ch > Hydrologie) steht ein Verzeichnis wichtiger Datenquellen mit Links zu deren aktuellen Websites zur Verfügung. Das Gewässerinformationssystem Schweiz (GEWISS) beinhaltet verschiedene der im Folgenden aufgeführten Grundlagen und gewässerbezogene Daten. Es steht zur Verfügung unter <http://gewiss.admin.ch>.

Übergeordnete
Informationsquellen

Für die geografischen und gewässerbezogenen Basisdaten stehen folgende Datenquellen im Vordergrund:

Geografische Basisdaten

- > Topografische Karte in geeignetem Massstab, z. B. 1:25 000, 1:50 000 oder 1:100 000 (swisstopo)
- > Digitales Gewässernetz, z. B. Ebene Gewässernetz des Vector25 (swisstopo) oder ein detaillierteres Gewässernetz des Kantons
- > Geodatenatz zur Einzugsgebietsgliederung Schweiz (BAFU, verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Themen > Wasser > Hydrologische Grundlagen und Daten > Informationssysteme und Methoden > Einzugsgebietsgliederung Schweiz)
- > Digitales Höhenmodell für die Bestimmung der Einzugsgebiete, z. B. digitales Höhenmodell 1:25 000 (DHM25, swisstopo) oder digitales Terrainmodell der amtlichen Vermessung (DTM-AV, swisstopo)

Einen Überblick über Eingriffe geben folgende Datenbanken oder Karten des Bundes:

Eingriffs-bezogene Daten,
Überblick

- > Wasserentnahmen und -rückgaben: Restwasserkarte Schweiz (Kummer et al. 2007, verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Themen > Gewässerschutz > Restwasser > Restwasserkarte)
- > Wasserkraftwerke: Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (BFE, verfügbar unter www.bfe.admin.ch > Themen > Wasserkraft)
- > Kläranlagen: Karte Abwasserreinigungsanlagen der Schweiz (Stand 2005, verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Themen > Gewässerschutz > Abwasser > Kommunale Abwasserreinigung) und Datenbank Abwasserreinigungsanlagen der Schweiz (BAFU)
- > Grosse Stausseen: HADES Blatt 5.3

Detailliertere Daten zu den Eingriffen sind in folgenden Datenquellen enthalten:

- > Dossiers, behördliche Bewilligungen und Konzessionen oder allfällige kantonale Datenbanken zu Wassernutzung und -einleitung: z. B. Bezeichnung, Koordinaten, Höhe ü. M., Einzugsgebietsfläche, konzessionierte Entnahmemenge, Dotationsmenge, etc.
- > Allfällige kantonale Datenbank über Kläranlagen: z. B. Standort, Einleitstelle, hydraulische Dimensionierung, Q_{347} an der Einleitstelle
- > Generelle Entwässerungspläne (GEP) der Gemeinden oder Abwasserverbände: z. B. entwässerte Flächen, entsprechende Wassermengen, Einleitstellen ins Gewässer
- > Konzessionsdaten der Betreiber: z. B. Informationen zum Betrieb von Speichern, Kraftwerken und Entsandern.

Eingriffs-bezogene Daten,
detaillierte Daten

Ein Überblick über die Abflussmessstationen ist in HADES Blatt 5.1 enthalten. Weiter können folgende Quellen und Dokumente Abflussdaten enthalten:

Abflussdaten

- > Abflussdaten der Messstationen des eidgenössischen hydrometrischen Messnetzes (BAFU)
- > Abflussdaten der kantonalen Messstationen
- > Abflussdaten von Privaten, z. B. von Kraftwerksbetreibern oder anderen Konzessionären
- > Abflussdaten von Messkampagnen
- > Bereits existierende Studien und Berichte über den Untersuchungsperimeter: z. B. hydrologische Studien, wasserbauliche Projekte, Sanierungsbericht gemäss Gewässerschutzgesetz, GEP-Zustandsbericht Gewässer, Q_{347} -Abschätzungen für die Festlegung von Restwasserbestimmungen
- > Rasterdatensätze «Mittlere monatliche und jährliche Abflusshöhen» (Pfaundler und Zappa, 2006; verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Daten > Mittlere monatliche und jährliche Abflusshöhen)
- > HADES Blatt 5.4 (Natürliche Abflüsse) und 5.8 (Niedrigwasser)

Momentanwerte geben im Gegensatz zu gemittelten Werten (z. B. Stundenwerte, Tageswerte, Monatswerte) den aktuellen Abflusswert zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder. Werden sie in regelmässigen Zeitabständen mit hoher zeitlicher Auflösung (z. B. 10 min Werte) gemessen und aufgezeichnet oder wenn die Registrierung immer dann erfolgt, wenn sich der Abfluss merklich verändert, dann wird damit sichergestellt, dass durch eine solche Datenreihe der tatsächliche Abflussverlauf kontinuierlich abgebildet wird.

Momentanabflüsse

In der Praxis des Bundesamtes für Umwelt messen die Logger an den Stationen i. d. Regel 10 min lang mit hoher Frequenz und zeichnen dann den über dieses Zeitintervall gemittelten Wert auf. Aufgrund des kurzen Zeitintervalles können diese Werte als Momentanwerte verwendet werden.

Ergänzend oder bei lückenhafter Datengrundlage empfiehlt es sich, orts- und fachkundige Personen nach Angaben zur Lage und Art der Eingriffe sowie nach ihren Kenntnissen und Beobachtungen bezüglich der Betriebsweise oder der Wasserführung der Gewässer zu befragen.

Befragung von orts- und
fachkundigen Personen

Ergänzend zur vorliegenden Publikation werden zur Vereinfachung der Anwendung von HYDMOD ein EDV-Programm (HYDMOD-FIT) und GIS-Hilfsdateien zur Verfügung gestellt. Diese Hilfsmittel sind auf die Kenngrößen, Bewertungsindikatoren und Methodik der Publikation abgestimmt und können über die Website des Modul-Stufen-Konzepts (www.modul-stufen-konzept.ch > Hydrologie) bezogen werden.

HYDMOD-Hilfsmittel

Das EDV-Programm HYDMOD-FIT bietet folgende Funktionalitäten:

- > Erfassung von Messstationen und Berechnung der hydrologischen Kenngrößen aus Rohdaten (Tagesabflüsse und Momentanabflüsse).
- > Erfassung von Eingriffen und Berechnung sowie Klassierung der Bewertungsindikatoren unter Verwendung der Daten der Messstationen (direkte Übernahme, Interpolation, Extrapolation oder Abschätzung).
- > Erfassung von Gewässerabschnitten und deren Bewertung pro Bewertungsindikator, Aggregation zur Gesamtbewertung.
- > Reports zu allen Dateninhalten in tabellarischer und grafischer Form.
- > Exporte der für die kartographische Aufbereitung in einem GIS nötigen Daten und Resultate.

Die GIS-Hilfsdateien umfassen einen Symbolbaukasten (Layer-Dateien für ESRI-Software) und vorgefertigte Legenden für die kartografische Umsetzung der Eingriffs- und Staustreckeninventare sowie der Bewertungsergebnisse.

3.2 Datenverfügbarkeit und Berechnungsmöglichkeiten

3.2.1 Grundsätzliches

Abhängig von der Datenverfügbarkeit werden in den folgenden Kapiteln für die Berechnung oder Abschätzung der hydrologischen Kenngrößen verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt. Die Reihenfolge dieser Berechnungsmöglichkeiten ist auch als Priorisierung zu verstehen.

Priorisierung der
Berechnungsmöglichkeiten

- > In der Regel beruht die «Berechnungsmöglichkeit 1» auf der Auswertung von Messdaten, während die weiteren Möglichkeiten Grobabschätzungen sind.
- > Optimal ist, wenn für die Berechnung Messdaten an der Eingriffsstelle zur Verfügung stehen. Für die Berechnung des Referenzzustandes kommen Messdaten direkt oberhalb des Eingriffs oder Messdaten aus der Zeit vor dem Eingriff in Frage.
- > Die «Berechnungsmöglichkeit 1» ist wenn immer möglich vorzuziehen, auch wenn nur eine kurze Datenreihe vorliegt oder ein Datensatz mittels Inter- und Extrapolation oder Bildung einer virtuellen Datenreihe konstruiert werden muss.
- > Die Grobabschätzungen und anderen alternativen Berechnungsmöglichkeiten kommen zum Einsatz, wenn keine Daten-basierte Berechnung möglich ist oder – insbesondere bei unsicherer Datengrundlage – zur Plausibilisierung berechneter Kenngrößen.
- > Die Grobabschätzungen liefern meistens nur für den Referenzzustand Werte. Einige davon basieren auf dem Abflussregimetyyp, andere benötigen den Einsatz eines GIS.

Für die meisten Kenngrößen werden Abfluss-Tagesmittelwerte (Tagesabflüsse) als Rohdaten benötigt. Die Kenngröße Hochwasserhäufigkeit sowie die meisten Kenngrößen der Kurzzeiteffekte benötigen jedoch Momentanabflüsse als Rohdaten. Für die Berechnung wird folgender Datenumfang als ausreichend erachtet:

- > Beobachtungsperiode mindestens 5 Jahre für Kenngrößen des Mittelwasserregimes
- > Beobachtungsperiode mindestens 8–10 Jahre für Kenngrößen des Hochwasser- und Niedrigwasserregimes sowie der Kurzzeiteffekte (aufgrund höherer Variabilität).

Erfahrungsgemäss ist die Datenverfügbarkeit oft ungenügend. Die folgenden Unterkapitel enthalten deshalb Erläuterungen zu Bestimmungsansätzen für die benötigten Kenngrößen, wenn keine Messdaten am Ort des Eingriffs vorhanden sind. Einerseits ist einige Kreativität bezüglich der Datenbeschaffung und -aufbereitung von Nöten (siehe Kap. 3.2.3 und 3.2.4). Andererseits wird die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse zur Plausibilisierung der Ergebnisse empfohlen (siehe Kap. 3.2.5).

Benötigte Rohdaten und
Beobachtungsperiode

3.2.2 Inter- und Extrapolation

Stehen Messdaten an einer für die Eingriffsstelle repräsentativen Messstelle zur Verfügung, können die Kenngrößen anhand dieser Daten berechnet und anschliessend inter- und/oder extrapoliert werden. Konkrete Berechnungsmöglichkeiten sind in Anhang A4 vorgeschlagen.

Inter-/Extrapolation von
Kenngrößen

3.2.3 Generieren von virtuellen Datenreihen

Eine spezielle Form der Inter- oder Extrapolation ist das Generieren von virtuellen Datenreihen basierend auf Messdaten oberhalb oder unterhalb der Eingriffsstelle.

Je nach Situation kann es von Interesse sein, anstelle von bereits berechneten Kenngrößen die originale Datenreihe einer Messstelle zu inter- oder extrapolieren. Da diese Methode stark von der spezifischen Ausgangslage abhängig ist, wird das Vorgehen anhand eines Beispiels aufgezeigt.

Inter- oder Extrapolation von
Datenreihen

Steht oberhalb einer Eingriffsstelle eine unbeeinflusste Messstation zur Verfügung, so kann deren Datenreihe auf der Basis der einzelnen Tageswerte mit einer der in Anhang A4 beschriebenen Methoden extrapoliert werden. Somit stehen nun virtuelle Messdaten für den Referenzzustand zur Verfügung.

Beispielhaftes Vorgehen

Basierend auf dieser virtuellen Datenreihe des Referenzzustands können in einem zweiten Schritt die Auswirkungen des Eingriffs simuliert werden. Falls Betriebsdaten, z. B. entnommene tägliche Wassermengen, zur Verfügung stehen, können diese Werte direkt mit der Datenreihe des Referenzzustands kombiniert werden. Wenn nur Konzessionsdaten vorhanden sind, z. B. eine maximale Entnahmemenge und die Dotierwassermenge, so wird der Betrieb anhand dieser Vorgaben simuliert. An denjenigen Tagen, wo genügend Wasser vorhanden war, wird unter Beachtung der Dotierwasser-

menge die maximal mögliche Wassermenge entnommen. Dadurch wird eine zweite Datenreihe mit virtuellen Messdaten für den beeinflussten Zustand gewonnen.

Die beiden virtuellen Datenreihen für den Referenzzustand und den beeinflussten Zustand können nun für die Berechnung der benötigten hydrologischen Kenngrößen eingesetzt werden.

3.2.4 Umgang mit Situationen ohne Abflussdaten

Wenn keine Messdaten zur Verfügung stehen, die eine Inter- oder Extrapolation erlauben, so sollen andere Wege für die Quantifizierung der hydrologischen Kenngrößen geprüft werden. Mögliche Wege, allenfalls auch in Kombination, sind:

- > Für die Berechnung von Kenngrößen, welche die Kurzzeiteffekte beschreiben, können auch Eingriffs-bezogene Daten (Betriebsdaten, Konzessionsdaten, GEP-Daten) als Datengrundlage beigezogen werden.
- > Daten von befristeten Messkampagnen oder Studien und Projekte können Angaben zu verschiedenen Kenngrößen liefern.
- > Verwendung der Abflussregimetyt-spezifischen Auswertungen in Anhang A3.
- > Einbezug der Kenntnisse von Anlagebetreibern, Gemeindebehörden oder Anwohnern.
- > Eigene Erfahrung resp. Überlegungen basierend auf dem Systemverständnis (Zusammenwirken von natürlichen Gegebenheiten und den anthropogenen Eingriffen im Einzugsgebiet).

Je nach Eingriffstyp kommen andere Überlegungen und Abschätzungen anhand Betriebsdaten und Erfahrung in Frage. Falls beispielsweise keine Momentanabflüsse für die Berechnung der Hochwasserhäufigkeit vorliegen, kann wie folgt für eine grobe Quantifizierung vorgegangen werden:

- > Für den Eingriffstyp Speicherseen (C1) kann die Hochwasserhäufigkeit direkt über die empirische Kenntnis der Anzahl von Ereignissen mit Hochwasserentlastungen und typische Entlastungsmengen abgeschätzt werden.
- > Bei Wasserentnahmen (Eingriffstypen A1-A6) kann der Einfluss der Entnahme auf die Anzahl Hochwasserereignisse grob eingegrenzt werden, in dem das Schluckvermögen und damit die maximal mögliche Entnahmemenge mit dem Hochwasserschwellenwert Q^* verglichen wird. Ist das Schluckvermögen im Verhältnis zu Q^* klein, so kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss des Eingriffs auf die Hochwasserhäufigkeit gering ist.

Quantifizierungsmöglichkeiten
ohne Abflussdaten

Vorgehensbeispiel

3.2.5 Sensitivitätsanalyse

Unterschreitet der Stichprobenumfang der Abflussdatenreihen die oben empfohlenen Richtwerte für deren Dauer, wird mindestens eine Plausibilisierung mit aus anderen Berechnungsmöglichkeiten gewonnenen Schätzwerten empfohlen. Eine Plausibilisierung ist auch grundsätzlich bei der Verwendung aller Ansätze für Grobabschätzungen empfehlenswert. Die gilt besonders bei der Verwendung der Abflussregimetyt-spezifischen Auswertungen in Anhang A3. Diese Werte wurden anhand von Messdaten mittelgrosser Gewässer ermittelt und können daher für sehr kleine und sehr grosse oder für Grundwasser-gespiesene Gewässer unpassend sein.

Plausibilisierung mit alternativen
Berechnungsmöglichkeiten

Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse sind die Eingangsdaten im Bereich ihrer Unsicherheit zu variieren und die Auswirkung auf die Klassierung der einzelnen Bewertungsindikatoren zu prüfen. Die Gesamtbewertung ist anschliessend mit der wahrscheinlichsten Klassierung der einzelnen Bewertungsindikatoren zu rechnen. Der mögliche Schwankungsbereich der Gesamtbewertung kann wiederum anhand einer Variation der unsicheren Einzel-Klassierungen ermittelt werden.

Variierung der Eingangsgrössen

3.3 Allgemeine Kenngrössen

3.3.1 Abflussregimetyt

Aschwanden und Weingartner (1985) hatten anhand von Auswertungen von Referenzstationen 16 Abflussregimetyten definiert. Diese basieren auf dem saisonalen Verlauf des Mittelwasserabflusses, welcher durch die sogenannten Pardékoefizienten (siehe Kap. 3.4.3) beschrieben wird.

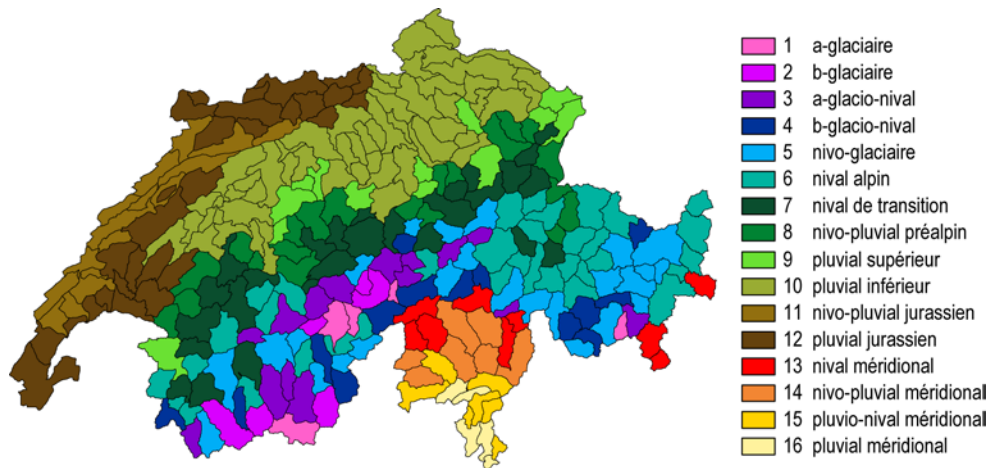
16 Abflussregimetyten basierend
auf Pardékoefizienten

Diese Auswertungen wurden durch das BAFU im Jahr 2004 aktualisiert und durch verschiedene Abflussregimetyt-spezifische Auswertungen hydrologischer Kenngrössen ergänzt (siehe Anhang A1). Die Ergebnisse dieser Auswertungen stehen in den Anhängen A2 und A3 sowie auf der Website des BAFU (www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Grundlagen und Daten > Informationssysteme und Methoden > Grobe Abschätzung hydrologischer Kenngrössen über den Abflussregimetyt) zur Verfügung. Sie liefern grobe Schätzwerte für den Referenzzustand. Damit sie genutzt werden können, muss der Abflussregimetyt bekannt sein.

Abflussregimetyt-spezifische
Auswertungen

Abb. 6 > Die Abflussregimetypen der Schweiz

Die Abflussregimetypen der Schweiz sind anhand der Bilanzgebiete der Schweiz (HADES, Tafel 1.2) dargestellt. Die Reihenfolge der Regimetypen und der entsprechenden Regime-Codes für die Typen 11 und 12 richtet sich nach der Originalarbeit von Aschwanden und Weingartner (1985) und weicht von der Reihenfolge im HADES, Tafel 5.2 ab.



Für die Bestimmung des Abflussregimetyps stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Für Einzugsgebiete in der Größenordnung von 1–500 km² kann der Abflussregimetyp basierend auf geografischen Kriterien eindeutig bestimmt werden. Eine Ausnahme bilden Einzugsgebiete, deren Abflussregime durch einen See wesentlich beeinflusst werden.

Bestimmung auf der Basis
geografischer Kriterien

Für die Bestimmung mittels geografischer Daten kommt das Ablaufdiagramm in Abb. 9 zur Anwendung. Folgende Eingangsdaten sind notwendig:

- > Zugehörigkeit des Einzugsgebiets zu Region I, II oder III gemäss Abb. 10
- > Zugehörigkeit des Einzugsgebiets zum Einzugsgebiet von Rhein, Rhone oder Inn (falls Region I)
- > Mittlere Einzugsgebietshöhe
- > Vergletscherungsgrad des Einzugsgebiets

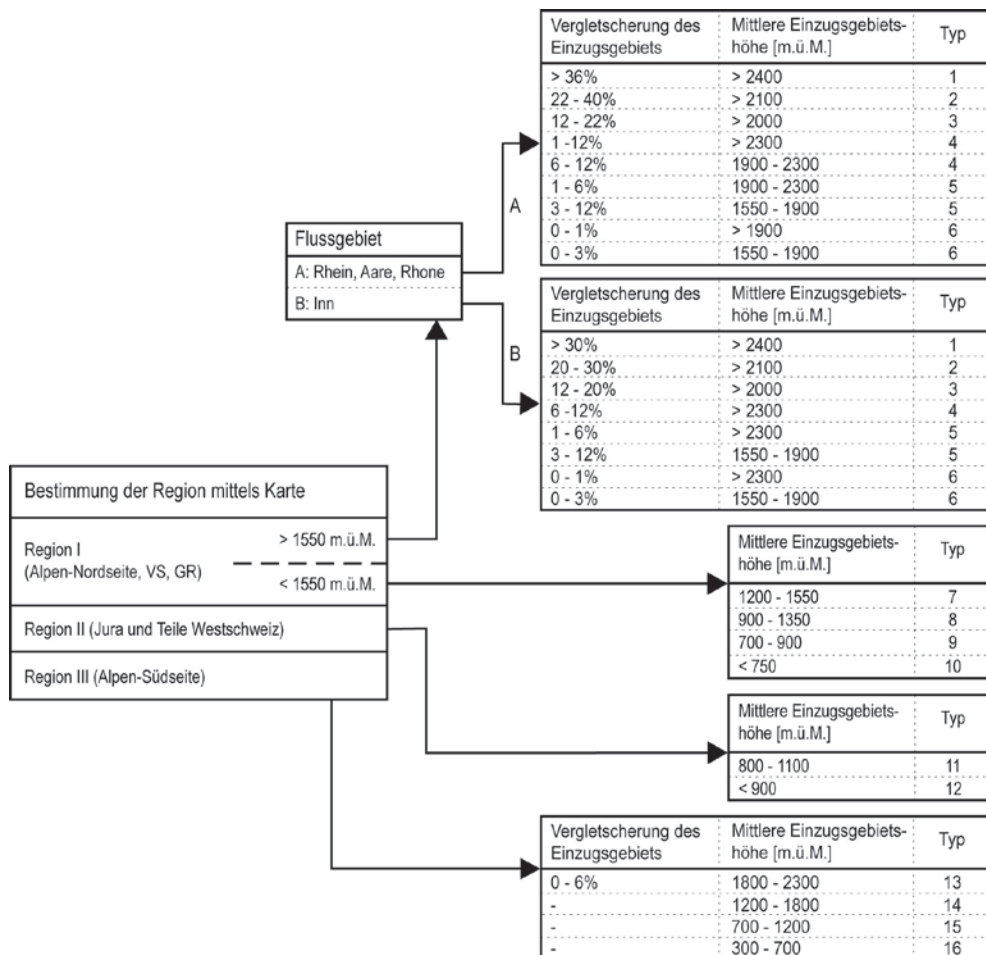
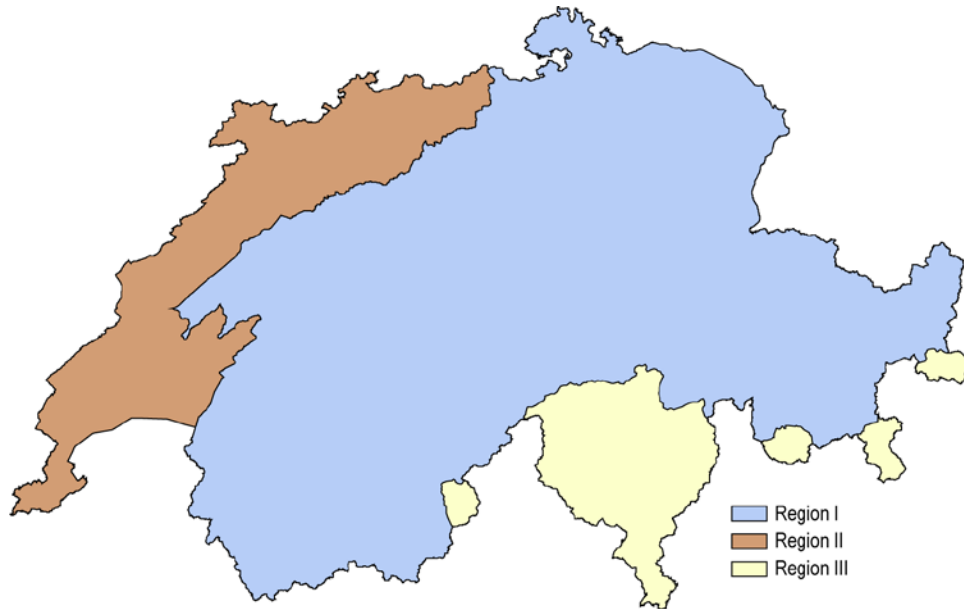
Abb. 7 > Ablaufdiagramm zur Bestimmung des Abflussregimetyps*Abflussregimetyp als Funktion von geografischen Kriterien.*

Abb. 8 > Regionen I, II und III für die Bestimmung des Abflussregimetyps*Karte zur Bestimmung der Regionszugehörigkeit eines Einzugsgebiets.*

Aus den erwähnten Abflussregimetyp-spezifischen Auswertungen stehen für jeden Abflussregimetyp in Anhang A2 der Erwartungs- und der Schwankungsbereich der Pardékoefizienten Pk_i (siehe Kap. 3.4.3) zur Verfügung. Falls Abflussmesswerte vorhanden sind, kann der am besten zutreffende Abflussregimetyp durch einen Vergleich der gemessenen Werte am Ort des Eingriffs mit diesen Referenzwerten bestimmt werden.

Abb. 9 zeigt beispielhaft den Erwartungs- und Schwankungsbereich der Pk_i -Werte eines Abflussregimetyps, wobei diese wie folgt definiert sind (für detailliertere Angaben siehe Anhang A2):

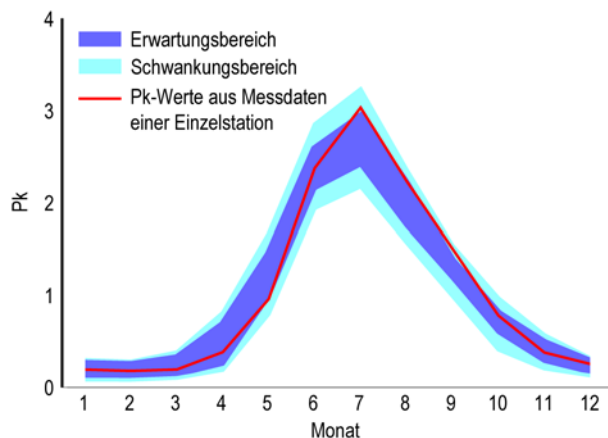
- > Erwartungsbereich: Der obere und untere Wert des Erwartungsbereiches entspricht dem minimalen resp. maximalen Pk_i -Wert (langjähriger Mittelwert) der Referenzstationen eines Regimetyps.
- > Schwankungsbereich: Aus den jährlichen Schwankungen der Pk_i -Werte werden das mittlere 25 %- und 75 %-Quantil eines Regimetyps bestimmt und der Erwartungsbereich um die Differenz dieser Werte zum langjährigen Mittelwert erweitert.

Für die Ermittlung des Regimetyps aus gemessenen Pk_i -Werten werden die Anzahl Treffer in den Abflussregimetyp-spezifischen Erwartungs- und Schwankungsbereichen über alle Monate gezählt. Dazu stehen in Anhang A2 die notwendigen Werte zur Verfügung. Eine eindeutige Bestimmung des Abflussregimetyps ist möglich, wenn für einen Abflussregimetyp sowohl die Anzahl Treffer im Erwartungsbereich als auch die Gesamttreffer im Erwartungs- und Schwankungsbereich um mindestens 2 grösser sind als bei allen anderen Abflussregimetypen (siehe Beispiel in Abb. 10).

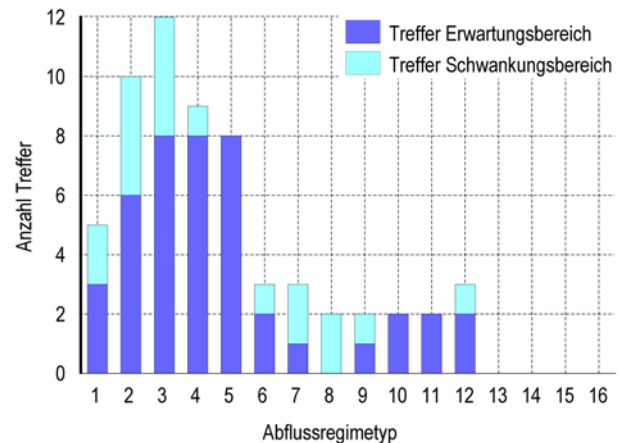
**Bestimmung Abflussregimetyp
aus Pk_i (nicht eindeutig)**

Abb. 9 > Erwartungs- und Schwankungsbereich P_k -Werte

Beispiel für den Verlauf der Erwartungs- und Schwankungsbereiche der P_k -Werte eines Abflussregimetyps sowie der Werte einer Einzelstation.

**Abb. 10 > Ermittlung Abflussregimetyps aus gemessenen P_k -Werten**

Das Beispiel zeigt eine nicht eindeutige Auswertung des Regimetyps. Typ 3 ist am wahrscheinlichsten, aber zu wenig abgegrenzt von Typ 4 und 5.



3.3.2 Niedrigwasser-, Mittelwasser-, Hochwasserbereich

Gemäss Kap. 2.4 unterscheidet HYDMOD-F zwischen den drei Teilregimen Mittelwasser-, Hochwasser- und Niedrigwasserregime. Bei einigen hydrologischen Kenngrössen und Bewertungsindikatoren wird entsprechend auf Mittelwasser-, Hochwasser- oder Niedrigwasserverhältnisse verwiesen.

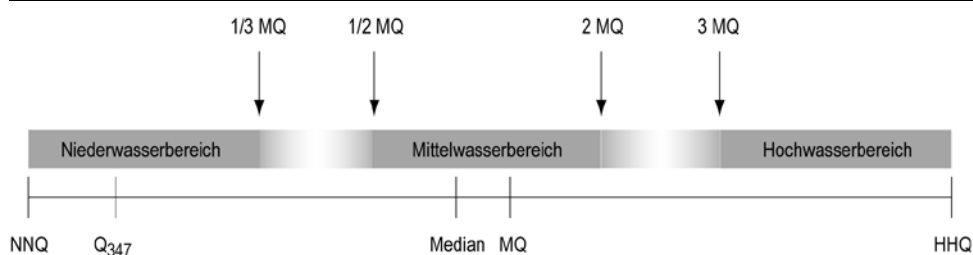
Abgrenzung von Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserbereich

Im Rahmen der Anwendung von HYDMOD-F wird vorgeschlagen, die entsprechenden Bereiche basierend auf dem mittleren jährlichen Abfluss MQ abzugrenzen. Zur Orientierung sind in Abb. 11 die folgenden Grössen eingeordnet:

- > NNQ: kleinster je gemessener Abfluss
- > HHQ: grösster je gemessener Abfluss
- > Q_{347} : Niedrigwasserabfluss

Abb. 11 > Abgrenzung von Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereich

Abgrenzung des Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereichs in Abhängigkeit von MQ.



3.3.3 Einzugsgebietsfläche

Die Einzugsgebietsfläche A_{EZG} entspricht der Grösse des natürlichen topografischen Einzugsgebiets einer Stelle des Gewässernetzes. Für die Anwendung von HYDMOD-F ist die Kenntnis der Einzugsgebietsfläche an diversen Stellen des Gewässernetzes notwendig (im Wesentlichen bei den Eingriffsstellen, Messstellen sowie den Einmündungen von Seitenbächen). Eine automatisierte Ermittlung der Einzugsgebietsflächen mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells (siehe auch Kap. 3.1) und einem GIS wird deshalb empfohlen.

Bestimmung mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells (GIS-Einsatz)

Die Bestimmung des Einzugsgebiets kann auch manuell aus topografischen Karten anhand des Verlaufs der Höhenkurven erfolgen. Anschliessend muss die Fläche berechnet werden.

Bestimmung aus topografischen Karten

In HADES sind auf verschiedenen Blättern Einzugsgebietsflächen angegeben, z. B. Blatt 1.2 (Basis-einzugsgebiete), Blatt 5.1 (Messstationen) und Blatt 5.8 (Niedrigwasser). Siehe auch den im Kapitel 3.1 aufgeführten Geodatenatz zur Einzugsgebietsgliederung Schweiz. Weiter können Projekte und Studien Angaben zu Einzugsgebietsflächen enthalten.

Bestimmung anhand vorhandener Unterlagen (z. B. HADES)

3.4 Kenngrößen Mittelwasserregime

3.4.1 Mittlere monatliche Abflüsse

Die **mittleren monatlichen Abflüsse** MMQ_i entsprechen den langjährigen Mittelwerten der Abfluss-Tagesmittelwerte jeweils eines Kalendermonats.

Definition

$$MMQ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n Q_{d,i,k} \quad \text{des Monats } i$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

$Q_{d,i}$ Abfluss-Tagesmittelwerte des Monats i

n Anzahl Messwerte

Hinweis: Es dürfen nur vollständige Monatsdatensätze verwendet werden.

Es stehen Rasterdatensätze (500 m x 500 m) mit den monatlichen Abflusshöhen MMQ_i für die ganze Schweiz zur Verfügung (Pfaundler & Zappa 2006). Mit Hilfe eines GIS kann der Mittelwert eines Einzugsgebiets bestimmt werden und durch Multiplikation mit der Fläche in monatliche Abflüsse umgerechnet werden.

Berechnungsmöglichkeit 2:
mit Schätzmethode (GIS-Einsatz)

$$MMQ_i = MMQ_{i,EZG,Raster} \cdot A_{EZG}$$

$MMQ_{i,EZG,Raster}$ Mittlere monatliche Abflusshöhe des Einzugsgebiets aus Rasterdaten des Monats i

A_{EZG} Einzugsgebietsfläche

$$MMQ_i = Pk_i \cdot MQ$$

MQ Mittlerer jährlicher Abfluss
Pk_i Pardékoefizient des Monats i

Berechnungsmöglichkeit 3:
aus anderen Kenngrößen

3.4.2 Mittlerer jährlicher Abfluss

Der **mittlere jährliche Abfluss MQ** ist der langjährige Mittelwert der Tagesmittelwerte des Abflusses vollständiger Kalenderjahre.

Definition

$$MQ = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n Q_{d,k}$$

Q_d Abfluss-Tagesmittelwerte
n Anzahl Messwerte

Hinweis: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden.

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Es steht ein Rasterdatensatz (500 m x 500 m) mit den Jahresabflusshöhen MQ für die ganze Schweiz zur Verfügung (Pfaundler & Zappa 2006). Mit Hilfe eines GIS kann der Mittelwert eines Einzugsgebiets bestimmt und durch Multiplikation mit der Fläche in den Jahresabfluss umgerechnet werden.

Berechnungsmöglichkeit 2:
mit Schätzmethode (GIS-Einsatz)

$$MQ = MQ_{EZG, \text{Raster}} \cdot A_{EZG}$$

MQ_{EZG, Raster} Mittlere Jahresabflusshöhe des Einzugsgebiets aus Rasterdaten
A_{EZG} Einzugsgebietsfläche

$$MQ = Mq_{\text{Regimtyp}} \cdot A_{EZG}$$

Mq_{Regimtyp} Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss eines Regimtyps (Median)
A_{EZG} Einzugsgebietsfläche

Berechnungsmöglichkeit 3:
Grobabschätzung
(über Abflussregimtyp)

Mq_{Regimtyp} kann in Abhängigkeit des Abflussregimtyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimtyp zur Verfügung.

Tab. 2 > Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss Mq [l/s·km²] pro Abflussregimtyp

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimtyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1).
Zusätzliche Angaben sind aus einer räumlichen sowie einer Box-Plot- Darstellung ersichtlich (Anhang A3, Abb. 38).

Regimtyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Median	51	61	54	48	43	42	49	36	27	16	21	16	52	51	35	31

3.4.3 Pardéoeffizienten

Die **Pardéoeffizienten** Pk_i beschreiben die relative monatliche Abflussverteilung. Sie widerspiegeln damit das saisonale Abflussmuster.

Der mittlere Pardéoeffizient des Monats i entspricht dem Verhältnis des mittleren monatlichen Abflusses des Monats i zum mittleren jährlichen Abfluss MQ .

Definition

$$Pk_i = MMQ_i / MQ$$

MMQ_i : Mittlerer monatlicher Abfluss für den Monat i
 MQ : Mittlerer jährlicher Abfluss

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus anderen Kenngrößen

Die Pk_i können in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden monatlichen Mittelwerte pro Abflussregimetyptyp zur Verfügung.

Berechnungsmöglichkeit 2:
Grobabschätzung (über
Abflussregimetyptyp)

Tab. 3 > Pk_i -Mittelwerte pro Abflussregimetyptyp

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimetyptyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Neben den Mittelwerten wurden auch Erwartungs- und Schwankungsbereiche ermittelt (Anhang A2).

Regimetyptyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Jan	0.07	0.13	0.18	0.24	0.21	0.33	0.44	0.59	0.96	1.14	1.07	1.39	0.29	0.33	0.52	0.91
Feb	0.06	0.12	0.17	0.2	0.2	0.34	0.52	0.71	1.11	1.33	1.21	1.52	0.25	0.31	0.46	0.9
Mar	0.07	0.17	0.21	0.2	0.26	0.49	0.81	1.06	1.27	1.3	1.45	1.54	0.29	0.56	0.72	0.99
Apr	0.17	0.37	0.46	0.4	0.62	0.99	1.44	1.65	1.25	1.16	1.61	1.28	0.59	1.26	1.48	1.14
Mai	0.76	1.08	1.35	1.41	1.69	2.16	1.9	1.59	1.03	1.05	1.07	0.95	1.79	2.18	1.8	1.33
Jun	2	2.19	2.44	2.68	2.64	2.29	1.73	1.34	1.12	1.02	0.85	0.84	2.49	1.73	1.42	1.09
Jul	3.21	2.86	2.58	2.34	2.15	1.61	1.34	1.12	0.94	0.77	0.64	0.55	1.79	0.99	0.86	0.81
Aug	3.09	2.52	2.04	1.58	1.6	1.15	1.08	0.97	0.79	0.67	0.51	0.35	1.22	0.73	0.55	0.74
Sep	1.61	1.46	1.25	1.2	1.1	0.89	0.85	0.79	0.84	0.69	0.64	0.48	1.13	1.18	1	0.92
Okt	0.57	0.57	0.67	0.85	0.71	0.7	0.66	0.7	0.7	0.75	0.77	0.75	1.04	1.36	1.45	1.21
Nov	0.19	0.29	0.37	0.51	0.48	0.58	0.66	0.8	0.89	0.96	1.02	0.97	0.7	0.91	1.13	1.15
Dez	0.11	0.19	0.23	0.33	0.29	0.43	0.56	0.66	1.11	1.17	1.19	1.42	0.39	0.44	0.59	0.82

3.5 Kenngrößen Hochwasserregime

3.5.1 Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabfluss)

Der **mittlere jährliche Hochwasserabfluss MHQ (Tagesabfluss)** ist der langjährige Mittelwert der Jahreshochwasserabflüsse, also des jeweils maximalen Abfluss-Tagesmittelwertes, der während eines Kalenderjahres auftritt.

Definition

$$MHQ = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n Q_{d,max,j}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

$Q_{d,max}$ Jahreshochwasserabfluss (maximaler Abfluss-Tagesmittelwert eines Jahres)

n Anzahl Jahre

Hinweis: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden.

MHQ kann als Mehrfaches von MQ abgeschätzt werden. Dazu stehen die Medianwerte der Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ (Verhältnis MHQ zu MQ, ausgewertet aus Tagesabflüssen) pro Abflussregimtyp zur Verfügung.

Berechnungsmöglichkeit 2:
Grobabschätzung (über
Abflussregimtyp)

$$MHQ = MQ \cdot k_{MHQ:MQ}$$

MQ Mittlerer jährlicher Abfluss

$k_{MHQ:MQ}$ Verhältnis MHQ zu MQ

Tab. 4 > Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] pro Abflussregimtyp (MHQ aus Tagesabflüssen)

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimtyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Zusätzliche Angaben sind aus einer räumlichen sowie einer Box-Plot-Darstellung ersichtlich (Anhang A3, Abb. 42).

Regimtyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Median	5.5	5.2	4.7	5.4	5.6	5.1	8.7	9.9	10.2	9.2	7.3	9.7	7.3	14.9	11.4	8.7

$$MHQ = MHq_{Regimtyp} \cdot A_{EZG}$$

Berechnungsmöglichkeit 3:
Grobabschätzung (über
Abflussregimtyp)

$MHq_{Regimtyp}$ Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss eines Regimtyps (Median)

A_{EZG} Einzugsgebietsfläche

$MHq_{Regimtyp}$ kann in Abhängigkeit des Abflussregimtyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimtyp zur Verfügung.

Tab. 5 > Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss MHq [l/s·km²] pro Abflussregimetyp (Tagesabflüsse)

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimetyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Zusätzliche Angaben sind aus einer räumlichen sowie einer Box-Plot- Darstellung ersichtlich (Anhang A3, Abb. 40).

Regimetyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Median	291	297	259	257	253	225	456	411	272	139	161	145	348	706	418	257

3.5.2 Hilfsgrösse Hochwasserschwellenwert

Die Hilfsgrösse **Hochwasserschwellenwert Q^*** bezeichnet die Abfluss-Größenordnung des Referenzzustands, bei der angenommen wird, dass Geschiebetrieb und Sohlenumlagerungen auftreten und damit die ökologisch wichtigen Aspekte eines Hochwassers gegeben sind.

Definition

$$Q^* = 0.6 \cdot MHQ_r$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus anderen Kenngrößen

MHQ_r: Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) des Referenzzustands

Hinweis: Für die direkte Berechnung aus Messdaten sind die Berechnungsmöglichkeiten MHQ anzuwenden.

3.5.3 Mittlere Hochwasserhäufigkeit (Momentanabflüsse)

Die **mittlere Hochwasserhäufigkeit f_{HQ} (Momentanabflüsse)** ist der langjährige Mittelwert der jährlichen Anzahl unabhängiger Hochwasserereignisse oberhalb des Hochwasserschwellenwertes.

Definition

$$f_{HQ} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (\text{Anzahl unabhängige } Q > Q^*)_j$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Q: Momentanabflüsse des Jahres j

Q^* : Hochwasserschwellenwert

n: Anzahl Jahre

Hinweis 1: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden.

Hinweis 2: Es dürfen nur unabhängige Ereignisse gezählt werden. Zwei Ereignisse gelten als unabhängig, wenn nach einem Ereignis der Hochwasserschwellenwert um mindestens die Hälfte unterschritten und frühestens 5 Tage danach der Hochwasserschwellenwert wieder überschritten wird.

Hinweis 3: Spütereignisse sollen nicht berücksichtigt werden, ausser es handelt sich um aus ökologischen Gründen verursachte künstliche Hochwasserereignisse (vgl. Beispiel Spöl in Aquatic Sciences (2003)).

3.5.4 Hochwasser-Saisonalität (mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)

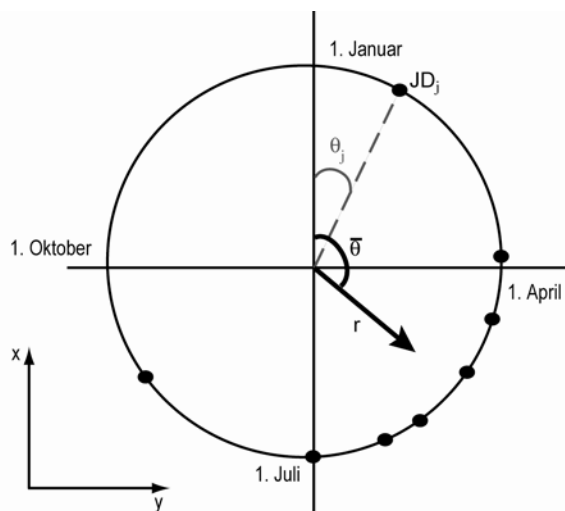
Die **Hochwasser-Saisonalität** bringt das zeitliche Verhalten des Jahreshochwassers zum Ausdruck und entspricht der Lage eines Punktes (Spitze eines Vektors) im sogenannten Saisonalitätskreis (Einheitskreis). Die Lage wird bestimmt durch das **mittlere Auftretensdatum** $\bar{\theta}_{HQ}$ des Jahreshochwasserabflusses als Winkel sowie durch dessen **zeitliche Variabilität** r_{HQ} als Länge des Vektors.

Die Koordinatenachsen des Saisonalitätskreises sind analog einer Uhr so gedreht, dass der 1. Januar (x-Achse) auf der Ordinate liegt (12 Uhr) und die übrigen Kalendertage im Uhrzeigersinn angeordnet sind (siehe Abb. 12).

Definition

Abb. 12 > Beispiel des Saisonalitätskreises

Das Auftretensdatum eines Einzelereignisses wird durch die Lage auf dem Einheitskreis resp. durch den entsprechenden Winkel θ des Einheitsvektors ausgedrückt. Durch die Addition der Einheitsvektoren resultiert die Saisonalität einer Stichprobe, welche einem Punkt (Spitze des resultierenden Vektors r) innerhalb des sogenannten Saisonalitätskreises entspricht. Der Winkel $\bar{\theta}$ des Vektors r drückt das mittlere Auftretensdatum aus, die Länge des Vektors r ist ein Mass für die Variabilität des Auftretensdatums.



$$\bar{\theta}_{HQ} = \arctan(\bar{y}/\bar{x}) \text{ für } \bar{x} > 0 \quad \bar{\theta}_{HQ} = \arctan(\bar{y}/\bar{x}) + \pi \text{ für } \bar{x} < 0$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

und

$$r_{HQ} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

Mit $\bar{x}$ und $\bar{y}$ als arithmetische Mittel der kartesischen Koordinaten der Einzelereignisse j , wie folgt:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sin(\theta_{HQ,j}) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \cos(\theta_{HQ,j}) \quad \theta_{HQ,j} = 2\pi \cdot JD_{HQ,j} / 365 \quad (0 \leq \theta_i \leq 2\pi)$$

JD_{HQ} Julianisches Datum (Tag im Jahr) des Auftretens des Jahreshochwasserabflusses $Q_{d,max}$ im Jahr j

θ_{HQ} Winkelmass des Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses $Q_{d,max}$ im Jahr j

n Anzahl Jahre

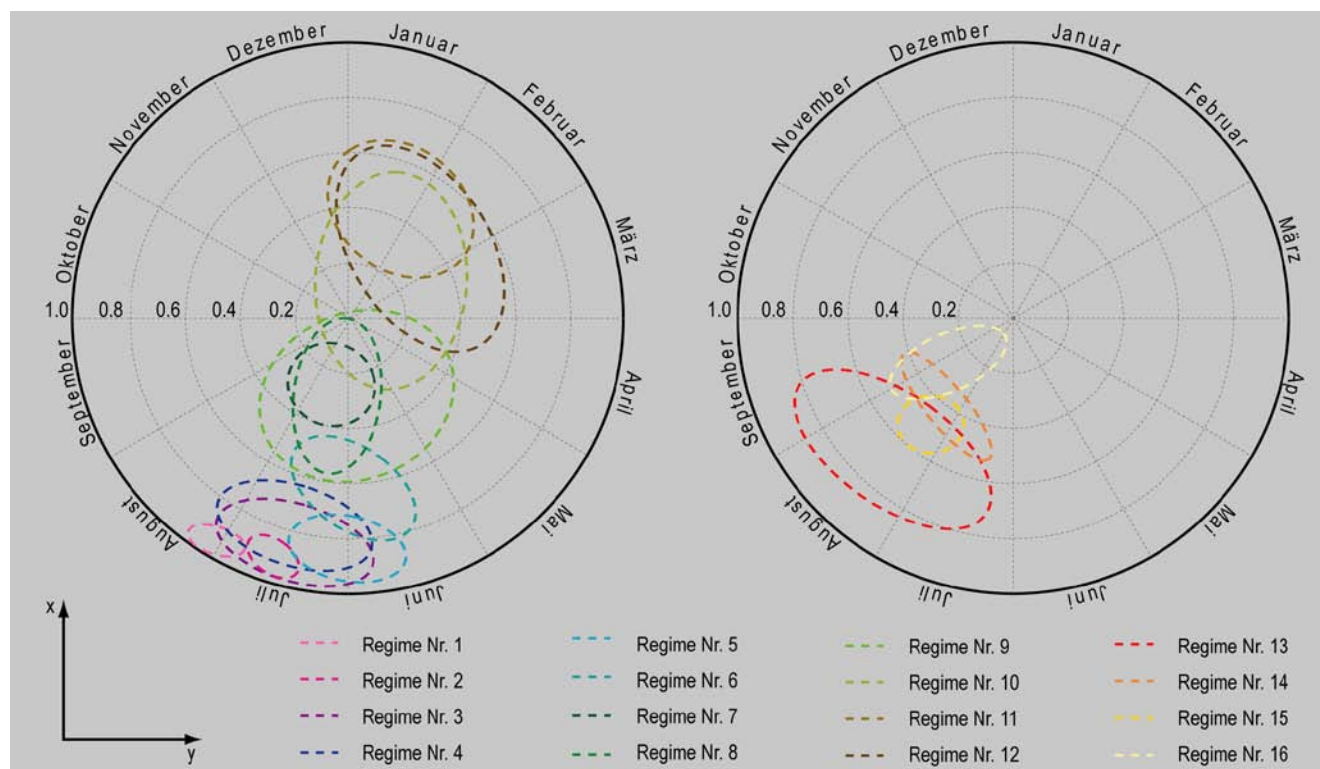
Hinweis: Ausführlichere Angaben zu den Berechnungen sind in Pfandl und Wüthrich, 2006 enthalten.

Die Hochwasser-Saisonalität als Lage eines Punktes im Saisonalitätskreis kann in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen entsprechende Auswertungen pro Abflussregimetypp zur Verfügung. Um die bestehenden Variationen zu berücksichtigen, wurde nicht ein Mittelwert ermittelt, sondern eine Zone im Saisonalitätskreis, definiert als kleinst mögliche Ellipse, welche 75 % der Werte der repräsentativen Abflussmessstationen eines Regimetyps umfasst. Abb. 13 zeigt diese 75 %-Quantilsellipsen pro Abflussregimetypp.

Berechnungsmöglichkeit 2:
Grobabschätzung (über
Abflussregimetypp)

Abb. 13 > Hochwasser-Saisonalität pro Abflussregimetypp

Links sind die 75 %-Quantilsellipsen der nordalpinen Regimetypen, rechts diejenigen der südalpinen Regimetypen dargestellt.



3.6 Kenngrößen Niedrigwasserregime

3.6.1 Niedrigwasserabfluss

Der **Niedrigwasserabfluss** Q_{347} entspricht dem Abfluss-Tagesmittelwert, der im zehnjährigen Mittel an 95 % der Tage, d. h. im Durchschnitt an 347 Tagen pro Jahr, erreicht oder überschritten wird.

Definition

$$Q_{347} = 5\% \text{-Quantil von } Q_d$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Q_d Abfluss-Tagesmittelwerte

Hinweis 1: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden. Gemäss Definition in BUWAL (2000) soll eine 10-jährige Datenperiode ausgewertet werden.

Hinweis 2: Spülereignisse sollen nicht berücksichtigt werden. Bei den Abfluss-Tagesmittelwerten von Tagen mit Spülereignissen soll der Anteil des Spülabflusses abgezogen werden.

Der Hydrologische Atlas der Schweiz (HADES) stellt auf Blatt 5.8 für den Ausfluss fast aller hydrologischen Bilanzgebiete der Schweiz sowie einiger Zwischenpunkte eine Abschätzung für Q_{347} zur Verfügung. Anhand der Karte in HADES-Blatt 5.8 kann eruiert werden, in welchem Bilanzgebiet das untersuchte Einzugsgebiet liegt. Anschliessend kann der Q_{347} -Wert (sowie die zugehörige Einzugsgebietsfläche, falls eine Inter- oder Extrapolation nötig ist) aus der Tabelle in HADES-Blatt 5.8 abgelesen werden.

Berechnungsmöglichkeit 2:
mit Schätzmethode (HADES 5.8)

$$Q_{347} = q_{347, \text{Regimtyp}} \cdot A_{\text{EZG}}$$

Berechnungsmöglichkeit 3:
Grobabschätzung (über
Abflussregimtyp)

$q_{347, \text{Regimtyp}}$ Spezifischer Niedrigwasserabfluss eines Regimtyps (Median)
 A_{EZG} Einzugsgebietsfläche

Das q_{347} kann in Abhängigkeit des Abflussregimtyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimtyp zur Verfügung.

Tab. 6 > Spezifischer Niedrigwasserabfluss q_{347} [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$] pro Abflussregimtyp

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimtyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Zusätzliche Angaben sind aus einer räumlichen sowie einer Box-Plot- Darstellung ersichtlich (Anhang A3, Abb. 46).

Regimtyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Median	3.2	5.1	6.5	6.4	7	7.5	6.8	4.8	4.1	4.4	4.4	2.7	8.4	5.5	5.2	9.2

3.6.2 Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss

Der **Variationskoeffizient des Niedrigwasserabflusses** $CV-Q_{347}$ ist eine Masszahl für die natürliche Variabilität von Q_{347} . Sie berechnet sich aus der Standardabweichung und dem Mittelwert der Q_{347} -Werte von Einzeljahren.

Definition

$$CV-Q_{347} = \frac{s(Q_{347,j}) \cdot 100}{\sum_{j=1}^n Q_{347,j} / n}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

s Standardabweichung
 $Q_{347,j}$ Niedrigwasserabfluss eines Einzeljahres j , d. h. der Tagesabfluss Q_d , der an 95 % der Tage erreicht oder überschritten wird
 n Anzahl Jahre
 Hinweis: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden.

Der $CV-Q_{347}$ kann in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimetyptyp zur Verfügung.

Berechnungsmöglichkeit 2:
Grobabschätzung (über
Abflussregimetyptyp)

Tab. 7 > Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss $CV-Q_{347}$ [%] pro Abflussregimetyptyp

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimetyptyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Zusätzliche Angaben sind aus einer räumlichen sowie einer Box-Plot- Darstellung ersichtlich (Anhang A3, Abb. 47).

Regimetyptyp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Median	22	19	19	13	18	22	30	35	38	30	37	38	19	38	34	21

3.6.3 Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode

Die **mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode** $d_{Q_{347}}$ entspricht dem langjährigen Mittelwert der jährlich längsten zusammenhängenden Niedrigwasserperiode, während der Q_{347} des Referenzzustands unterschritten wird.

Definition

$$d_{Q_{347}} = \sum_{j=1}^n d_{\max, Q_{347,j}} / n$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

$d_{\max, Q_{347}}$ Jährlich längste zusammenhängende Periode mit $Q_d < Q_{347,r}$ in Anzahl Tagen
 n Anzahl Jahre
 Q_d Abfluss-Tagesmittelwerte
 $Q_{347,r}$ Niedrigwasserabfluss im Referenzzustand
 Hinweis: Überschreitet eine Niedrigwasserperiode einen Jahreswechsel, so wird diese Periode nicht geteilt. Handelt es sich um die längste Periode, so wird sie dem Jahr, in dem sie begann, zugewiesen.

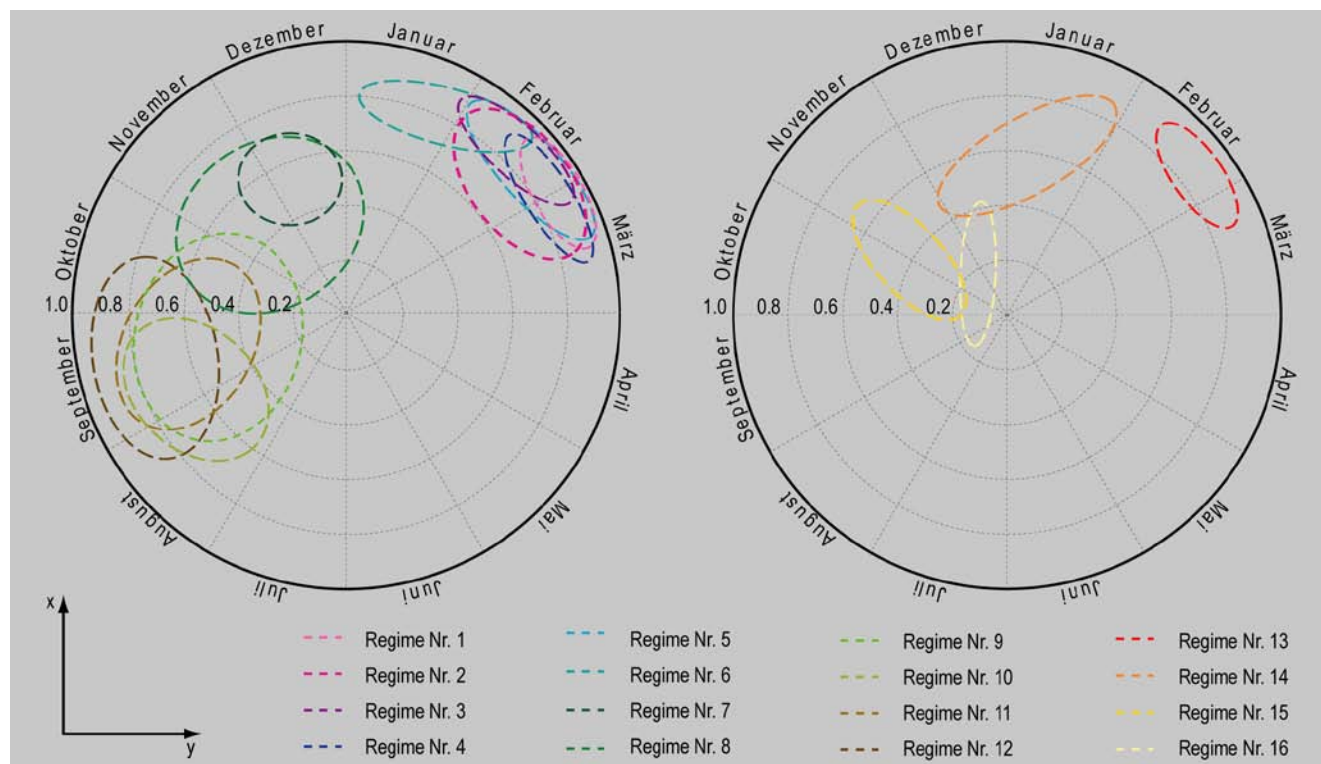
3.6.4 Niedrigwasser-Saisonalität (mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)

Die Definition und Berechnungsmöglichkeiten der Niedrigwasser-Saisonalität erfolgen analog der Hochwasser-Saisonalität (Kap. 3.5.4). Anstelle des Zeitpunkts (Auftretensdatum) des Jahreshochwassers wird der Zeitpunkt des Jahresniedrigwasserabflusses eingesetzt.

Abb. 14 enthält die 75 %-Quantilsellipsen pro Abflussregimetyp für die Niedrigwasser-Saisonalität.

Abb. 14 > Niedrigwasser-Saisonalität pro Abflussregimetyp

Links sind die 75 %-Quantilsellipsen der nordalpinen Regimetypen, rechts diejenigen der südalpinen Regimetypen dargestellt.



3.7 Kenngrößen Kurzzeiteffekte

3.7.1 Schwallabfluss

Der **Schwallabfluss** Q_{Schwall} entspricht einem repräsentativen Abfluss während der Schwallphasen.

Dieser repräsentative Abfluss wird als 80 %-Quantil der Abfluss-Tagesmaxima einer repräsentativen Stichprobe bestimmt.

Definition

$$Q_{\text{Schwall}} = 80\% \text{-Quantil von } Q_{\text{max}}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Q_{max} Abfluss-Tagesmaxima (aus Momentanabflüssen)

Hinweis 1: Die Abfluss-Tagesmaxima sollen aus einer Stichprobe von Momentanabflüssen von jeweils 10 Kalenderwochen bei Niedrigwasserverhältnissen in den dem aktuellen Betriebsregime am Besten entsprechenden fünf Jahren (i.d.R. den aktuellsten fünf Jahren) ermittelt werden.

Hinweis 2: Mit der Anwendung des 80 %-Quantils wird erreicht, dass sich der Wert am oberen Rand der Verteilung der täglichen Schwallspitzen (Abfluss-Tagesmaxima) orientiert, ohne durch extreme Einzelereignisse dominiert zu werden. Zudem wird auch der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten.

$$Q_{\text{Schwall}} = Q_{\text{Turbine}} + Q_{\text{Rest}}$$

Berechnungsmöglichkeit 2:
aus Betriebsdaten

Q_{Turbine} Schluckvermögen der Turbine(n) einer Kraftwerkszentrale

Q_{Rest} Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe (Summe aller Dotierwassermengen gemäss Konzessionen im Einzugsgebiet und Niedrigwasserabfluss Q_{347} des Zwischeneinzugsgebiets im Referenzzustand)

3.7.2 Sunkabfluss

Der **Sunkabfluss** Q_{Sunk} entspricht einem repräsentativen Abfluss während der Sunkphasen.

Dieser repräsentative Abfluss wird als 20 %-Quantil der Abfluss-Tagesminima einer repräsentativen Stichprobe bestimmt.

Definition

$$Q_{\text{Sunk}} = 20\% \text{-Quantil von } Q_{\text{min}}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Q_{min} Abfluss-Tagesminima (aus Momentanabflüssen)

Hinweis 1: Die Abfluss-Tagesminima sollen aus einer Stichprobe von Momentanabflüssen von jeweils 10 Kalenderwochen bei Niedrigwasserverhältnissen in den dem aktuellen Betriebsregime am Besten entsprechenden fünf Jahren (i.d.R. den aktuellsten fünf Jahren) ermittelt werden.

Hinweis 2: Mit der Anwendung des 20 %-Quantils wird erreicht, dass sich der Wert am unteren Rand der Verteilung der täglichen Sunkabflüsse (Abfluss-Tagesminima) orientiert, ohne durch extreme Einzelereignisse dominiert zu werden. Zudem wird auch der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten.

$$Q_{\text{Sunk}} = Q_{\text{Rest}}$$

Q_{Rest} Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe (Summe aller Dotierwassermengen gemäss Konzessionen im Einzugsgebiet und Niedrigwasserabfluss Q_{347} des Zwischeneinzugsgebiets im Referenzzustand)

Berechnungsmöglichkeit 2:
aus Betriebsdaten

3.7.3 Schwall/Sunk-Verhältnis

Das **Schwall/Sunk-Verhältnis** $V_{S/S}$ entspricht einem repräsentativen Verhältnis der Abflüsse während der Schwall- resp. der Sunkphasen. Dieses repräsentative Verhältnis wird als 80 %-Quantil der Verhältnisse von Abflusstagesmaximum zu Abflusstagesminimum einer repräsentativen Stichprobe bestimmt.

Definition

$$V_{S/S} = 80\text{-Quantil von } \left(\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \right)$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

$Q_{\max}$ Abfluss-Tagesmaxima (aus Momentanabflüssen)

$Q_{\min}$ Abfluss-Tagesminima (aus Momentanabflüssen)

Hinweis 1: Die Abfluss-Tagesmaxima und -Tagesminima sollen aus einer Stichprobe von Momentanabflüssen von jeweils 10 Kalenderwochen bei Niedrigwasserverhältnissen in den dem aktuellen Betriebsregime am Besten entsprechenden fünf Jahren (i. d. R. den aktuellsten fünf Jahren) ermittelt werden.

Hinweis 2: Pro Tag wird das Verhältnis Abfluss-Tagesmaximum zu -Tagesminimum gebildet und anschliessend das 80 %-Quantil der Verhältnisse bestimmt.

Hinweis 3: Mit der Anwendung des 80 %-Quantils wird erreicht, dass sich der Wert am oberen Rand der Verteilung der täglichen Verhältniswerte (Abfluss-Tagesmaximum zu Tagesminimum) orientiert, ohne durch extreme Einzelereignisse dominiert zu werden. Zudem wird auch der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten.

$$V_{S/S} = (Q_{\text{Turbine}} + Q_{\text{Rest}}) / Q_{\text{Rest}}$$

Berechnungsmöglichkeit 2:
aus Betriebsdaten

Q_{Turbine} Schluckvermögen der Turbine(n) einer Kraftwerkszentrale

Q_{Rest} Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe (Summe aller Dotierwassermengen gemäss Konzessionen im Einzugsgebiet und Niedrigwasserabfluss Q_{347} des Zwischeneinzugsgebiets im Referenzzustand)

3.7.4 Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk

Die **Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk** $PR_{Schwall}$ entspricht einer repräsentativen Maximal-Pegeländerungsrate im Übergang der Sunk- zur Schwallphase.

Die Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk wird als Median der täglichen Maximal-Pegeländerungsraten einer repräsentativen Stichprobe bestimmt.

Definition

$$PR_{Schwall} = \text{Median von } PR_{max} \text{ mit } PR_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{\Delta t}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

P_t Pegel zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)

PR_t Pegeländerungsrate zum Zeitpunkt t

PR_{max} Tagesmaxima der Pegeländerungsrate PR_t

Hinweis 1: Die Pegeländerungsraten sollen aus einer Stichprobe von Momentanwerten von jeweils 10 Kalenderwochen bei Niedrigwasserverhältnissen in den dem aktuellen Betriebsregime am Besten entsprechenden fünf Jahren (i.d.R. den aktuellsten fünf Jahren) ermittelt werden.

Hinweis 2: Mit der Anwendung des Medians wird erreicht, dass extreme Einzelereignisse nicht dominieren und der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten wird.

Hinweis 3: Die Bestimmung der täglichen Maximal-Pegeländerungsraten PR_{max} ist in Pfandler & Keusen (2007) illustriert.

3.7.5 Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk

Die **Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk** PR_{Sunk} entspricht einer repräsentativen Minimal-Pegeländerungsrate im Übergang der Schwall- zur Sunkphase.

Die Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk wird als Median der Absolutwerte der täglichen Minimal-Pegeländerungsraten einer repräsentativen Stichprobe bestimmt.

Definition

$$PR_{Sunk} = \text{Median von } |PR_{min}| \text{ mit } PR_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{\Delta t}$$

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

P_t Pegel zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)

PR_t Pegeländerungsrate zum Zeitpunkt t

PR_{min} Tagesminima der Pegeländerungsrate PR_t

Hinweis 1: Die Pegeländerungsraten sollen aus einer Stichprobe von Momentanwerten von jeweils 10 Kalenderwochen bei Niedrigwasserverhältnissen in den dem aktuellen Betriebsregime am Besten entsprechenden fünf Jahren (i.d.R. den aktuellsten fünf Jahren) ermittelt werden.

Hinweis 2: Mit der Anwendung des Medians wird erreicht, dass extreme Einzelereignisse nicht dominieren und der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten wird.

Hinweis 3: Die Bestimmung der täglichen Minimal-Pegeländerungsraten PR_{min} ist in Pfandler & Keusen (2007) illustriert.

3.7.6 Spülabfluss

Der **Spülabfluss** $Q_{\text{Spül}}$ ist der durch eine Spülung oder Entleerung typischerweise verursachte Mehrabfluss, also die Differenz zwischen Abflussspitze und Grundabfluss. Als typisch werden dabei die derzeitigen und zukünftig zu erwartenden Spülereignisse herangezogen.

Definition

$$Q_{\text{Spül}} = Q_{\text{Spül,max}} - Q_{\text{Grund}}$$

$Q_{\text{Spül,max}}$ Abflussspitze während den Spülungen

Q_{Grund} Grundabfluss vor Beginn der Spülung

Hinweis 1: Die Grössen Spülabfluss und Grundabfluss sind in Abb. 26 (in Kap. 5.9) illustriert.

Hinweis 2: Die Abflüsse müssen aus Abflussganglinien (Momentanwerte) ermittelt werden; Tagesmittelwerte genügen nicht.

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Abschätzung von $Q_{\text{Spül}}$ aus Betriebsdaten resp. aus Angaben der Konzessionsunterlagen.

Berechnungsmöglichkeit 2:
aus Betriebsdaten

3.7.7 Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen

Die **Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen** $f_{\text{Spül}}$ entspricht der mittleren jährlichen Anzahl Spülereignisse oder Entleerungen mit einem Abfluss, der gleich gross oder grösser ist als der Spülabfluss $Q_{\text{Spül}}$ gemäss Definition in Kap. 3.7.6.

Definition

Abschätzung von $f_{\text{Spül}}$ aus Betriebsdaten resp. aus Angaben der Konzessionsunterlagen.

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Betriebsdaten

3.7.8 Pegelanstiegsrate Spülungen und Entleerungen

Die **Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung** $PR_{\text{Spül}}$ entspricht einer typischen Maximal-Pegelanstiegsrate, die durch eine Spülung oder Entleerung verursacht wird. Als typisch werden dabei die derzeitigen und zukünftig zu erwartenden Spülereignisse herangezogen.

Definition

$$PR_{\text{Spül}} = \text{Maximum von } PR_t = \frac{P_t - P_{t-\Delta t}}{\Delta t}$$

P_t Pegel zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)
 PR_t Pegeländerungsrate zum Zeitpunkt t

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Abschätzung von $PR_{\text{Spül}}$ aus Betriebsdaten anhand der mittleren Steigung des Pegels vom Grundabfluss zur Abflussspitze.

$$PR_{\text{Spül}} = \frac{P_{\text{Spül,max}} - P_{\text{Grund}}}{t_{\text{Spül,max}} - t_0}$$

$P_{\text{Spül,max}}$ Pegelspitze während den Spülungen
 P_{Grund} Durchschnittlicher Pegel vor Beginn der Spülung, siehe Abb. 26 (in Kap. 5.9)
 $t_{\text{Spül,max}}$ Zeitpunkt der Pegelspitze während der Spülung
 t_0 Zeitpunkt des Beginns der Spülung

Berechnungsmöglichkeit 2:
Grobabschätzung aus
Betriebsdaten

3.7.9 Mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen (Momentanabflüsse)

Es ist hierbei zu beachten, dass diese Regenwassereinleitungen während Regenereignissen auftreten. Deshalb treten sie mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zeitgleich mit erhöhten Abflüssen im Vorfluter auf, wobei die Einleitung akzentuiert ist und damit zeitlich vor dem natürlichen Abflussanstieg erfolgen kann.

Die **mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen** f_E (Momentanabflüsse) drückt aus, wie oft es durchschnittlich pro Jahr durch Regenwassereinleitungen im Vorfluter zu Spitzenabflüssen oberhalb des Hochwasserswellenwertes kommt. Für die Bestimmung der Spitzenabflüsse im Vorfluter wird der Spitzenabfluss der Regenwassereinleitung zum mittleren jährlichen Abfluss des Vorfluters addiert.

Definition

$$f_E = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (\text{Anzahl Einleitungen mit } (MQ_{\text{Vorfluter}} + Q_E) > Q^*)_j$$

$MQ_{\text{Vorfluter}}$ Mittlerer jährlicher Abfluss des Vorfluters
 Q_E Spitzenabflüsse von Regenwassereinleitungen des Jahres j
 Q^* Hochwasserswellenwert (siehe Kap. 3.5.2)
 n Anzahl Jahre

Berechnungsmöglichkeit 1:
aus Messdaten

Abschätzung von f_E anhand Informationen zur Grösse und Häufigkeiten der Einleitungen aus den Entwässerungsanlagen aus den GEP.

Berechnungsmöglichkeit 2:
aus Betriebsdaten

Abschätzung von f_E anhand entsprechender Berechnungen gemäss GEP-Methodik in VSA (2002) oder mit dem Programm REBEKA gemäss Rauch et al. (2000). Dabei kann die Formel zur Berechnung der Regenwassereinleitung rückwärts aufgelöst werden nach der Jährlichkeit der Regenintensität $r_{D,T}$ für die geschätzte Konzentrationszeit (Dauer D).

$$f_E = 1/T \text{ mit } T \text{ von } r_{D,T} \text{ bei } D = \text{Konzentrationszeit und } r_{D,T} = (Q^* - MQ_{\text{Vorfluter}}) / (A_{\text{Entw}} \cdot \psi)$$

T	Jährlichkeit
$r_{D,T}$	Regenintensität für die geschätzte Konzentrationszeit D und die Jährlichkeit T; Ermittlung anhand Regenintensitätsanalysen, z. B. Regenintensitätskurven SN 640 350; HADES Tafel 2.4)
Q^*	Hochwasserswellenwert (siehe Kap. 3.5.2)
$MQ_{\text{Vorfluter}}$	Mittlerer jährlicher Abfluss des Vorfluters
A_{Entw}	Entwässerte Fläche
Ψ	Spitzenabflusskoeffizient

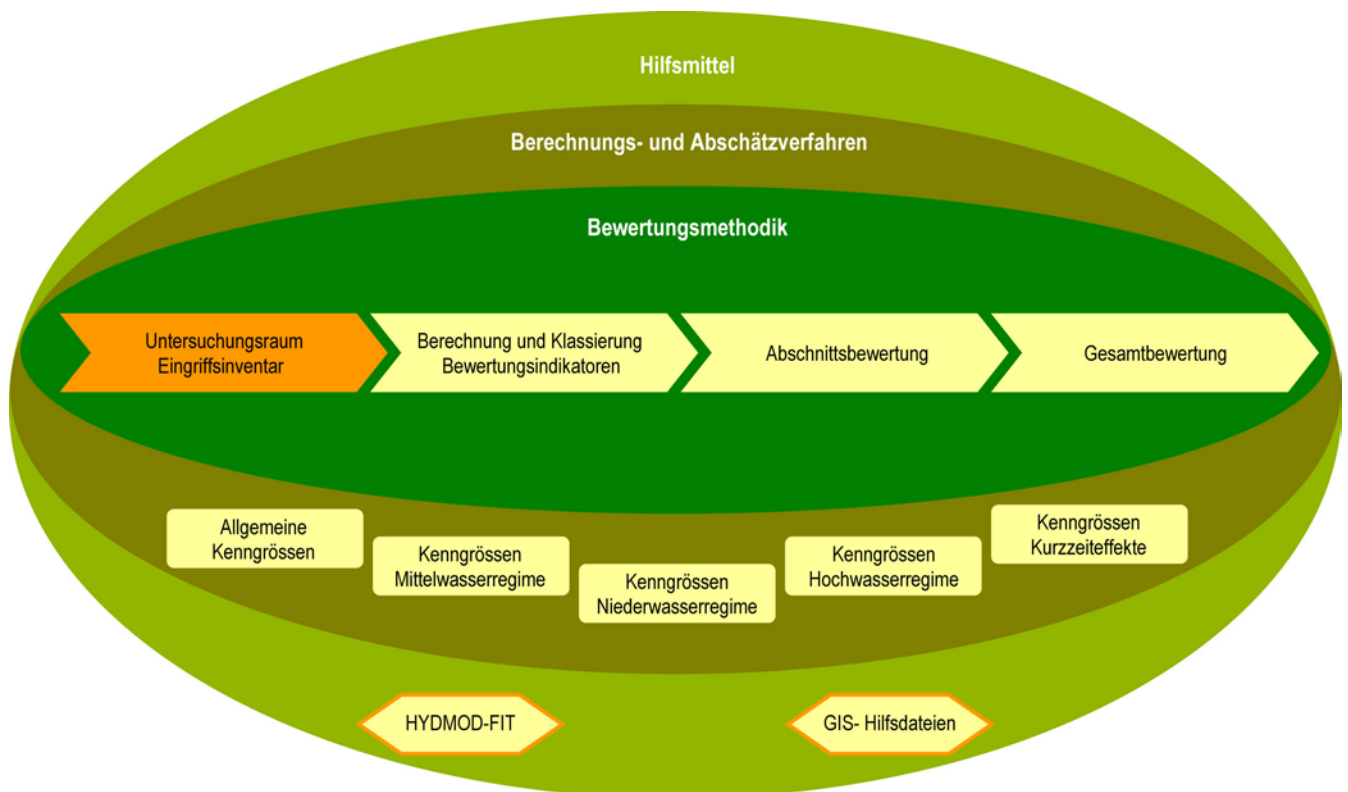
Berechnungsmöglichkeit 3:
gemäss GEP-Methodik

4 > Untersuchungsraum und Eingriffsinventar

Dieses Kapitel erläutert den Methodikschritt zur Abgrenzung des Untersuchungsraumes und zur Erstellung des Eingriffsinventars.

Als Resultat dieses Schrittes liegt ein Eingriffsinventar als Tabelle und Karte vor, worin alle Eingriffe enthalten sind. Diese werden unterschieden nach erheblichen Eingriffen, welche bestimmte Schwellenwerte überschreiten, und weiter nach signifikanten Eingriffen, deren Auswirkungen auf das Abflussregime der betrachteten Fließgewässer als signifikant beurteilt werden.

Dieser Methodikschritt sollte mit Hilfe des Kapitels ohne weitere vertiefte wasserwirtschaftliche und hydrologische Kenntnisse durchführbar sein.



4.1 Untersuchungsraum

In einem ersten Schritt wird der Untersuchungsraum festgelegt. Der Untersuchungsraum sollte sich idealerweise auf ein hydrologisch definiertes Einzugsgebiet (EZG) beziehen, welches sich auch über kantonale oder andere politisch-administrative Grenzen hinweg ziehen kann. Grund dafür ist, dass das Einzugsgebiet den Wirkungsraum von Eingriffen auf das Abflussregime darstellt.

Hydrologisches Einzugsgebiet
als Untersuchungsraum

Bei der Festlegung des Untersuchungsraumes ist darauf zu achten, dass durch die wasserwirtschaftlichen Eingriffe eine Verschiebung von Wasser über die natürlichen topografischen Einzugsgebietsgrenzen hinaus möglich ist.

Die eigentliche räumliche Bezugseinheit für die Bewertung ist das Gewässernetz, aufgeteilt in einzelne Abschnitte. Im Untersuchungsraum ist daher ein Gewässernetz als Grundlage festzulegen, auf das sich die Bewertung bezieht. Um die Bearbeitung zu erleichtern, wird die Verwendung eines digitalen Gewässernetzes empfohlen.

Gewässernetz als räumliche
Bezugseinheit

4.2 Identifizieren der Eingriffe

Für das Erstellen des Eingriffsinventars müssen in einem ersten Schritt alle Eingriffe mit potenziellen Auswirkungen auf das Abflussregime identifiziert und erfasst werden. Dazu sind die Angaben zu den im Rahmen von HYDMOD-F nicht berücksichtigten Eingriffen in Kapitel 2.2 zu beachten. In zwei weiteren Schritten werden die Erheblichkeit und die Signifikanz des Eingriffs geprüft (Kap. 4.3 resp. Kap. 4.4).

Im Rahmen von HYDMOD-F werden unter Eingriffen anthropogene Massnahmen baulicher oder betrieblicher Natur verstanden, welche Auswirkungen auf das Abflussregime haben. Die Mehrheit der Eingriffe sind Massnahmen aus dem Bereich der Wasserkraftnutzung und aus der Siedlungswasserwirtschaft. Aus diesen beiden Sektoren der Wasserwirtschaft resultieren in der Schweiz die grössten Veränderungen des Abflussregimes.

Eingriffe = wasserwirtschaftliche
Massnahmen

HYDMOD-F schlägt gemäss Tab. 8 eine Typisierung der Eingriffe vor, welche sich an der Art und dem primären Zweck des Eingriffs orientiert. Die später folgenden Arbeitsschritte gehen von dieser Kategorisierung aus. Kann ein Eingriff keinem Eingriffstyp zugeordnet werden, so ist es der Einschätzung des Anwenders überlassen, das Inventar entsprechend zu erweitern und eine Bewertung in Analogie zu den übrigen Eingriffen vorzunehmen.

Typisierung der Eingriffe

Es wird empfohlen, im Rahmen von HYDMOD-F auch Staustrecken mitzuerfassen. Diese verändern zwar nicht das Abflussregime an sich, jedoch den Fließcharakter und sollen deshalb inventarisiert aber nicht bewertet werden.

Inventarisierung von
Staustrecken

Tab. 8 > Eingriffstypen und -arten mit Erheblichkeits-Schwellenwert und Signifikanzkriterium

Das Signifikanzkriterium bezieht sich immer auf Q_{347} oder MQ des Referenzzustandes.

Code	Bezeichnung	Charakteristische Grösse	Erheblichkeits-Schwellenwert	Signifikanzkriterium
A Wasserentnahme (aus Oberflächengewässer)				
A1	Ab-/Über-/Umleitung zur Wasserkraftnutzung	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
A2	Trinkwasser-/Brauchwasserentnahme (kommunale, industrielle Nutzung)	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
A3	Kühlwasserausleitung	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
A4	Beschneigungsanlage	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
A5	landwirtschaftliche Bewässerung	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
A6	für fischereiwirtschaftliche Zwecke	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 20$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
B Wasserzufuhr / -einleitung (direkt in Oberflächengewässer)				
B1	Strassenentwässerung	A_{Entw} = entwässerte Fläche, Q_s = max. Abfluss	$A_{Entw} \geq 5$ ha	$Q_s : MQ > 25 \%$
B2	ARA-Auslauf	EW = Einwohnerwerte hydraulisch, Q_s = max. ARA-Auslaufmenge	≥ 500 EW	$Q_s : MQ > 25 \%$
B3	Regenwasserkanalisation (Trennsystem ohne Regenrückhaltebecken)	A_{Entw} = entwässerte Fläche, Q_s = max. Abfluss	$A_{Entw} \geq 15$ ha	$Q_s : MQ > 25 \%$
B4	Regenüberlaufbecken (Misch-/Trennsystem)	A_{Entw} = entwässerte Fläche, Q_s = max. Abfluss	$A_{Entw} \geq 25$ ha	$Q_s : MQ > 25 \%$
B5	Kühlwassereinleitung	Q_T = max. bewilligte Kühlwasserabflussmenge	$Q_T \geq 20$ l/s	Keines.
B6	Überleitung aus anderen Einzugsgebieten	$Q_{\bar{u}}$ = max. bewilligte Abflussmenge Überleitung	$Q_{\bar{u}} \geq 20$ l/s	$Q_{\bar{u}} : MQ > 10 \%$
B7	Rückgabe turbinirt Wasser (Triebwasser) aus Wasserkraftwerken mit Schwallbetrieb	$L_{installiert}$ = installierte Leistung, $Q_{Schwall}$ = Schwallabfluss	$L_{installiert} \geq 50$ kW	$Q_{Schwall} : MQ > 25 \%$
B8	Rückgabe turbinirt Wasser (Triebwasser) aus Wasserkraftwerken (aber nicht Typ B7)	Q_s = max. Abfluss aus Wasserkraftwerk	$Q_s \geq 20$ l/s	$Q_s : MQ > 25 \%$
C Wasserspeicherung und -regulierung (Änderung des zeitlichen Ablaufes)				
C1	Speicherseen für die Wasserkraft (Tages-/Wochen-/Jahresspeicher)	$Vol_{Speicher}$ = Speichervolumen bei Stauziel	$Vol_{Speicher} \geq 15\,000$ m ³	$Vol_{Speicher} > 12h \cdot MQ_{Speicherzuflüsse}$
C2	Mehrzweck- und andere Speicherseen (Bewässerung, Erholung, Beschneigung,...)	$Vol_{Speicher}$ = Speichervolumen bei Stauziel	$Vol_{Speicher} \geq 15\,000$ m ³	$Vol_{Speicher} > 12h \cdot MQ_{Speicherzuflüsse}$
C3	Ausflussregelungen von natürlichen Seen (Seeausflussregulierungen)	Vol_{See} = Seevolumen, A_{See} = Seefläche, $Vol_{Regulierung}$ = regulierbares Seevolumen bis HQ ₁	$A_{See} \geq 10$ ha oder $Vol_{See} \geq 25\,000$ m ³	$Vol_{Regulierung} > 12h \cdot MQ_{Seezuflüsse}$
C4	Hochwasser-Rückhaltebecken	$Vol_{Retention}$ = Retentionsvolumen	$Vol_{Ret.} \geq 10\,000$ m ³	$Vol_{Retention} > 1.5h \cdot MQ$
D Grundwasserbezogene Massnahmen				
D1	Entnahmen aus Quellen	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 15$ l/s	$Q_A : Q_{347} > 20 \%$
D2	Entnahmen von gepumptem GW	Q_A = max. bewilligte Entnahmemenge	$Q_A \geq 40$ l/s	Keines
D3	GW-Anreicherung	Q_s = max. bewilligte Einspeisemenge	$Q_s \geq 50$ l/s	Keines
E Spülungen und Entleerungen (Sedimentbewirtschaftung)				
E1	Staurationsspülungen	$Q_{Spül}$ = Spülabfluss, $f_{Spül}$ = Spülungen/Jahr	$Q_{Spül} > 150$ l/s	$f_{Spül}$ <10 <20 <40 >40 $Q_{Sp.} : MQ > 85 \% > 65 \% > 50 \% > 25 \%$
E2	Entsanderspülungen (Wasserfassungen, ARA etc.)	$Q_{Spül}$ = Spülabfluss, $f_{Spül}$ = Spülungen/Jahr	$Q_{Spül} > 150$ l/s	$f_{Spül}$ <10 <20 <40 >40 $Q_{Sp.} : MQ > 85 \% > 65 \% > 50 \% > 25 \%$

4.3

Feststellen der Erheblichkeit der Eingriffe

Für HYDMOD-F ist ein Eingriff erheblich, wenn er eine bestimmte Mindestgrösse überschreitet. Damit wird verhindert, dass für kleine, oft schlecht dokumentierte Eingriffe in den folgenden Arbeitsschritten grosser Aufwand betrieben werden muss. Mit dieser Vorausscheidung wird der Aufwand der Methodenanwendung reduziert. Dieses Vorgehen ist eine Konzession an die Anwendbarkeit der Methode. Dabei ist folgendes zu beachten:

- > Diese Vorausscheidung kann zur Vernachlässigung von lokal signifikanten Beeinträchtigungen (vgl. Kap. 4.4) führen, wenn kleine, als nicht erheblich eingestufte Eingriffe kleine Gewässer betreffen. Entsprechend ist die Anwendung der Methode für mikroskalige Gewässer nicht vorgesehen (vgl. Kap. 2.2).
- > Liegen mehrere gleichartige, für sich alleine nicht erhebliche Eingriffe räumlich nahe beieinander, so ist zu prüfen, ob sie zusammengefasst den Erheblichkeits-Schwellenwert überschreiten. Falls dies so ist, wird eine summarische Beurteilung der Eingriffe empfohlen. Die räumliche Nähe ist gegeben, wenn zwei Eingriffe am gleichen Gewässer liegen und das grössere Einzugsgebiet höchstens 15 % grösser ist als das kleinere.

Für jede Eingriffsart ist deshalb in Tab. 8 für eine charakteristische Grösse, z. B. die Entnahmemenge, ein entsprechender Schwellenwert festgelegt.

Beschränkung
auf erhebliche Eingriffe

Vernachlässigung
kleiner Gewässer

Bündelung
mehrerer kleiner Eingriffe

4.4

Feststellen der Signifikanz der Eingriffe

In diesem Arbeitsschritt wird im Sinne einer Immissionsbetrachtung festgestellt, ob das Ausmass des Eingriffs im relativen Bezug zu den natürlichen hydrologischen Bedingungen am untersuchten Gewässer signifikant ist. Die Signifikanzkriterien in Tab. 8 sind so aufgebaut, dass sie eine Grösse, welche den Eingriff charakterisiert, mit einer hydrologischen Kenngrösse des natürlichen Abflussregimes am Ort des Eingriffs ins Verhältnis setzen.

Wird das festgesetzte Signifikanzkriterium unterschritten, so wird angenommen, dass der Eingriff zu keiner signifikanten Beeinflussung des Abflussregimes führt und letzteres trotz dieses Eingriffs als Zustandsklasse 1 «natürlich/naturnah» eingestuft werden kann. Mit dieser Vorausscheidung von Eingriffen, die voraussichtlich zu keinen Beeinträchtigungen führen, wird der Aufwand der Methodenanwendung reduziert.

Liegen mehrere gleichartige, für sich alleine nicht erhebliche Eingriffe räumlich nahe beieinander, so ist zu prüfen, ob sie zusammengefasst das Signifikanzkriterium überschreiten. Falls dies so ist, wird eine summarische Beurteilung der Eingriffe empfohlen. Die räumliche Nähe ist gegeben, wenn zwei Eingriffe am gleichen Gewässer liegen und das grössere Einzugsgebiet höchstens 15 % grösser ist als das kleinere.

Signifikanz gemäss
Immissionsbetrachtung

Ausscheidung von Eingriffen
ohne Beeinträchtigung

Bündelung mehrerer kleiner
Eingriffe

Für die beiden grundwasserbezogenen Eingriffstypen D2 und D3 wurde kein Signifikanzkriterium definiert, da ihre Wirkung auf das Abflussregime indirekt ist. Ebenfalls kein Signifikanzkriterium gibt es beim Eingriffstyp B5 (Kühlwassereinleitung), weil es die Rückleitung einer vorherigen Ausleitung (Typ A3) ist und daher ab der Rückgabestelle das Abflussregime – abgesehen von der thermischen Veränderung – wieder unverändert ist. Eine weitergehende Bewertung dieser Eingriffstypen ist deshalb im Rahmen von HYDMOD-F nicht vorgesehen.

Ausnahmen

4.5

Tabelle und Darstellung Eingriffsinventar

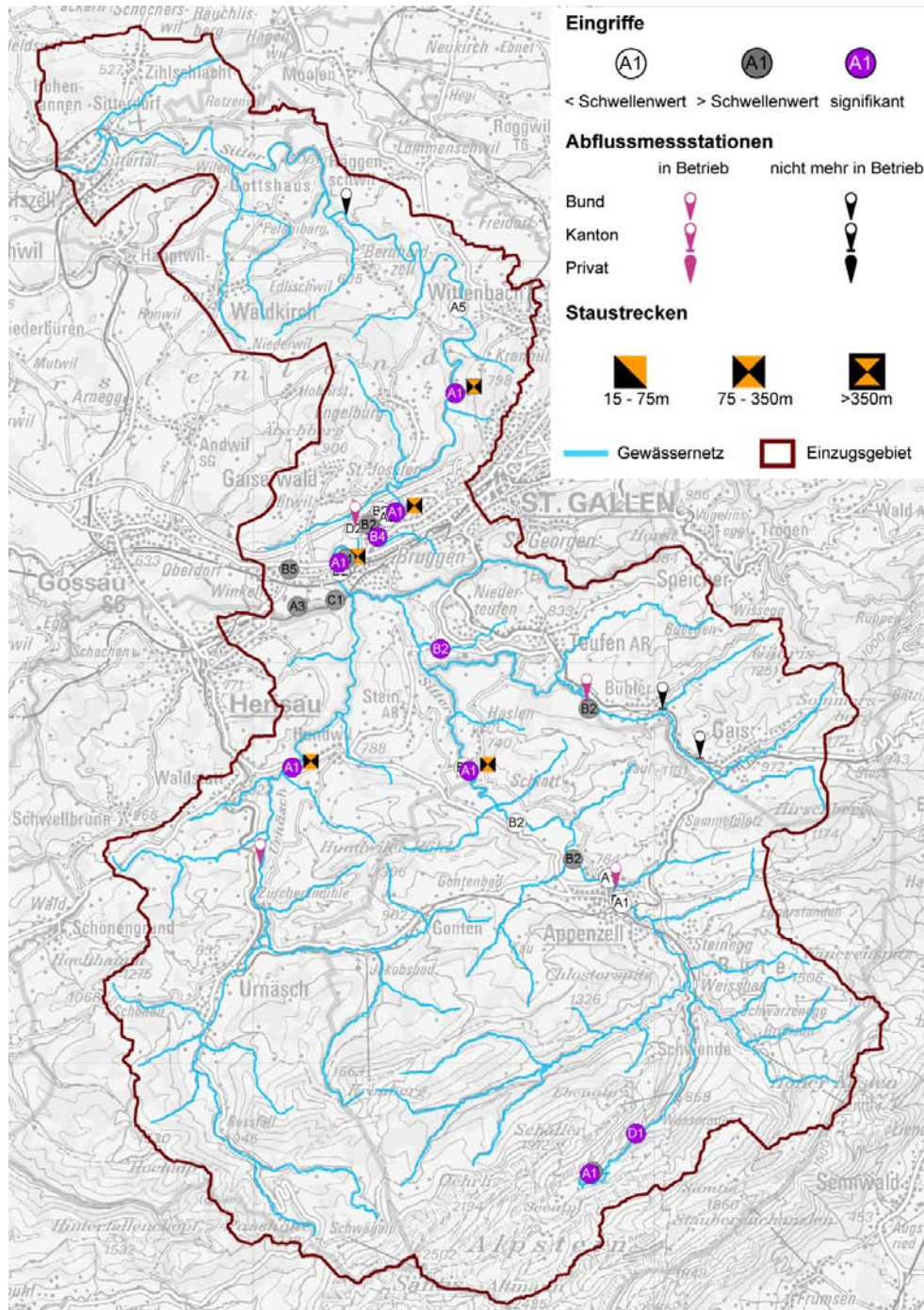
Im EDV-Programm HYDMOD-FIT können die Eingriffe im Sinne eines Inventars erfasst werden. Die Applikation schlägt pro Eingriffsart die zu erfassenden Informationen vor. Im Wesentlichen umfasst dies folgende Informationen:

HYDMOD-FIT als Hilfsmittel

- > Name / Bezeichnung des Eingriffs
- > Eingriffstyp
- > Charakteristische Größen je nach Eingriffstyp
- > Koordinaten und Höhe des Eingriffs [m ü.M.]
- > Einzugsgebietsfläche [km²] und mittlere Höhe des Einzugsgebiets [m ü.M.]
- > Betroffenes Gewässer
- > Abflussregimetyp

Für die kartografische Darstellung der Eingriffe lassen sich aus HYDMOD-FIT Datentabellen für den Import in ein GIS erstellen. Weiter stehen Symbolisierungsvorschläge zur Verfügung, welche auch die Ausweisung von Staustrecken und Messstationen vorsehen (siehe Beispiel in Abb. 15). Für ESRI-Software liegen Layer-Dateien und vorgefertigten Legenden vor.

Kartografische Darstellung

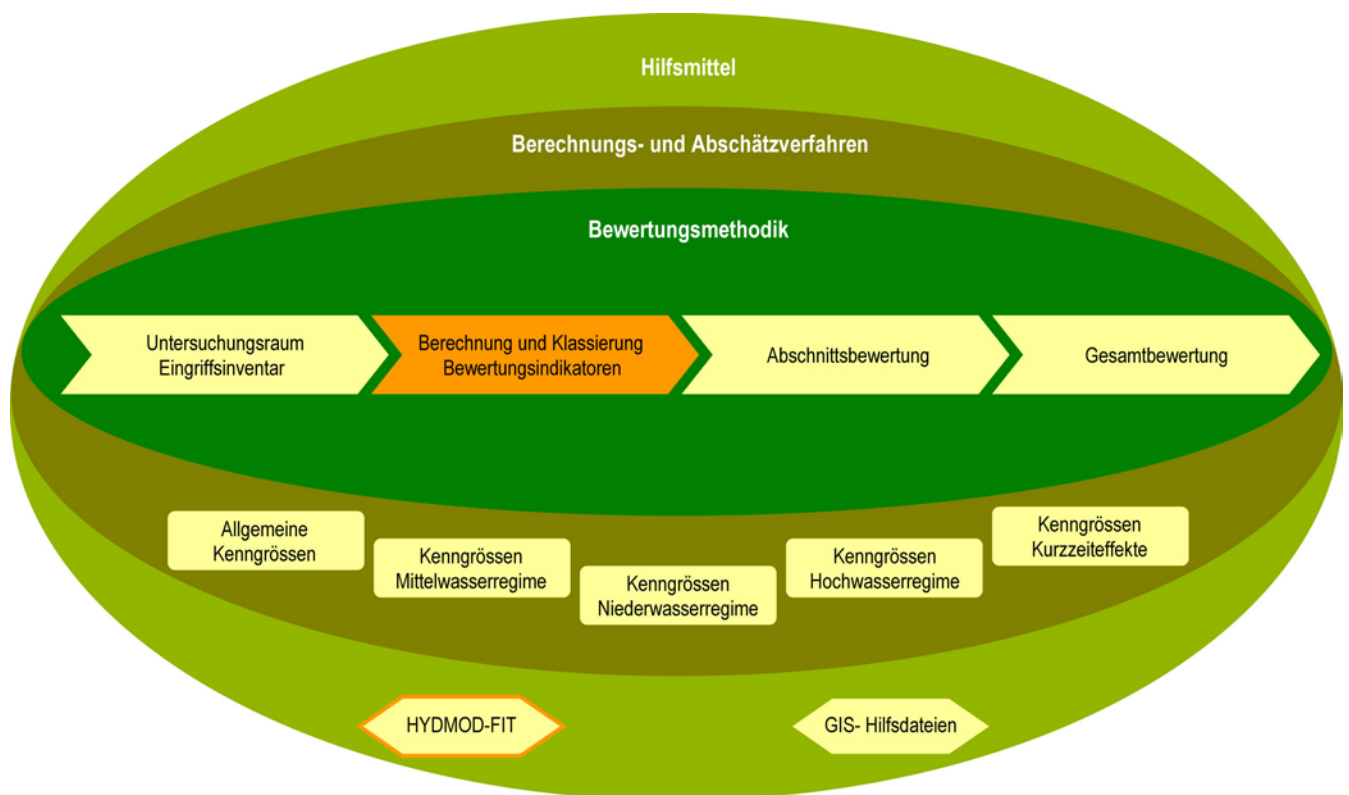
Abb. 15 > Kartografische Darstellung des Eingriffinventars*Eingriffskarte am Beispiel der Sitter, Kt. SG, AI und AR.*

5 > Berechnung und Klassierung der Bewertungsindikatoren

Dieses Kapitel erläutert den Methodikschritt zur Berechnung der Bewertungsindikatoren.

Als Resultat dieses Schrittes liegt eine Tabelle mit Punktbewertungen an den Eingriffsorten vor. Neun verschiedene Bewertungsindikatoren mit einer Unterteilung in jeweils fünf Bewertungsklassen – von naturnah bis naturfern – werden definiert. Je nach Eingriffsart müssen jeweils nicht alle neun Bewertungsindikatoren berechnet werden.

Für die Durchführung dieses Methodikschrittes sind vertiefte hydrologische Kenntnisse vorteilhaft.



5.1

Zu berücksichtigende Bewertungsindikatoren

Manche Eingriffe verändern nur einzelne Merkmale des Abflussregimes, andere zeigen bezüglich fast allen Bewertungsindikatoren Beeinträchtigungen. Um den Aufwand bei der Anwendung von HYDMOD-F zu beschränken, kann deshalb die Bewertung auf die Auswertung derjenigen Indikatoren eingeschränkt werden, bei denen Beeinträchtigungen erwartet werden. Entsprechend wird davon ausgegangen, dass die Bewertung der übrigen Bewertungsindikatoren in der Zustandsklasse 1 «natürlich/naturnah» liegt.

Einschränkung der Bewertung auf Indikatoren mit erwarteter Beeinträchtigung

Tab. 9 nimmt für jeden Eingriffstyp eine Einschätzung vor, welche Bewertungsindikatoren vermutlich beeinträchtigt werden. Dabei wird folgende Unterscheidung gemacht:

Angaben über erwartete Auswirkungen eines Eingriffs

- > x: Auswirkungen erwartet; zur Analyse empfohlen
- > (x): nur geringfügige Auswirkungen erwartet; nur in Ausnahmefällen zur Analyse empfohlen
- > (): indirekte Auswirkungen denkbar; im Rahmen von HYDMOD nicht zu berücksichtigen (siehe Kap. 4.4)

Tab. 9 > Erwartete Beeinträchtigung von Bewertungsindikatoren durch verschiedene Eingriffstypen

Die Codierung der Eingriffstypen entspricht Tab. 8.

Eingriffstyp	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1	E2
Mittelwasser-Abflussverlauf	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x			x				
Hochwasserhäufigkeit	x	x	x									(x)	x	x	x	x	x	x					
Hochwasser-Saisonalität	x	x	x				(x)	(x)	(x)			(x)	x	x	x	x	x	x				x	x
Niedrigwasserabfluss	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x	x		x	()	()		
Niedrigwasser-Saisonalität	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x	x		x	()	()		
Dauer Niedrigwasserperioden	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x	x		x	()	()		
Schwall/Sunk-Phänomen													x										
Spülung und Entleerung	x	x				x		x	x	x					x	x						x	x
Regenwassereinleitungen							x		x	x													

Die Angaben sind indikativ, d. h. es ist nicht auszuschliessen, dass ein konkreter Eingriff auch andere als die in der Tabelle angegebenen Auswirkungen hat. Falls eine spezielle Situation dies vermuten lässt, so sollten zusätzliche Indikatoren ausgewertet werden. Umgekehrt gibt es Situationen, wo für besondere Gewässertypen auf die Auswertung verzichtet werden kann. Beispielsweise sind bei dominant Grundwassergespiesenen Gewässern die Hochwasserindikatoren nicht aussagekräftig, weil natürlicherweise keine ausgeprägten Hochwasserereignisse vorkommen. Deshalb kann auf eine Auswertung der hochwasserbezogenen Bewertungsindikatoren verzichtet werden.

Situationsbezogene Auswahl der relevanten Indikatoren

Falls oberhalb des zu untersuchenden Eingriffs weitere Eingriffe liegen, so können deren Effekte an der untersuchten Eingriffsstelle immer noch spürbar sein. Sofern das Signifikanzkriterium dieser Eingriffe an der untersuchten Eingriffsstelle immer noch erfüllt ist, sollten auch die durch diese Eingriffe erwartungsgemäss betroffenen Indikatoren ausgewertet werden. In Situationen, bei welchen eine Wasserentnahme und die

Berücksichtigung oberhalb liegender Eingriffe

entsprechende Wasserrückgabe zeitlich und örtlich nahe erfolgen, kann bei der Wasserrückgabe die Bewertung von oberhalb der Wasserentnahme übernommen werden.

5.2 Mittelwasser-Abflussverlauf

5.2.1 Herleitung und Definition

Der Bewertungsindikator «Mittelwasser-Abflussverlauf» beschreibt die grundsätzliche Natürlichkeit der mittleren Abflüsse und ihres Jahresverlaufs. Es wird eine relative Grösse R hergeleitet, welche die Veränderungen des mittleren jährlichen Abflusses (MQ) sowie die saisonalen Verschiebungen der monatlichen Abflüsse (Pardékoefizienten Pk_i) zusammenfasst.

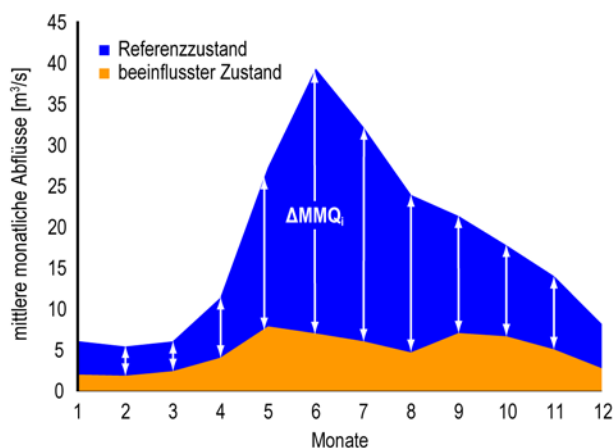
Herleitung

Veränderungen durch Eingriffe können einerseits aus saisonalen Verschiebungen (MQ bleibt gleich, aber die Pk_i verändern sich, z.B. durch Speicherung) andererseits aus einer Zu- oder Abnahme des Gesamtjahresabflusses (MQ ändert sich wegen Zu- oder Ableitungen, saisonales Muster bleibt aber gleich) oder aus einer Kombination resultieren. Abb. 16 zeigt ein Beispiel, wo durch wasserwirtschaftliche Eingriffe sowohl eine Verringerung von MQ als auch eine Veränderung des saisonalen Abflussverhaltens aufgetreten ist.

Die ökologische Bedeutung liegt einerseits in den Veränderungen der Ausdehnung des Gewässerlebensraums im Jahresverlauf. Andererseits kann eine Abnahme des Gesamtjahresabflusses die Verdünnung von Schmutzstoffen verringern und die Grundwasserspeisung beeinträchtigen.

Abb. 16 > Natürliche Referenz und beeinflusster Zustand

Natürlicher (Referenz, Messreihe 1904–1958) und beeinflusster (Messreihe 1963–2000) Verlauf der mittleren monatlichen Abflüsse sowie die Differenzen ΔMMQ_i für den Brenno bei Loderio.



Der eigentliche Bewertungsindikator ist eine relative Grösse $R_{r,b}$, welche aus MQ und Pk_i (resp. MMQ_i) die in Abb. 16 aufgezeigten Differenzen aufsummiert und auf MQ des Referenzzustands bezieht.

Bewertungsindikator

Der Bezug zum Referenzzustand ist im Indikatorwert $R_{r,b}$ bereits enthalten.

Bezug zum Referenzzustand

Die Klassierungsregel vergleicht $R_{r,b}$ mit der natürlichen Variabilität von MQ und Pk_i in Abhängigkeit vom Abflussregimtyp, ausgedrückt durch den Indikator $R_{j,Regimtyp}$. Sowohl MQ als auch Pk_i schwanken unter natürlichen Verhältnissen von Jahr zu Jahr. Diese Schwankungen von MQ und Pk_i der Einzeljahre um deren langjährige Mittelwerte können als R-Werte pro Jahr R_j ausgedrückt werden. Die Abflussregimtyp-spezifischen Auswertungen von $R_{j,Regimtyp}$ in Anhang A2, Abb. 11, zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Abflussregimtypen.

Natürliche Variabilität

- > $R_{r,b}$: R-Wert Referenz- (r) zu beeinflusstem (b) Zustand
- > $R_{j,Regimtyp}$: R-Werte von Einzeljahren j zu langjährigem Mittelwert des Regimtyps

Bewertungsgrößen

5.2.2 Berechnungen

Der R-Wert Referenz- (r) zu beeinflusstem (b) Zustand $R_{r,b}$ ist eine relative Grösse und bezieht die Summe der Absolutbeträge aller Differenzen zwischen den Monatsabflüssen des Referenz- und des beeinflussten Zustands auf die Summe der Monatsabflüsse des Referenzzustands.

Berechnung Indikatorwert $R_{r,b}$

$$R_{r,b} = \sum_{i=1}^{12} |MMQ_{i,r} - MMQ_{i,b}| / \left(\sum_{i=1}^{12} MMQ_{i,r} \right) \cdot 100 [\%]$$

$MMQ_{i,r}$ Mittlere monatliche Abflüsse für den Monat i des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.4.1)

$MMQ_{i,b}$ Mittlere monatliche Abflüsse für den Monat i des beeinflussten Zustands (vgl. Kap. 3.4.1)

In die Bewertung fließen die 50 %-, 65 %- und 80 %-Quantile des R-Wert $R_{j,Regimtyp}$ ein. Diese Werte müssen nicht berechnet werden, sondern können aus Tab. 10 entnommen werden.

Berechnung weitere

Bewertungsgrößen

Tab. 10 > Quantile des R-Werts $R_{j,Regimtyp}$ [%] pro Abflussregimtyp

Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimtyp-spezifischen Auswertungen ermittelt (Anhang A1). Die den Quantil-Werten zugrunde liegenden Berechnungen und theoretischen Verteilfunktionen sind in Anhang A2, Abb. 11 dargestellt.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
50 %-Quantil	18	16.3	17.5	21.1	19.3	25.9	31.5	39.5	40.4	42.8	44.9	49.1	27.7	44.5	52.8	39.8
65 %-Quantil	19.8	18.3	20.2	23.9	21.6	28.8	35.1	43.4	44.8	47.7	48.2	54.2	32.2	49.8	62.0	45.6
80 %-Quantil	21.9	20.6	23.8	27.7	24.7	32.7	39.8	48.7	49.9	53.5	52.3	60.8	38.4	56.8	75.1	53.5

5.2.3 Klassierung

Für die Klassen 1–3 erfolgt die Einstufung durch Vergleich einerseits mit Quantilen der Abflussregimietyp-spezifischen R-Werte, andererseits mit absoluten Schwellenwerten von $R_{r,b}$, wobei nur eine Bedingung erfüllt sein muss. Für die Klassen 4 und 5 gelten absolute Schwellenwerte von $R_{r,b}$.

Klassierungsregel

Abb. 17 > Klassierungsregel Mittelwasser-Abflussverlauf

Klasse 1	$R_{r,b} < R_{j, \text{Regimietyp}, 50\%}$ oder $R_{r,b} < 30\%$
Klasse 2	$R_{r,b} < R_{j, \text{Regimietyp}, 65\%}$ oder $R_{r,b} < 45\%$
Klasse 3	$R_{r,b} < R_{j, \text{Regimietyp}, 80\%}$ oder $R_{r,b} < 60\%$
Klasse 4	$R_{r,b} < 85\%$
Klasse 5	$R_{r,b} \geq 85\%$

Veranschaulicht ist dieser Ansatz anhand eines Beispiels mit einem berechneten R-Wert $R_{r,b}$ von 36 %. Es zeigt, wie das unterschiedliche Ausmass der natürlichen Variabilität von MQ und Pk im Bewertungsansatz berücksichtigt wird:

Anwendungsbeispiel

- > Handelt es sich um einen Eingriff in einem Gebiet mit Abflussregimietyp 3 (a-glacio-nival), so liegt der Wert $R_{r,b}$ von 36 % über den beiden Bedingungen der Zustandsklasse 1. Bei Zustandsklasse 2 wird zwar die Bedingung $< R_{j, \text{Regimietyp}, 65\%}$ nicht erfüllt jedoch die Bedingung $< 45\%$. Es kommt deshalb Zustandsklasse 2 zur Anwendung.
- > Handelt es sich hingegen um einen Eingriff in einem Gebiet mit Regimietyp 10 (pluvial inférieur), so liegt der Wert $R_{r,b}$ von 36 % unter dem Wert $R_{j, \text{Regimietyp}, 50\%}$ und erfüllt damit eine Bedingung der Zustandsklasse 1, welche somit zur Anwendung kommt.

5.3 Hochwasserhäufigkeit

5.3.1 Herleitung und Definition

Hochwasser sind Strukturbildner, bewirken eine Dekolmation, unterbrechen als Störereignisse die Sukzession der Vegetationsgesellschaften und schaffen somit immer wieder Standorte für Pioniergesellschaften. Veränderungen des Hochwasserregimes haben verschiedene ökologische Auswirkungen:

Herleitung

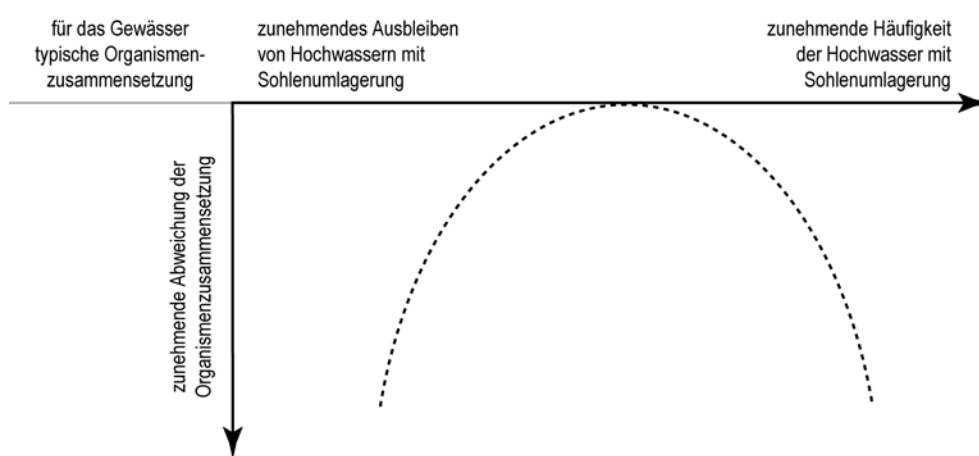
- > Bei reduziertem Hochwasserabfluss bzw. Häufigkeit besteht die Tendenz zu verstärktem Algenwachstum und einer Verschleimung der Gewässersohle und des Interstitiales mit Feinpartikeln (Kolmation). Nach einem Hochwasser mit Geschiebetrieb wird das Substrat vom Algenaufwuchs gesäubert und das Gewässerbett dekolmatiert.
- > Zudem verschiebt sich bei Fliessgewässern mit ursprünglich vorhandenen überschwemmten Landbereichen bei ausbleibenden Hochwassern die Artenzusammensetzung der Überschwemmungsflächen durch eine ungestörte Sukzession.

Aus ökologischer Sicht ist also wichtig, wie häufig Hochwasser mit Abflüssen oberhalb des für den Geschiebetrieb und eine Sohlenumlagerung kritischen Schwellenwertes auftreten. Für die Bestimmung des den Geschiebetrieb auslösenden Abflusses braucht es Informationen zu Geometrie (Profil, Gefälle), Rauigkeit und Granulometrie des betrachteten Gewässerabschnittes. Um diesen grossen Erhebungsaufwand zu umgehen, wird im Rahmen von HYDMOD-F der Hochwasserschwellenwert pragmatisch und stark vereinfachend auf rein statistische Art festgelegt (siehe Definition in Kap. 3.5.2).

Auch eine Zunahme von Hochwasserereignissen hat ökologische Auswirkungen. Eine zu massive Zunahme der Häufigkeit führt dazu, dass keine ausreichenden Regenerationsphasen mehr vorhanden sind, in denen sich die Biozönosen von den Störereignissen erholen können, was zu starken Abweichungen der Organismenzusammensetzung führen kann. Schematisch stellt Abb. 18 diese Zusammenhänge dar.

Abb. 18 > Auswirkungen einer veränderten Hochwasserhäufigkeit

Schematische Darstellung des Zusammenhanges zwischen Veränderung der Hochwasserhäufigkeit mit Sohlenumlagerung und Verschiebungen der Organismenzusammensetzung.



in Anlehnung an Eawag und BUWAL, 1995

Der Bewertungsindikator Hochwasserhäufigkeit kommt nur bei Verringerung der Hochwasserhäufigkeit zu tragen. Verschiedene Aspekte, die zu einer Zunahme der Hochwasserhäufigkeit führen, sind durch separate Bewertungsindikatoren abgedeckt, namentlich:

- > Schwall/Sunk-Phänomen
- > Spülung und Entleerung
- > Regenwassereinleitungen

Der eigentliche Bewertungsindikator ist die mittlere Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ,b}$ (Momentanabflüsse) im beeinflussten Zustand, definiert als langjähriger Mittelwert der jährlichen Anzahl Hochwasserabflüsse oberhalb des Hochwasserschwellenwertes des Referenzzustands.

Bewertungsindikator

Eine Abflussregimetyt-spezifische Auswertung der Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ,r}$ zeigt, dass zwischen den Abflussregimetypten ausgeprägte Unterschiede bestehen. Die durchschnittliche Anzahl Hochwasserereignisse oberhalb des definierten Schwellenwertes bewegt sich je nach Abflussregimetyt im Bereich von ca. 3–5 Ereignissen pro Jahr bei hochalpinen Gewässern bis zu ca. 10–13 Ereignissen in präalpinen Gewässern (vgl. Anhang A3, Abb. 44). Diese Referenzwerte wurden für die Festlegung der Klassierungsregel einbezogen. Der Referenzzustand fliesst somit indirekt in die Bewertung ein.

Bezug zum Referenzzustand

Die Analyse der Variabilität der Häufigkeiten von Jahr zu Jahr zeigt generell eine grosse Streuung und führt damit zu keiner Differenzierung (vgl. Anhang A3, Abb. 45). Die natürliche Variabilität fliesst deshalb nicht in die Bewertung ein.

Natürliche Variabilität

> $f_{HQ,b}$: Mittlere Hochwasserhäufigkeit (Momentanabflüsse) im beeinflussten Zustand

Bewertungsgrössen

5.3.2 Berechnungen

Die mittlere Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ,b}$ ist direkt als hydrologische Kenngrösse definiert (vgl. Kap. 3.5.3).

Berechnung Indikatorwert $f_{HQ,b}$

5.3.3 Klassierung

Die Klassierung erfolgt in absoluten Werten. Die Klassengrenzen orientieren sich für die Begrenzung von Klasse 1 an der minimalen natürlichen Häufigkeit des Referenzzustands (vgl. Anhang A3, Abb. 44). Für Klasse 2 ist massgebend, dass für gute ökologische Verhältnisse mindestens ca. einmal jährlich eine Sohlenumlagerung stattfinden muss (Brookes, 1995 & Poff et al. 1997).

Klassierungsregel

Abb. 19 > Klassierungsregel Hochwasserhäufigkeit

Die Klassierungsregel unterscheidet für Klasse 1 verschiedene Abflussregimetypten.

Klasse 1	$f_{HQ,b} \geq 2$	mindestens zweimal im Jahr für Regimetypten 1-5, 13
	$f_{HQ,b} \geq 3.5$	mindestens 3.5 mal im Jahr für Regimetypten 6, 7, 10-12, 14, 15
	$f_{HQ,b} \geq 6$	mindestens sechsmal im Jahr für Regimetypten 8, 9, 16
Klasse 2	$f_{HQ,b} \geq 1$	mindestens einmal im Jahr
Klasse 3	$1 > f_{HQ,b} \geq 2/3$	seltener als einmal pro Jahr
Klasse 4	$2/3 > f_{HQ,b} \geq 1/3$	seltener als alle 1.5 Jahre
Klasse 5	$f_{HQ,b} < 1/3$	seltener als alle 3 Jahre

5.4 Hochwasser-Saisonalität

5.4.1 Herleitung und Definition

Unter Hochwasser-Saisonalität wird das zeitliche Auftreten des jährlich maximalen Tagesabflusses verstanden. Die Saisonalität wird durch zwei Parameter, das mittlere Auftretensdatum (Erwartungswert) und die Variabilität des Auftretensdatums, erfasst (vgl. Kap. 3.5.4). Die Saisonalität an einer Station bzw. eines Gewässers kann so als Punkt in einem Saisonalitätsraum eingezeichnet werden (vgl. Abb. 20).

Herleitung

Die ökologische Bedeutung der Hochwasser-Saisonalität resp. ihrer Verschiebung hängt mit dem durch Hochwasserereignisse ausgelösten Geschiebetrieb zusammen. So wird z. B. der Forellennachwuchs beeinträchtigt, wenn sich die Hochwasser-Saison in die Reproduktions- und Brüttingsperiode verschiebt.

Der Bewertungsindikator beurteilt die Verschiebung im Saisonalitätsverhalten zwischen Referenz- und beeinflusstem Zustand. Die Verschiebung kann den zeitlichen Erwartungswert bei gleicher Variabilität, eine reine Änderung der Variabilität bei gleich gebliebenem mittlerem Auftretensdatum oder eine Veränderung von Erwartungswert und Variabilität betreffen.

Der eigentliche Bewertungsindikator ist eine dimensionslose Masszahl $\text{Dist}_{r,b}$ für die Distanz der beiden Saisonalitätspunkte im Referenz- und beeinflussten Zustand, welche die beiden Aspekte der Saisonalität, den Erwartungswert und die Variabilität, berücksichtigt.

Bewertungsindikator

Der Bezug zum Referenzzustand ist im Bewertungsindikator $\text{Dist}_{r,b}$ bereits enthalten.

Bezug zum Referenzzustand

Die natürliche Variabilität ist im Bewertungsindikator $\text{Dist}_{r,b}$ bereits enthalten.

Natürliche Variabilität

> **$\text{Dist}_{r,b}$:** Masszahl für die Distanz der beiden Saisonalitätspunkte im Referenz- (r) und beeinflussten (b) Zustand

Bewertungsgrößen

5.4.2 Berechnungen

Die dimensionslose Masszahl für die Distanz der beiden Saisonalitätspunkte im Referenz- (r) und beeinflussten (b) Zustand $\text{Dist}_{r,b}$ entspricht der Distanz der beiden Saisonalitätspunkte des Referenz- und beeinflussten Zustands im Saisonalitätskreis.

$$\text{Dist}_{r,b} = \sqrt{(r_{HQ,r} \cdot \sin \delta)^2 + (r_{HQ,b} - r_{HQ,r} \cdot \cos \delta)^2} \quad \text{mit} \quad \delta = |\bar{\theta}_{HQ,r} - \bar{\theta}_{HQ,b}|$$

Berechnung Indikatorwert $\text{Dist}_{r,b}$ aus Polarkoordinaten

$\bar{\theta}_{HQ}$ Winkelmaß des mittleren Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses (vgl. Kap. 3.5.4)
 r_{HQ} Zeitliche Variabilität des Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses (vgl. Kap. 3.5.4)

$$\text{Dist}_{r,b} = \sqrt{(\bar{x}_r - \bar{x}_b)^2 + (\bar{y}_r - \bar{y}_b)^2}$$

Berechnung Indikatorwert $\text{Dist}_{r,b}$ aus kartesischen Koordinaten

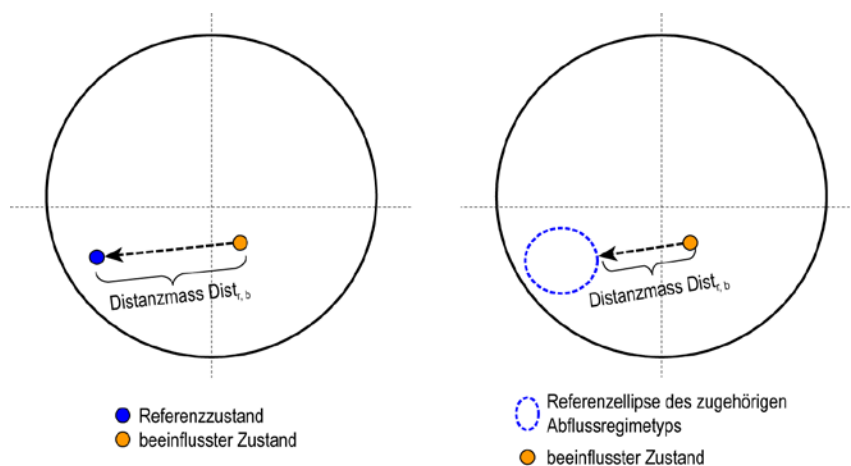
$\bar{x}, \bar{y}$ Arithmetische Mittel der kartesischen Koordinaten der Einzelereignisse j (vgl. Kap. 3.5.4)

Wenn für den Referenzzustand keine Messdaten verfügbar sind, so können die abflussregime-spezifischen Daten der Referenzstationen verwendet werden. Die Distanz muss dann aus Abb. 13 abgelesen werden (kürzeste Distanz zu zugehöriger Referenzellipse), entsprechend dem Beispiel in Abb. 20. Alternativ ist die Berechnung der Distanz in HYDMOD-FIT implementiert.

Berechnung Indikatorwert $\text{Dist}_{r,b}$
mit Referenzellipsen

Abb. 20 > Beispiel für die dimensionslose Masszahl $\text{Dist}_{r,b}$

Distanz der beiden Saisonalitätspunkte als Bewertungsindikator.



5.4.3 Klassierung

Die Klassierung basiert auf der Grösse des dimensionslosen Distanzmasses $\text{Dist}_{r,b}$, welche theoretisch Werte zwischen 0 und 2 annehmen kann.

Klassierungsregel

- > Ist die Referenz durch eine grosse zeitliche Variabilität charakterisiert und liegt also im Bereich des Ursprungs des Saisonalitätskreises, so kann $\text{Dist}_{r,b}$ nur maximal Werte um 1 annehmen.
- > Ist hingegen die Referenz durch eine ausgeprägte Saisonalität charakterisiert und weist somit eine Lage nahe am Einheitskreis auf, so sind auch Werte von $\text{Dist}_{r,b} > 1$ bis maximal 2 möglich.

Die Klassierungsregel unterscheidet zwischen der Berechnung aus Messdaten, wo sich die Distanz auf zwei Punkte bezieht und der Berechnung mithilfe der Referenzdaten, wo sich die Distanz auf die Referenzellipse bezieht und entsprechend kleiner ist.

Abb. 21 > Klassierungsregel Hochwasser-Saisonalität

	$\text{Dist}_{r,b}$ aus Messdaten	$\text{Dist}_{r,b}$ mittels Referenzellipsen
Klasse 1	$\text{Dist}_{r,b} \leq 0.3$	$\text{Dist}_{r,b} \leq 0.25$
Klasse 2	$0.3 < \text{Dist}_{r,b} \leq 0.6$	$0.25 < \text{Dist}_{r,b} \leq 0.5$
Klasse 3	$0.6 < \text{Dist}_{r,b} \leq 0.9$	$0.5 < \text{Dist}_{r,b} \leq 0.75$
Klasse 4	$0.9 < \text{Dist}_{r,b} \leq 1.2$	$0.75 < \text{Dist}_{r,b} \leq 1.0$
Klasse 5	$\text{Dist}_{r,b} > 1.2$	$\text{Dist}_{r,b} > 1.0$

5.5 Niedrigwasserabfluss

5.5.1 Herleitung und Definition

Für das Niedrigwasserregime ist der Niedrigwasserabfluss Q_{347} eine repräsentative Grösse. Sie entspricht dem Abfluss, der im Durchschnitt an 347 Tagen im Jahr (= 95 % der Tage) erreicht oder überschritten wird. Die ökologische Erheblichkeit ist nicht alleine durch die Grösse der Veränderung von Q_{347} definiert, sondern hängt auch von der Gewässergrösse ab. Bei grösseren Gewässern besteht länger ein substantieller Wasserkörper, während bei kleinen Gewässern bereits geringere relative Abflussreduktionen zu kritischen Verhältnissen (unzureichende Wassertiefen oder benetzte Querschnitte) führen können.

Herleitung

Eine ähnliche Einschränkung des Lebensraumes tritt bei Gewässerabschnitten mit Schwall/Sunk-Phänomenen (siehe auch Kap. 5.8.1) während den Sunkphasen auf. Regelmässig wiederkehrende sehr kleine Sunkabflüsse können ebenfalls zu kritischen Restwasser-ähnlichen Verhältnissen führen. Die tiefen Sunkabflüsse werden durch den auf Abfluss-Tagesmittelwerten basierenden Niedrigwasserabfluss Q_{347} nicht abgebildet und müssen deshalb speziell berücksichtigt werden.

Der eigentliche Bewertungsindikator ist die relative Differenz $\Delta Q_{347,r,b}$ des aktuellen Q_{347} des beeinflussten Zustands im Vergleich zum natürlichen Q_{347} des Referenzzustandes. Falls Schwall/Sunk-Phänomene auftreten, wird – falls der Wert kleiner ist – Q_{Sunk} anstelle des Q_{347} des beeinflussten Zustands eingesetzt.

Bewertungsindikator

Der Bezug zum Referenzzustand ist im Bewertungsindikator $\Delta Q_{347,r,b}$ bereits enthalten.

Bezug zum Referenzzustand

Als Mass für die natürliche Variabilität fliesst der Variationskoeffizient von $Q_{347,r}$ in die Klassierung ein. Er kommt bei der Klassierungsregel für die Zustandsklasse 1 zur Anwendung.

Natürliche Variabilität

- > $\Delta Q_{347,r,b}$: relative Differenz Q_{347} Referenz- (r) zu beeinflusstem (b) Zustand
- > $CV\text{-}Q_{347,r}$: Variationskoeffizient von $Q_{347,r}$
- > Q_{Sunk} : Sunkabfluss (nur bei Schwall/Sunk-Phänomenen falls $Q_{\text{Sunk}} < Q_{347,b}$, einzusetzen anstelle von $Q_{347,b}$).

Bewertungsgrössen

5.5.2 Berechnungen

Die relative Differenz $\Delta Q_{347,r,b}$ des Q_{347} des beeinflussten Zustands im Vergleich zum natürlichen Q_{347} des Referenzzustandes wird wie folgt berechnet:

Berechnung Indikatorwert $\Delta Q_{347,r,b}$

$$\Delta Q_{347,r,b} = (Q_{347,r} - Q_{347,b}) / Q_{347,r} \cdot 100 [\%]$$

$Q_{347,r}$ Q_{347} des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.6.1)

$Q_{347,b}$ Q_{347} des beeinflussten Zustands (vgl. Kap. 3.6.1)

Bei Strecken mit sehr kleinem Sunkabfluss ($Q_{\text{Sunk}} < Q_{347,b}$) wird die relative Differenz $\Delta Q_{347,r,b}$ mit dem Sunkabfluss im Vergleich zum natürlichen Q_{347} des Referenzzustandes wie folgt berechnet:

$$\Delta Q_{347,r,b} = (Q_{347,r} - Q_{\text{Sunk}}) / Q_{347,r} \cdot 100 [\%]$$

$Q_{347,r}$ Q_{347} des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.6.1)

Q_{Sunk} Sunkabfluss (vgl. Kap. 3.7.2), anstelle des Q_{347} des beeinflussten Zustands

Berechnung Indikatorwert
 $\Delta Q_{347,r,b}$ bei Schwall/Sunk-
Phänomenen

Der Variationskoeffizient von $Q_{347,r}$ CV- $Q_{347,r}$ ist als hydrologische Kenngrösse definiert (vgl. Kap. 3.6.2).

Berechnung weitere
Bewertungsgrössen

5.5.3 Klassierung

Die Klassierung basiert für die Grenze zwischen Zustandsklasse 1 und 2 auf einem Vergleich von $\Delta Q_{347,r,b}$ mit CV- Q_{347} . Für die anderen Klassengrenzen ist die relative Verringerung $\Delta Q_{347,r,b}$ massgebend.

Klassierungsregel

Abb. 22 > Klassierungsregel Niedrigwasserabfluss

Je nach Grössenordnung des Absolutwerts von $Q_{347,r}$ kommen andere Zahlenwerte zur Anwendung. Die Klassierungsregel ist für vier $Q_{347,r}$ -Werte angegeben, für Werte dazwischen ist zu interpolieren, bei kleineren oder grösseren Werten kommen die kleinsten resp. grössten Werte zur Anwendung.

	$Q_{347,r} = 50 \text{ l/s}$	$Q_{347,r} = 200 \text{ l/s}$	$Q_{347,r} = 500 \text{ l/s}$	$Q_{347,r} = 1000 \text{ l/s}$
Klasse 1	$\Delta Q_{347,r,b} < \text{CV-}Q_{347,r}$			
Klasse 2	$\Delta Q_{347,r,b} < 20\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 25\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 35\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 45\%$
Klasse 3	$\Delta Q_{347,r,b} < 40\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 45\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 55\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 65\%$
Klasse 4	$\Delta Q_{347,r,b} < 65\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 70\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 80\%$	$\Delta Q_{347,r,b} < 85\%$
Klasse 5	$\Delta Q_{347,r,b} \geq 65\%$	$\Delta Q_{347,r,b} \geq 70\%$	$\Delta Q_{347,r,b} \geq 80\%$	$\Delta Q_{347,r,b} \geq 85\%$

Es ist möglich, dass CV- $Q_{347,r}$ grösser ist als die Grenzwerte, welche für die Bewertungsklassen 2–5 gelten, da das schweizweite Mittel von CV- $Q_{347,r}$ im Bereich von ca. 25 % liegt. In diesen Fällen ist die bessere Klassierung massgebend.

Wenn das $Q_{347,b}$ des beeinflussten Zustands grösser ist als das natürliche $Q_{347,r}$ des Referenzzustandes, so resultiert immer Klasse 1.

5.6 Niedrigwasser-Saisonalität

5.6.1 Herleitung und Definition

Unter Niedrigwasser-Saisonalität wird das zeitliche Auftreten des jährlich minimalen Tagesabflusses verstanden. Die Saisonalität wird durch zwei Parameter, das mittlere Auftretensdatum (Erwartungswert) und die Variabilität des Auftretensdatums, erfasst. Die Saisonalität an einer Station bzw. eines Gewässers kann so als Punkt in einem Saisonalitätsraum eingezeichnet werden (vgl. Abb. 20).

Herleitung

Die ökologische Bedeutung der Niedrigwasser-Saisonalität resp. ihrer Verschiebung hängt mit den Lebenszyklen der aquatischen Fauna zusammen, da die Niedrigwasserperioden als Aufzucht-, Ruhe- und Erholungsphasen wichtig sind.

Der Bewertungsindikator beurteilt die Verschiebung im Saisonalitätsverhalten zwischen Referenz- und beeinflusstem Zustand. Die Verschiebung kann den zeitlichen Erwartungswert bei gleicher Variabilität, eine reine Änderung der Variabilität bei gleich gebliebenem mittlerem Auftretensdatum oder eine Veränderung von Erwartungswert und Variabilität betreffen.

Der Bewertungsindikator ist analog zur Hochwasser-Saisonalität definiert (Kap. 5.4).

5.6.2 Berechnungen und Klassierung

Berechnungen und Klassierungsregel sind analog zur Hochwasser-Saisonalität (Kap. 5.4).

5.7 Dauer Niedrigwasserperioden

5.7.1 Herleitung und Definition

Aus ökologischer Sicht werden Perioden mit Niedrigwasserabfluss – ähnlich den Hochwassern – als Störereignisse gesehen. Im Gegensatz zu den Hochwassern als plötzlich auftretende Störungen, stellen sich Niedrigwasserperioden langsam ein. Grundsätzliche ökologische Auswirkungen von Niedrigwasserperioden auf das Ökosystem und die Biozönosen sind z. B. Unterbruch der hydrologischen Durchgängigkeit, Verlust bzw. Verkleinerung und Degradierung des Lebensraumes, Verschlechterung der Wasserqualität, Änderungen der Ernährungssituation, etc. Auf die Summe dieser Einwirkungen und je nach deren Ausmass reagieren die Biozönosen mit entsprechenden Verschiebungen. Die ökologische Bedeutsamkeit der Anzahl an Tagen mit Abflüssen unterhalb eines Niedrigwasserabflusses als diesbezüglicher hydrologischer Indikator ist z. B. in Riis und Biggs (2003) dokumentiert.

Herleitung

Als Niedrigwasserperioden werden jene zusammenhängenden Zeitabschnitte definiert, während derer der Abfluss kleiner oder gleich dem natürlichen, unbeeinflussten Q_{347}

ist. Pro Jahr wird die Dauer der längsten Niedrigwasserperiode bestimmt und daraus der langjährige Mittelwert d_{Q347} berechnet.

Als Bewertungsindikator wird der langjährige Mittelwert der jährlich längsten Niedrigwasserperiode unter beeinflussten Bedingungen $d_{Q347,b}$ eingesetzt. Die Niedrigwasserdauer $d_{Q347,b}$ gibt also nicht die Gesamtanzahl an Tagen pro Jahr an, während derer Q_{347} unterschritten wird, sondern die mittlere Dauer der längsten zusammenhängenden Niedrigwasserperiode.

Bewertungsindikator

Eine Abflussregimetyp-spezifische Auswertung der Niedrigwasserdauern (siehe Anhang A3, Abb. 50) zeigt für die alpinen Regimetypen Werte im Bereich von 15–20 Tagen und für die Mittelland-Regimetypen im Bereich von 10 Tagen auf. Diese Referenzwerte wurden für die Festlegung der Klassierungsregel einbezogen. Der Referenzzustand fließt somit indirekt in die Bewertung ein.

Bezug zum Referenzzustand

Eine Abflussregimetyp-spezifische Auswertung der Niedrigwasserdauern bezüglich Variabilität (vgl. Anhang A3, Abb. 51) zeigt über alle Regimetypen sehr starke Schwankungen mit Variationskoeffizienten über 100 %. Wegen diesen einheitlichen Ergebnissen würde eine Berücksichtigung der natürlichen Variabilität zu keiner Differenzierung der Bewertung führen. Sie fließt deshalb nur indirekt in die Klassierungsregel ein.

Natürliche Variabilität

> $d_{Q347,b}$: Mittlere Dauer der jährlich längsten Niedrigwasserperiode unter beeinflussten Bedingungen

Bewertungsgrößen

5.7.2 Berechnungen

Die mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode d_{Q347} ist direkt als hydrologische Kenngröße definiert (vgl. Kap. 3.6.3).

Berechnung Indikatorwert d_{Q347}

5.7.3 Klassierung

Die Klassierung orientiert sich an der Grössenordnung der natürlichen Mittelwerte und an deren natürlichen Variabilität. Ausgehend von einem etwas erhöhten Mittelwert von d_{Q347} über die ganze Schweiz (ca. 20 Tage), wird jeweils eine Standardabweichung (als schweizweiter Mittelwert ca. 15 Tage) zur vorherigen Klassengrenze hinzugefügt. Es wird also nur der Fall der Verlängerung der Niedrigwasserperioden betrachtet, da der umgekehrte Fall von geringer ökologischer Bedeutung ist.

Klassierungsregel

Abb. 23 > Klassierungsregel Dauer Niedrigwasserperioden

Klasse 1	$d_{Q347,b} < 20$ Tage (< ca. 3 Wochen)
Klasse 2	$20 \text{ Tage} \leq d_{Q347,b} < 35$ Tage (ca. 3-5 Wochen)
Klasse 3	$35 \text{ Tage} \leq d_{Q347,b} < 50$ Tage (ca. 5-7 Wochen)
Klasse 4	$50 \text{ Tage} \leq d_{Q347,b} < 65$ Tage (ca. 7-9 Wochen)
Klasse 5	$d_{Q347,b} \geq 65$ Tage (> 9 Wochen)

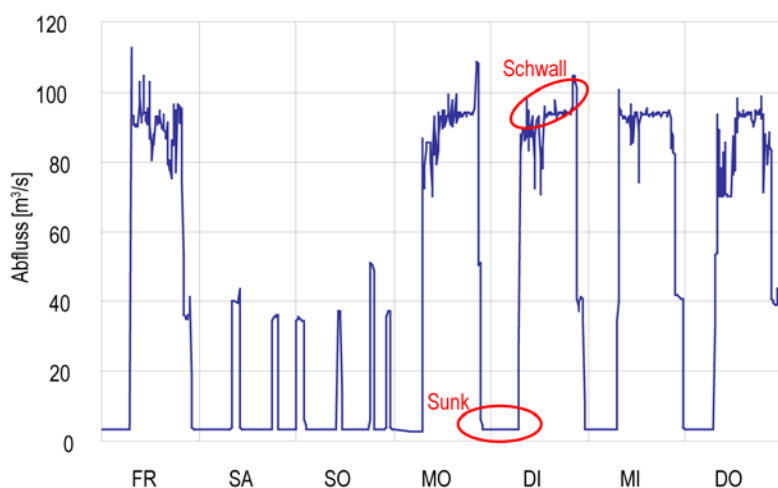
5.8 Schwall/Sunk-Phänomen

5.8.1 Herleitung und Definition

Von Schwall/Sunk wird bei regelmässigen Abflussschwankungen in kurzen Abständen mit raschem Abflussanstieg und -abfall gesprochen; dabei tritt dieses Phänomen über einen bedeutenden Teil des Jahres hinweg auf. Primär die Häufigkeit der Abflussschwankungen unterscheidet den Schwall/Sunk von den Spülungen. Schwallgeprägte Abflussganglinien folgen meist einem ein- oder mehrfachen Tagesrhythmus (vgl. Abb. 24) und sind überwiegend auf den Betrieb bedarfsorientiert gefahrener Speicherkraftwerke zurückzuführen.

Herleitung

Abb. 24 > Beispiel einer schwallgeprägten Abflussganglinie



Die ökologische Erheblichkeit des Schwall/Sunk-Phänomens liegt im durch den Schwallabfluss verursachten hydraulischen Stress (Stärke der Strömung, Trübung, Verdriftung, Feststofftransport etc.) sowie den ständig wechselnden Lebensraumbedingungen begründet. Dabei weisen kleinere Gewässer in der Regel eine etwas geringere Empfindlichkeit auf, da sie im Vergleich zu grösseren Gewässern auch natürlicherweise eine grössere Schwankung der hydrologisch-hydraulischen Bedingungen aufweisen und die Biozönose sich besser darauf einstellen kann. Die Morphologie des Gewässers hat ebenfalls einen Einfluss auf die Auswirkungen von Schwall/Sunk (Schweizer et al. 2009). In geraden oder kanalisierten Flussläufen führt ein starker Abflussanstieg (hohe Pegelanstiegsrate) zu starker Verdriftung von Invertebraten, während bei verzweigten Flussläufen eher das Stranden der Fische bei einer raschen Abnahme der benetzten Breite (hohe Pegelrückgangsrate) heikel ist.

Eine Schwall/Sunk-Erscheinung kann als Impuls aufgefasst werden (vgl. Abb. 24). Zur Beschreibung des Abflussimpulses können fünf Indikatoren verwendet werden:

- > seine Amplitude: max. Differenz Schwall- zu Sunkabfluss
- > sein relatives Ausmass bzw. Intensität: Verhältnis Amplitude zu Sunkabfluss oder Verhältnis Schwall zu Sunk
- > Die Grösse des Schwallabflusses im Verhältnis zu MQ oder MHQ, als Indiz für den hydraulischen Stress des Schwallabflusses
- > seine zeitliche Schärfe: Pegeländerungsrate beim Schwallanstieg und -rückgang
- > Häufigkeit der Impulse: Anzahl an Wechsel zwischen Schwall und Sunk

Der letzte Punkt wird für die Bewertung nicht berücksichtigt, weil von einer Grundhäufigkeit von einem oder mehreren Impulsen pro Tag ausgegangen wird, welche zumindest über eine gewisse Jahreszeit hinweg regelmässig auftritt. Trifft dies nicht zu, so ist der Bewertungsindikator Spülung und Entleerung anzuwenden. Je nach Morphologie des Gewässers sind die oben aufgeführten Indikatoren anders zu gewichten. Da sich die Bewertung auf eine einzelne Stelle (den Eingriff) bezieht und danach auf die unterliegenden Gewässerabschnitte übertragen wird, kann die im Längsverlauf variierende Morphologie nicht berücksichtigt werden. Für die Konzipierung des in HYDMOD-F entwickelten Bewertungsindikators zu Schwall/Sunk wird vom am häufigsten vorkommenden Morphologietyp des geraden Flusslaufes ausgegangen.

Für den Bewertungsindikator Schwall/Sunk-Phänomen werden zwei Indikatorwerte definiert:

- > die Intensität des Schwall/Sunk-Impulses $I_{P,S/S}$, definiert durch das Schwall/Sunk-Verhältnis $V_{S/S}$, ergänzt mit einem Korrekturfaktor für die Pegeländerungsrate.
- > der hydraulische Stress durch Schwallabfluss $I_{h,Schwall}$, definiert als Verhältnis Schwallabfluss $Q_{Schwall}$ zu mittlerem jährlichem Abfluss des Referenzzustands MQ_r , ergänzt mit einem Korrekturfaktor für die Einzugsgebietsfläche.

Da das Schwall/Sunk-Phänomen keine natürliche Entsprechung hat, fliesst der Referenzzustand nur indirekt in einen der beiden Indikatorwerte ein.

Bewertungsindikator

Bezug zum Referenzzustand

Natürliche Variabilität

Das Schwall/Sunk-Phänomen hat keine natürliche Entsprechung; es wird deshalb keine natürliche Variabilität berücksichtigt.

- > $I_{P,S/S}$: Intensität des Schwall/Sunk-Impulses
- > $I_{h,Schwall}$: Hydraulischer Stress durch Schwallabfluss

Bewertungsgrößen

5.8.2 Berechnungen

Der Indikatorwert Intensität des Schwall/Sunk-Impulses $I_{P,S/S}$ ist wie folgt definiert:

Berechnung Indikatorwert $I_{P,S/S}$

$$I_{P,S/S} = V_{S/S} \cdot k_{PR,S/S}$$

$V_{S/S}$ Schwall/Sunk-Verhältnis (vgl. Kap. 3.7.3)
 $k_{PR,S/S}$ Korrekturfaktor für die Pegeländerungsrate Schwall/Sunk, siehe unten

Der Korrekturfaktor $k_{PR,S/S}$ für die Pegeländerungsrate Schwall/Sunk wird anhand der maximalen Pegeländerungsrate Schwall/Sunk bestimmt. Diese entspricht dem grössten Wert der beiden Kenngrößen Pegelanstiegsrate $PR_{Schwall}$ und Pegelrückgangsrate PR_{Sunk} (vgl. Kap. 3.7.4 und 3.7.5)

- > $k_{PR,S/S} = 0.65$ bei einer maximalen Pegeländerungsrate ≤ 0.5 cm/min
- > $k_{PR,S/S} = 0.75$ bei einer maximalen Pegeländerungsrate = 1 cm/min
- > $k_{PR,S/S} = 1.00$ bei einer maximalen Pegeländerungsrate = 2 cm/min
- > $k_{PR,S/S} = 1.50$ bei einer maximalen Pegeländerungsrate ≥ 4 cm/min
- > Zwischen den angegebenen Eckpunkten wird linear interpoliert.

Der Indikatorwert hydraulischer Stress durch Schwallabfluss $I_{h,Schwall}$ ist wie folgt definiert.

Berechnung Indikatorwert $I_{h,Schwall}$

$$I_{h,Schwall} = (Q_{Schwall} / MQ_r) \cdot k_{EZG}$$

$Q_{Schwall}$ Schwallabfluss (vgl. Kap. 3.7.1)
 MQ_r Mittlerer jährlicher Abfluss des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.4.2)
 k_{EZG} Korrekturfaktor für die Einzugsgebietsfläche, siehe unten

Der Korrekturfaktor für die Einzugsgebietsfläche k_{EZG} wird wie folgt bestimmt:

- > $k_{EZG} = 0.50$ bei einer Einzugsgebietsfläche $A_{EZG} \leq 250$ km²
- > $k_{EZG} = 0.75$ bei einer Einzugsgebietsfläche $A_{EZG} = 750$ km²
- > $k_{EZG} = 1.00$ bei einer Einzugsgebietsfläche $A_{EZG} \geq 1250$ km²
- > Zwischen den angegebenen Eckpunkten wird linear interpoliert.

5.8.3 Klassierung

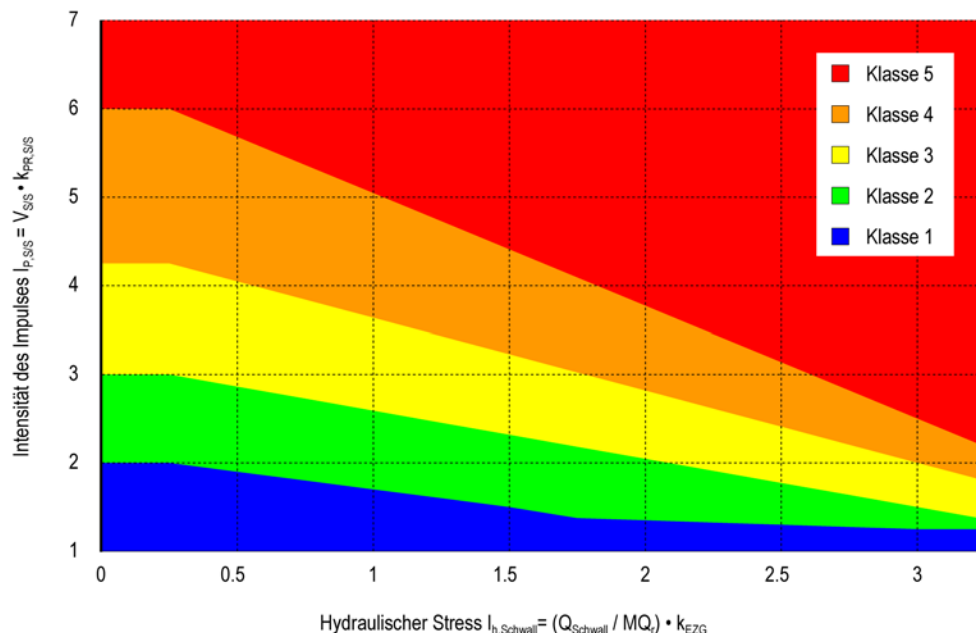
In die Klassierungsregel fließen folgende Feststellungen ein:

Klassierungsregel

- > Das «ökologisch kritische» Schwall/Sunk-Verhältnis liegt im Bereich von 3:1 bis 4:1 (BUWAL 2003). Eine signifikante Belastung liegt ab einem Verhältnis von 5:1 vor (BMLF 2004).
- > Die Auswirkungen des Schwall/Sunk-Verhältnisses werden durch langsame Anstiegs- und Rückgangsraten abgemindert.
- > Das Verhältnis des natürlichen mittleren jährlichen Hochwasserabflusses MHQ (Tagesabflüsse) zu MQ liegt im Schweizer Mittel im Bereich 6–8 (vgl. Anhang A3, Abb. 42). Je näher das Verhältnis Schwallabfluss zu MQ in diesen Wertebereich kommt, umso eher bewegt sich der Schwallabfluss in Richtung eines Hochwassers und verursacht damit den entsprechenden hydraulischen Stress bereits bei einem Einzelimpuls.
- > In der Schweiz liegt das Verhältnis Schwallabfluss zu MQ meistens im Bereich 0.5–2. Dieser Bereich steht deshalb im Zentrum des Bewertungsschemas.
- > Gewässer kleiner Einzugsgebiete sind gegenüber den Auswirkungen von Schwall/Sunk-Phänomenen in der Regel etwas weniger empfindlich.

Abb. 25 > Klassierungsregel Schwall/Sunk-Phänomen

Die Zustandsklasse wird grafisch aus dem Diagramm bestimmt. Die Farbe an der Schnittstelle der beiden Indikatorwerte zeigt die zutreffende Zustandsklasse an.



5.9 Spülung und Entleerung

5.9.1 Herleitung und Definition

Spülungen sind künstlich ausgelöste, rasche Anstiege des Abflusses, stets verbunden mit starken Feststoffkonzentrationen. Ihr eigentlicher Zweck besteht im Fortschwemmen von Feststoffablagerungen. Auch Entleerungen von Stauseen führen zu vergleichbaren Erscheinungen. In der Folge wird nur noch der Begriff Spülung für die beiden Phänomene Spülungen und Entleerungen verwendet. Spülungen können sehr unterschiedlich ausgeprägt sein: von Spülungen mit relativ geringer Abflussspitze, kurzer zeitlicher Dauer aber häufigem, z. T. periodischem Auftreten (Entsanderspülungen), bis zu Spülungen mit Abflüssen in der Grössenordnung von Hochwasserereignissen längerer Dauer aber nur sehr seltenem, episodischem Auftreten (Staurationsspülungen).

Herleitung

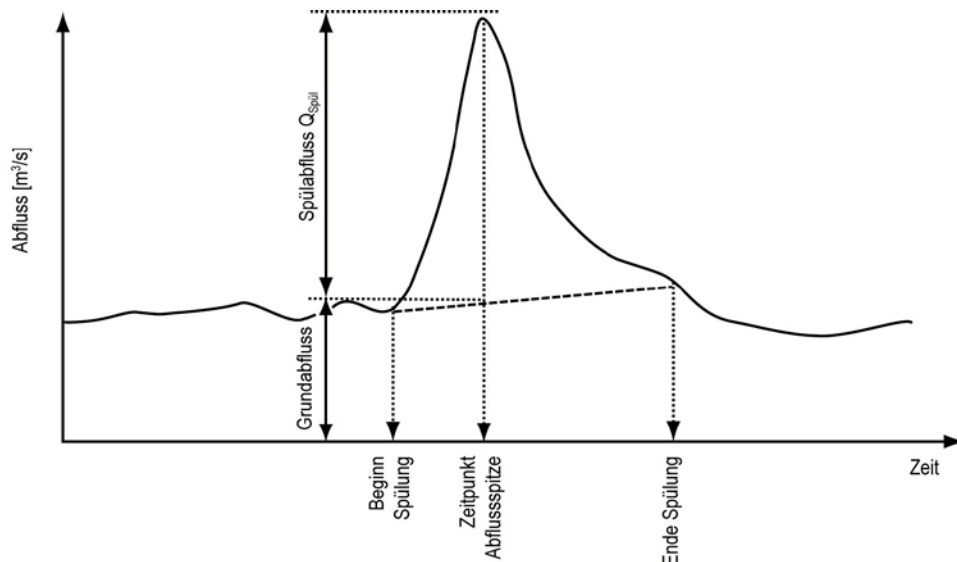
Die ökologischen Beeinträchtigungen resultieren einerseits aus der hydraulischen Stossbelastung, andererseits aus den während der Spülung/Entleerung auftretenden hohen Feststoffkonzentrationen und damit einhergehender Trübung (vgl. BUWAL 1994). Im Rahmen von HYDMOD-F werden allerdings nur die Auswirkungen auf das Abflussregime beurteilt.

Abb. 26 zeigt eine charakteristische Abflussganglinie einer Spülung und die Definition des Spülabflusses $Q_{\text{Spül}}$. Folgende Faktoren werden im Bewertungsindikator berücksichtigt:

- > Die Grösse des Spülabflusses, als Indikator für den hydraulischen Stress: Je mehr der Spülabfluss in die Grössenordnung von Hochwasserereignissen kommt, desto stärker ist der hydraulische Stress. Der Spülabfluss $Q_{\text{Spül}}$ wird zum mittleren Abfluss MQ in Bezug gesetzt und damit normiert.
- > Häufigkeit der Spülungen: ein häufigeres Spülen zieht eine grössere Beeinträchtigung nach sich. Treten die künstlichen Hochwasser zu häufig auf, fehlt dem aquatischen Ökosystem zwischen den Ereignissen die Zeit zur Regeneration.
- > Zeitpunkt der Spülungen: während Niedrigwasserverhältnissen ist die Beeinträchtigung grösser, während Hochwasserperioden kleiner als wenn sie unabhängig von den natürlichen Abflussbedingungen durchgeführt werden.
- > Anstiegsrate des Wasserstandes: Langsame Anstiegs- und Abfallsraten verringern die Beeinträchtigung, hohe Anstiegs- und Abfallsraten verschärfen die Beeinträchtigung (mangels Reaktionszeit für die Fauna).

Abb. 26 > Typische Abflussganglinie eines Spülereignisses

Der Spülabfluss $Q_{\text{Spül}}$ ist der durch die Spülung typischerweise verursachte Mehrabfluss (Abflussspitze minus Grundabfluss).



Für den Bewertungsindikator Spülung und Entleerung werden zwei Indikatorwerte definiert:

Bewertungsindikator

- > der hydraulische Stress $I_{h, \text{Spül}}$, definiert als normierter Spülabfluss $Q_{\text{Spül}}$ zu mittlerem jährlichem Abfluss des Referenzzustands MQ_r , unter Berücksichtigung von zwei Korrekturfaktoren für den Zeitpunkt und die Anstiegsrate der Spülungen.
- > die Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen $f_{\text{Spül}}$ pro Jahr.

Da Spülungen und Entleerungen keine natürliche Entsprechung haben, fließt der Referenzzustand nur indirekt in einen der beiden Indikatorwerte ein.

Bezug zum Referenzzustand

Spülungen und Entleerungen haben keine natürliche Entsprechung; es wird deshalb keine natürliche Variabilität ausgedrückt.

Natürliche Variabilität

- > $I_{h, \text{Spül}}$: Hydraulischer Stress durch Spülungen und Entleerungen
- > $f_{\text{Spül}}$: Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen

Bewertungsgrößen

5.9.2 Berechnungen

Der Indikatorwert hydraulischer Stress durch Spülungen und Entleerungen $I_{h,Spül}$ ist wie folgt definiert.

Berechnung Indikatorwert $I_{h,Spül}$

$$I_{h,Spül} = (Q_{Spül} / MQ_r) \cdot k_{PR,Spül} \cdot k_t$$

$Q_{Spül}$	Spülabfluss (vgl. Kap. 3.7.6)
MQ_r	Mittlerer jährlicher Abfluss des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.4.2)
$k_{PR,Spül}$	Korrekturfaktor für die Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung, siehe unten
k_t	Korrekturfaktor für den Zeitpunkt der Spülungen, siehe unten

Der Korrekturfaktor $k_{PR,Spül}$ für die Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung wird wie folgt bestimmt:

- > $k_{PR,Spül} = 0.65$ bei einer maximalen Anstiegsrate ≤ 0.5 cm/min
- > $k_{PR,Spül} = 0.75$ bei einer maximalen Anstiegsrate $= 1$ cm/min
- > $k_{PR,Spül} = 1.00$ bei einer maximalen Anstiegsrate $= 2$ cm/min
- > $k_{PR,Spül} = 1.50$ bei einer maximalen Anstiegsrate ≥ 4 cm/min
- > Zwischen den angegebenen Eckpunkten wird linear interpoliert.

Der Korrekturfaktor k_t für den Zeitpunkt der Spülungen wird wie folgt bestimmt:

- > $k_t = 0.75$ bei zeitlichem Auftreten der Spülungen zu Zeiten mit Hochwasserabfluss
- > $k_t = 1.00$ bei zeitlichem Auftreten der Spülungen zu Zeiten mit Mittelwasserabfluss
- > $k_t = 1.50$ bei zeitlichem Auftreten der Spülungen zu Zeiten mit Niedrigwasserabfluss

Der Indikatorwert Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen $f_{Spül}$ ist direkt als hydrologische Kenngrösse definiert (vgl. Kap. 3.7.7). $f_{Spül}$ bezieht sich auf die Anzahl Spülereignisse bei verwendetem $Q_{Spül}$.

Berechnung Indikatorwert $f_{Spül}$

Treten deutlich unterschiedliche Spülereignisse auf, sind jene Spülungen zu berücksichtigen, die in der Kombination aus hydraulischem Stress und Häufigkeit die schlechteste Beurteilung gemäss der Klassierungsregel ergeben.

Hinweis

5.9.3 Klassierung

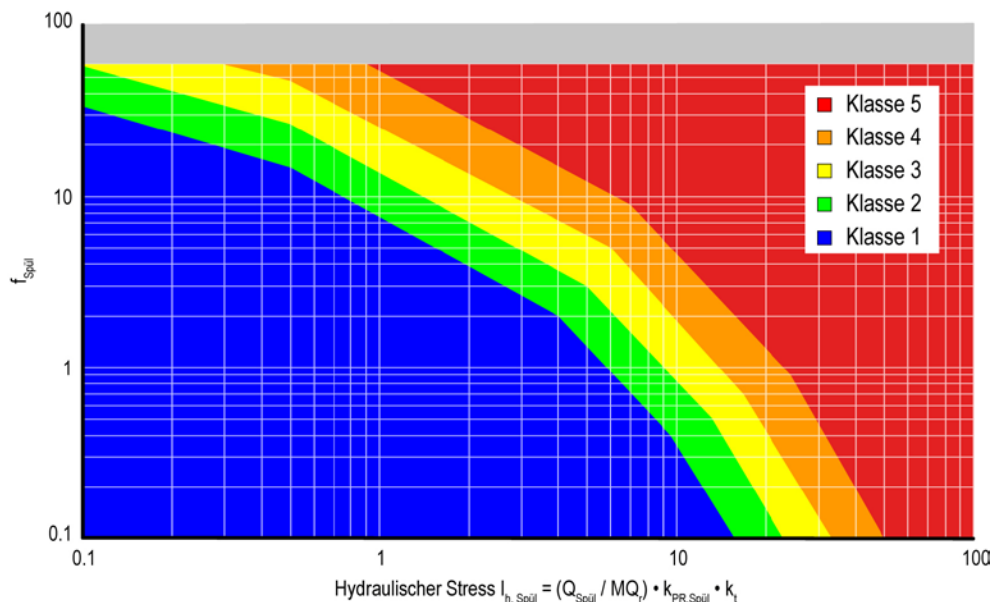
Die Klassierungsregel orientiert sich an der natürlichen Grösse und Häufigkeit von Hochwasserereignissen. Eine Differenzierung der Klassierung nach Abflussregimety-
pen ist aufgrund fehlender Anhaltspunkte nicht möglich.

Klassierungsregel

- > Der Verhältniswert $k_{\text{MHQ:MQ}}$ des mittleren jährlichen Hochwasserabflusses MHQ zu MQ (Momentanabflüsse) bewegt sich für die alpinen Gewässertypen um den Wert 10 und steigt für Fließgewässer im Mittelland auf Werte rund um 30 (vgl. Anhang A3, Abb. 43).
- > Die natürliche Häufigkeit von Hochwasserereignissen oberhalb des definierten Schwellenwertes variiert je nach Abflussregimety im Bereich von ca. 3–5 Ereignissen pro Jahr bei hoch-alpinen Gewässern bis zu ca. 10–13 Ereignissen in prä-alpinen Gewässern (vgl. Anhang A3, Abb. 44).
- > In Abb.27 ist ab dem Wert 60 für die Häufigkeit der Spülungen ein «grauer Bereich» eingezeichnet. Dies weist darauf hin, dass $f_{\text{Spül}}$ einen derart hohen Wert aufweist, dass eher das Schwall/Sunk-Phänomen vorliegt. Es ist deshalb zu prüfen, ob dieser Eingriff mit dem Bewertungsansatz Schwall/Sunk bewertet werden soll.

Abb. 27 > Klassierungsregel Spülung und Entleerung

Die Zustandsklasse wird grafisch aus dem Diagramm bestimmt. Die Farbe an der Schnittstelle der beiden Indikatorwerte zeigt die zutreffende Zustandsklasse an.



5.10 Regenwassereinleitungen

5.10.1 Herleitung und Definition

Wie die Herleitung des Bewertungsindikators Hochwasserhäufigkeit zeigt, sind Hochwasser einerseits sehr erwünscht. Auf der anderen Seite führt eine zu massive Zunahme der Häufigkeit dazu, dass keine ausreichenden Regenerationsphasen mehr vorhanden sind, in denen sich die Biozönosen von den Störereignissen erholen können, was zu starken Abweichungen der Organismenzusammensetzung führen kann (Hütte 2000), siehe auch Abb. 18 in Kap. 5.3.

Herleitung

Regenwassereinleitungen aus der Siedlungswasserwirtschaft können zu einer Erhöhung der Hochwasserhäufigkeit führen. Diese sind insbesondere bei kleineren Fließgewässern relevant, bei denen das Verhältnis der Einleitmenge zum natürlichen Abfluss ein gewisses Mass überschreitet. Dies ist bereits bei den Signifikanzkriterien berücksichtigt.

Mit diesem Bewertungsindikator werden die zusätzlichen Hochwasserereignisse, welche durch Regenwassereinleitungen verursacht werden, erfasst und beurteilt. Es ist hierbei zu beachten, dass diese Regenwassereinleitungen während Regenereignissen auftreten. Deshalb treten sie mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zeitgleich mit erhöhten Abflüssen im Vorfluter auf, wobei die Einleitung aufgrund der rasch anspringenden Siedlungsflächen akzentuiert ist und damit zeitlich vor dem natürlichen Abflussanstieg erfolgen kann.

Der eigentliche Bewertungsindikator ist die mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen f_E (Momentanabflüsse), welche ausdrückt, wie oft es durchschnittlich pro Jahr zu Regenwassereinleitungen mit Abflussspitzen oberhalb des Hochwasserschwellenwertes kommt.

Bewertungsindikator

Der Bewertungsindikator bezieht sich auf zusätzliche Hochwasserereignisse durch Regenwassereinleitungen. Im Referenzzustand kommen solche Ereignisse nicht vor.

Bezug zum Referenzzustand

Regenwassereinleitungen haben keine natürliche Variabilität, da sie im Referenzzustand nicht vorkommen.

Natürliche Variabilität

> f_E : Mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen (Momentanabflüsse)

Bewertungsgrößen

5.10.2 Berechnungen

Die mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen f_E (Momentanabflüsse) ist direkt als hydrologische Kenngrösse definiert (vgl. Kap. 3.7.9).

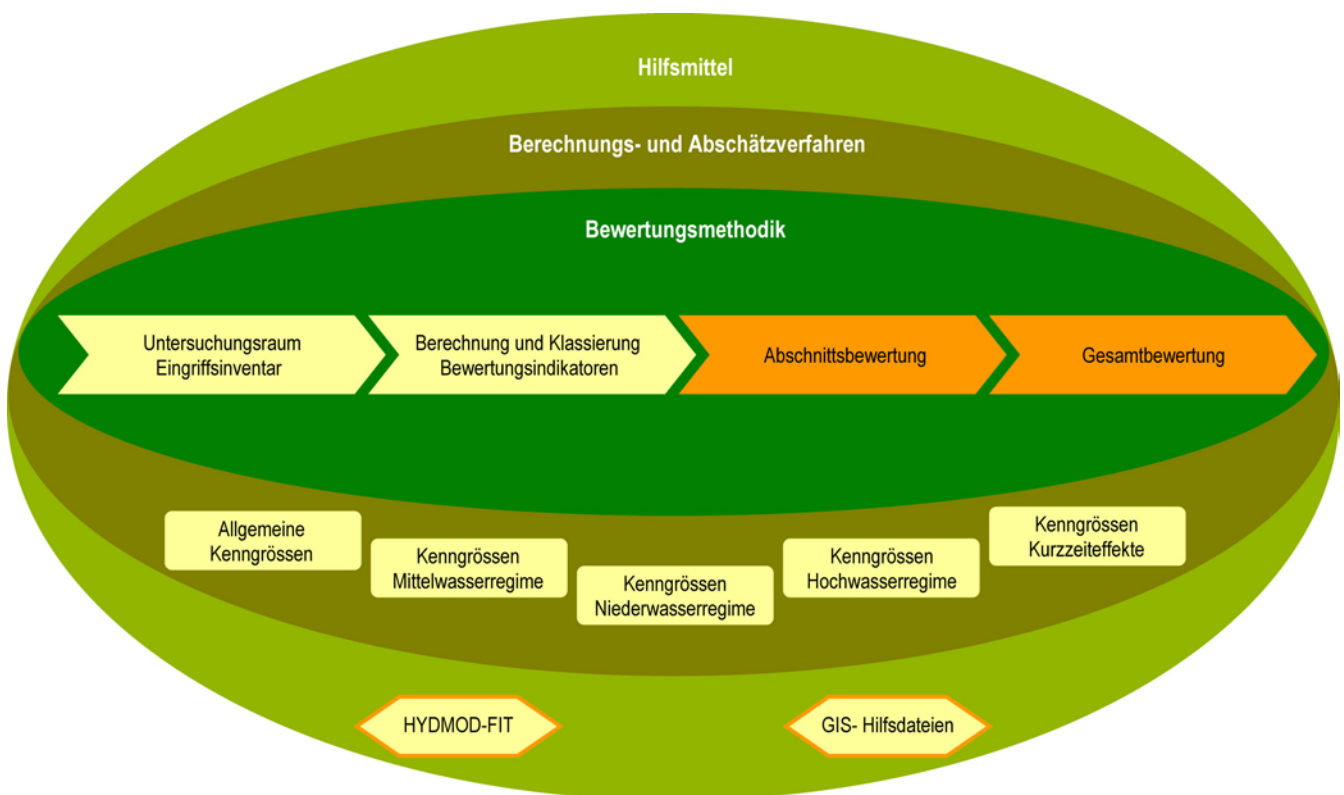
Berechnung Indikatorwert f_E

6 > Bewertung und Interpretation

Dieses Kapitel erläutert die Methodikschritte zur Bewertung der Gewässerabschnitte und der Gesamtbewertung sowie deren Interpretation.

Als Resultat der Abschnittsbewertung sind die Bewertungen der Einzelindikatoren am Punkt des Eingriffs auf Gewässerabschnitte umgelegt. Für die resultierenden Abschnittsbewertungen werden Interpretationshilfen zur Verfügung gestellt. In der Gesamtbewertung werden die Bewertungen der Einzelindikatoren pro Abschnitt zu einem einzigen Wert zusammengeführt.

Die Durchführung der Bewertungsschritte sollte mit Hilfe des Kapitels ohne vertiefte hydrologische Kenntnisse durchführbar sein. Für die Interpretation der Ergebnisse sind jedoch vertiefte Fachkenntnisse der Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerökologie nötig.



6.1 Abschnittsbewertung der Einzelindikatoren

6.1.1 Ausweisung von Gewässerabschnitten

Nach der Berechnung der Bewertungsindikatoren liegt eine punktuelle Bewertung an den Eingriffstellen vor. Diese punktuelle Information muss in einem nächsten Schritt auf das Gewässernetz umgelegt werden, welches dazu in Gewässerabschnitte unterteilt wird.

Von der Punktbewertung
zur Abschnittsbewertung

Das Gewässernetz wird für die Abschnittsbewertung in Gewässerabschnitte (GA) unterteilt, in welchen vergleichbare hydrologische Bedingungen vorherrschen. Für die Abgrenzung der GA wird beim ersten flussaufwärts gelegenen signifikanten Eingriff begonnen und in Fließrichtung die Abschnittsausweisung unternommen. Ein neuer Gewässerabschnitt wird definiert bei:

Ausweisung von
Gewässerabschnitten (GA)

- > einem weiteren signifikanten Eingriff
- > bei Einmündungen von Gewässern, an denen ebenfalls signifikante Eingriffe liegen
- > bei Einmündungen, bei denen die relative Zunahme der Einzugsgebietsfläche im Verhältnis zum Beginn des GA mehr als 15 % beträgt
- > bei einer relativen Zunahme der Einzugsgebietsfläche im Verhältnis zum Beginn des GA von mehr als 15 % (bei längeren Strecken ohne Einmündungen, z. B. in karstigem Gebiet)
- > bei starken Grundwasseraufstößen, die den mittleren Abfluss MQ_r verdoppeln.
- > bei einem See mit einem Volumen, das grösser als $1h \cdot MQ_r$ des betrachteten Zuflusses ist. Der See selber wird nicht bewertet und bildet keinen eigenen Gewässerabschnitt.

Das dritte Argument ist damit begründet, dass nicht jede Einmündung eines kleinen Zwischenzubringers die hydrologischen Bedingungen im Gewässer spürbar zu verändern mag. Zusätzlich rechtfertigen auch die Ungenauigkeiten in den hydrologischen Daten und Schätzwerten diese grobe räumliche Auflösung.

Die Abschnittsbildung muss nur soweit flussabwärts erfolgen, bis alle Bewertungsindikatoren Zustandsklasse 1 erreicht haben. Der Ablauf der Abschnittsbildung und der Abschnittsbewertung (siehe Kap. 6.1.2) erfolgt deshalb iterativ. Ein weiteres Kriterium für das Ende der Abschnittsbildung sind Seen mit einem Volumen, das grösser als $3h \cdot MQ_r$ des betrachteten Zuflusses ist. Folgt weiter flussabwärts erneut ein signifikanter Eingriff, so beginnt die Abschnittsbildung von neuem.

Ende der Abschnittsbildung

Für die Datenhaltung und die spätere kartografische Darstellung der Abschnittsbewertung wird die Verwendung eines GIS empfohlen. Als Basis für die Abschnittsbewertung dient idealerweise ein strukturiertes und kilometriertes Gewässernetz (siehe Kap. 3.1). HYDMOD-FIT liefert eine Vorlage zur Datenhaltung der Gewässerabschnitte und deren Bewertung.

GIS als Hilfsmittel

Bezugspunkt für die Berechnungen und Bewertungen (z.B. Einzugsgebietsfläche, hydrologische Kenngrösse des GA) ist jeweils das flussaufwärts gelegene Ende eines Gewässerabschnittes.

Bezugspunkt für Berechnungen

6.1.2 Vorgehen Abschnittsbewertung

Die Abschnittsbewertung wird für jeden Bewertungsindikator separat vorgenommen. Für einen Gewässerabschnitt (GA) ist der Bezugspunkt stets das flussauf gelegene Abschnittsende. Die Ausweisung der Abschnittsbewertung beginnt beim ersten flussaufwärts gelegenen signifikanten Eingriff, dessen Bewertung (Zustandsklasse) für den ersten Gewässerabschnitt übernommen wird. Für Indikatoren, die mangels erwarteter Beeinträchtigung nicht bewertet wurden, wird Zustandsklasse 1 angenommen.

Vorgehen Abschnittsbewertung

Die Auswirkungen der Eingriffe verändern sich flussabwärts mit dem Einfluss der Zuflüsse aus den Zwischeneinzugsgebieten und sonstiger Zubringer. Für die Bewertung der flussabwärts von Eingriffen gelegenen Gewässerabschnitte wird ein gewichtetes Mittel aus einerseits den Bewertungsergebnissen (Zustandsklassen) der flussauf am nächsten gelegenen signifikanten Eingriffe berücksichtigt. Eingriffe, die weiter oberhalb liegen, werden nicht berücksichtigt. Andererseits fliesst auch das unbeeinflusste Zwischeneinzugsgebiet zwischen den berücksichtigten Eingriffen und dem Beginn des GA inkl. Teileinzugsgebieten unbeeinflusster Zubringer ein, wobei den unbeeinflussten Teilflächen die Zustandsklasse 1 zugewiesen wird. Als Gewichte dienen die jeweiligen Einzugsgebietsflächen. Es kommt also folgende Formel zur Anwendung:

$$Z_{GA} = \sum_i Z_i \cdot A_{EZG,i} / \sum_i A_{EZG,i}$$

ZGA Zustandsklasse am Gewässerabschnitt

Zi Zustandsklasse der berücksichtigten flussauf gelegenen signifikanten Eingriffe sowie 1 für alle unbeeinflussten Zwischen- und Teileinzugsgebiete

AEZG,i Einzugsgebietsflächen an den berücksichtigten flussauf gelegenen signifikanten Eingriffe sowie Flächen aller unbeeinflussten Zwischen- und Teileinzugsgebiete

Weisen ein oder mehrere Eingriffe die grau dargestellte Zustandsklasse «ohne Bewertung» auf, so werden die entsprechenden Teileinzugsgebiete nicht berücksichtigt, wenn sie in der Summe <15 % des Gesamteinzugsgebiets betragen. Wenn der Flächenanteil grösser ist, resultiert für den entsprechenden Gewässerabschnitt die graue Zustandsklasse.

Umgang mit Zustandsklasse grau
«ohne Bewertung»

Die berechneten Werte Z_{GA} können beliebige Werte zwischen 1 und 5 annehmen. Da aber eine eindeutige Zuteilung in eine der Bewertungsklassen gefordert ist, kommen für die kartografische Darstellung die normalen Rundungsregeln zur Anwendung.

Falls sich flussabwärts von Eingriffen eine Messstation mit Aufzeichnungen vor und nach Beginn des Eingriffs befindet (Referenz- und beeinflusster Zustand vorhanden), so wird eine direkte Auswertung der Bewertungsindikatoren aus den Abflussdaten empfohlen. Damit kann die gemäss oben stehender Anleitung generierte Abschnittsbewertung überprüft werden.

Plausibilisierung
Abschnittsbewertung anhand
Messdaten

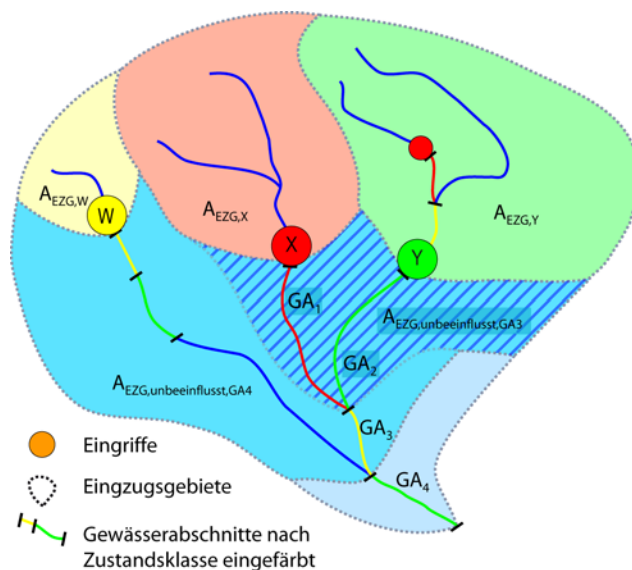
Das Vorgehen ist in Abb. 30 anhand eines Beispiels mit mehreren Eingriffen illustriert. Die Bewertungen der Gewässerabschnitte 1 bis 4 (GA_1 - GA_4) kommen wie folgt zustande:

Anwendungsbeispiel

- > $Z_{GA1} = Z_x$: Es wird die Zustandsklasse des Eingriffs X übernommen.
- > $Z_{GA2} = Z_y$: Es wird die Zustandsklasse des Eingriffs Y übernommen. Weiter flussaufwärts liegende Eingriffe werden nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass deren Einfluss in der Bewertung an der Eingriffsstelle von Y bereits integriert ist.
- > $Z_{GA3} = (Z_x \cdot A_{EZG,x} + Z_y \cdot A_{EZG,y} + 1 \cdot A_{EZG,unbeeinflusst,GA3}) / (A_{EZG,x} + A_{EZG,y} + A_{EZG,unbeeinflusst,GA3})$: Es wird der flächengewichtete Mittelwert der Zustandsklassen der beiden am nächsten oberhalb liegenden Eingriffe sowie des unbeeinflussten Zwischeneinzugsgebiets oberhalb des Anfangspunkts von GA_3 gebildet.
- > $Z_{GA4} = (Z_x \cdot A_{EZG,x} + Z_y \cdot A_{EZG,y} + Z_w \cdot A_{EZG,w} + 1 \cdot A_{EZG,unbeeinflusst,GA4}) / (A_{EZG,x} + A_{EZG,y} + A_{EZG,w} + A_{EZG,unbeeinflusst,GA4})$: Es wird der flächengewichtete Mittelwert der Zustandsklassen der drei am nächsten oberhalb liegenden Eingriffe sowie des unbeeinflussten Zwischeneinzugsgebiets oberhalb des Anfangspunkts von GA_4 (inkl. $A_{EZG,unbeeinflusst,GA3}$) gebildet.

Abb. 30 > Beispiel Vorgehen Abschnittsbewertung

Schematische Darstellung eines Einzugsgebietes mit mehreren Eingriffen und Gewässerabschnitten.



6.2 Darstellung der Bewertung

Die Darstellung der Ergebnisse kann einerseits kartografisch, andererseits tabellarisch erfolgen.

6.2.1 Kartografische Darstellung

Für die kartografische Darstellung stehen Symbolisierungsvorschläge als GIS-Hilfsdateien (Layer-Dateien für ESRI-Software) sowie vorgefertigte Legenden zur Verfügung (siehe Beispiel in Abb. 31). Es wird empfohlen, für jeden Bewertungsindikator sowie für die Gesamtbewertung (siehe Kap. 6.4) eine separate Karte zu erstellen.

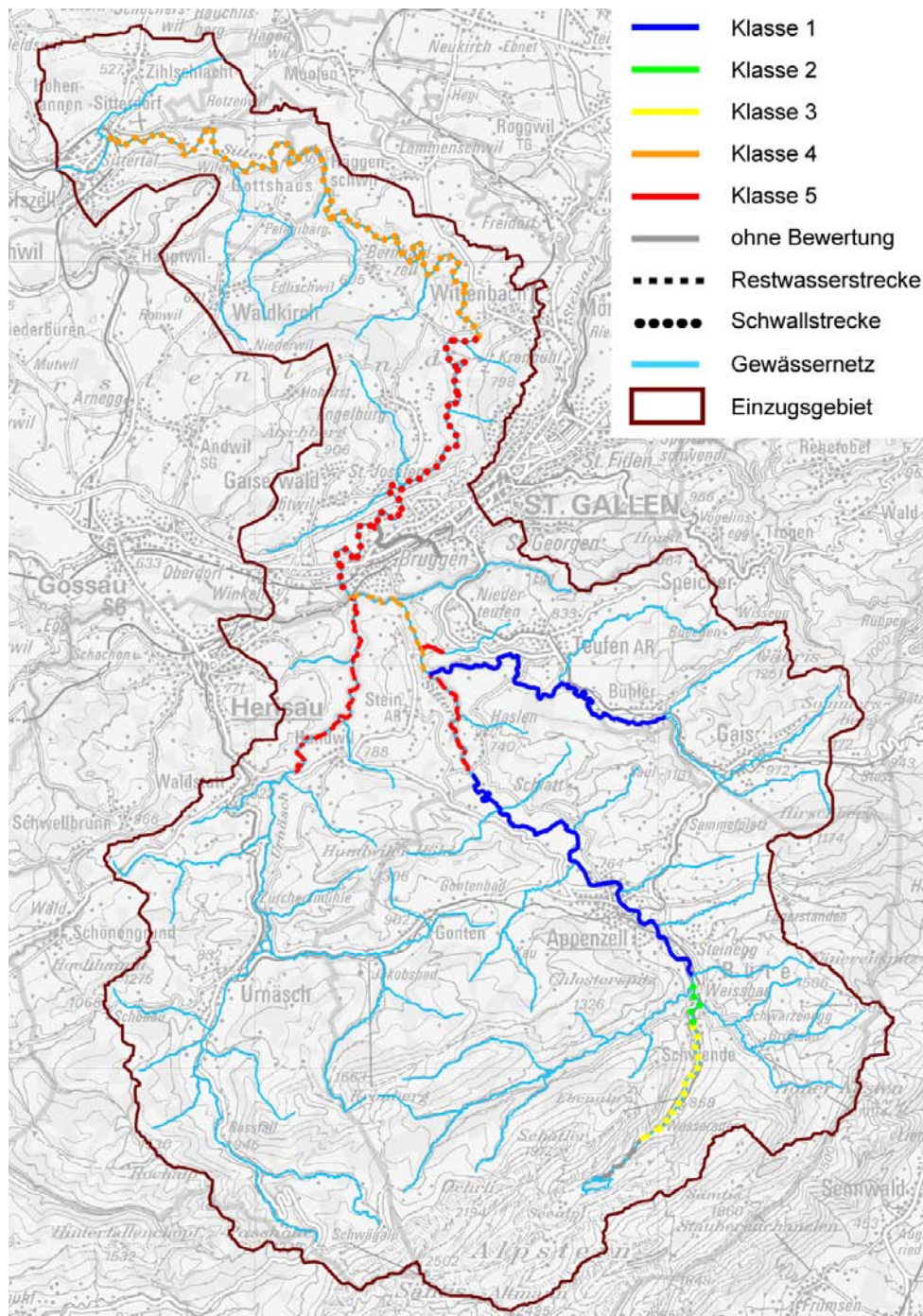
Neben der Abschnittsbewertung werden die Restwasser- und Schwall-/Sunkstrecken zusätzlich zur Darstellung empfohlen. Als Restwasserstrecke bzw. Schwall-/Sunkstrecke werden jene Abschnitte gekennzeichnet, bei denen der entsprechende Bewertungsindikator eine schlechtere Klassierung als Zustandsklasse 1 aufweist (siehe Beispiel in Abb. 31).

Kartografische Darstellung
mit GIS-Hilfsdateien

Restwasser- und
Schwall-/Sunkstrecken

Abb. 31 > Beispiel zur kartografischen Darstellung der Bewertungsergebnisse

Bewertungskarte (Gesamtbewertung) am Beispiel der Sitter, Kt. SG, AI und AR.



(c) 2010 swisstopo (BA100271)

6.2.2 Tabellarische Darstellung

Die Bewertungen der ausgewiesenen Gewässerabschnitte können auch in einer tabellarischen Darstellung aufbereitet werden. Es wird empfohlen, die Bewertungsergebnisse der neun Bewertungsindikatoren neben der numerischen Erfassung auch farbcodiert wiederzugeben. Damit kann in dieser tabellarischen Darstellung ein rascher Überblick über die hydrologischen Defizite gewonnen werden. Die folgende Abbildung zeigt ein entsprechendes Beispiel. HYDMOD-FIT beinhaltet eine Funktionalität zur Generierung einer solchen farbcodierten Tabelle aus den Ergebnissen der Abschnittsbewertung.

Abb. 32 > Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Gewässerabschnitt

Jede Zeile repräsentiert einen Gewässerabschnitt, welcher über eine eindeutige Gewässerbezeichnung (z. B. die Gewässerlaufnummer GWLNR gemäss VECTOR25) sowie die Kilometrierung definiert wird. Die übrigen Spalten zeigen farb-codiert die Zustandsklassen für die einzelnen Bewertungsindikatoren sowie für die Gesamtbewertung (siehe Kap. 6.4).

GA-ID	Kilometrierung		Bewertungsindikator									gesamt	Bewertungsindikatoren
	von	bis	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1068	13.500	14.230											1 Mittelwasser-Abflussverlauf
1074	0.500	1.250											2 Hochwasserhäufigkeit
1076	3.452	6.254											3 Hochwasser-Saisonalität
1088	36.210	37.580											4 Niedrigwasserabfluss
1097	25.100	27.003											5 Niedrigwasser-Saisonalität
1128	23.654	23.825											6 Dauer Niedrigwasserperioden
1147	2.001	2.085											7 Schwall/Sunk-Phänomen
1164	6.589	7.065											8 Spülung und Entleerung
1186	8.000	10.523											9 Regenwassereinsleitungen

6.3 Interpretation der Bewertung

Die Klassierungsergebnisse von HYDMOD-F sind zu verstehen als Natürlichkeitsgrad des Abflussregimes und als Risiko-Hinweis aus hydrologischer Sicht, einen ökologisch schlechten Zustand zu haben. Diese Risikoeinschätzung wird differenziert nach verschiedenen Bewertungsindikatoren vorgenommen. Für eine ökologische Beurteilung ist aber eine Gesamtschau mit weiteren Faktoren wie z. B. Morphologie und Wasserqualität nötig.

In der folgenden Tabelle werden deshalb zu jedem Bewertungsindikator Hinweise gegeben, welches die Risiken für Gewässerabschnitte mit Zustandsklasse 3–5 sein könnten und welche weiteren Faktoren für die ökologische Interpretation zu berücksichtigen sind.

Tab. 11 > Interpretationshilfe zu den Bewertungsergebnissen

Es werden die ökologischen Risiken und empfohlene weitergehende Untersuchungen durch Fachspezialisten für Gewässerabschnitte mit Zustandsklasse 3–5 aufgezeigt.

Bewertungsindikator	Ökologische Risiken	Weitere Faktoren und empfohlene Abklärungen
Mittelwasser-Abflussverlauf	Verminderter Gewässerlebensraum, Verkleinerung der benetzten Fläche (d. h. Grundwasseraustauschfläche), verringerte Verdünnung von Schmutzstoffen	Für die Auswirkungen eines veränderten Mittelwasser-Abflussverlaufs spielen die Gewässermorphologie und die regionale Hydrologie eine Rolle. Bei natürlicherweise geringem Grundwasseraustausch, engen Gewässerprofilen und gering belasteten Gewässern sind weniger ausgeprägte Auswirkungen zu erwarten als in umgekehrten Fällen. Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen: • Bedeutung der Grundwasserinfiltration/-exfiltration • Empfindlichkeit der unterliegenden Gewässer (inkl. Seen) auf verminderte Austauschraten und höhere Schmutzstoff-Konzentrationen • Bedeutung des Gewässerlebensraums im Uferbereich, einschliesslich allfälliger Auen Falls damit die Veränderung des Mittelwasser-Abflussverlaufs nicht als unbedenklich klassiert werden kann, wird eine Feldaufnahme des örtlichen Gewässerlebensraums im Uferbereich, die Beobachtung der Pegel in den abhängigen Grundwasserträgern und ein Monitoring der Wasserqualität in den unterliegenden Gewässern empfohlen.
Hochwasserhäufigkeit	Veränderung der Artenzusammensetzung auf Überschwemmungsflächen; verstärktes Algenwachstum und Kolmation der Gewässersohle bei Reduktion der Hochwasserhäufigkeit	Für die Auswirkungen einer veränderten Hochwasserhäufigkeit spielen die Gewässermorphologie und die regionale Hydrologie eine Rolle. Bei engen Gewässerprofilen und natürlicherweise geringem Geschiebenachschub sind andere und teilweise weniger ausgeprägte Auswirkungen zu erwarten als in umgekehrten Fällen. Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen: • Empfindlichkeit der Fisch-Laichgründe auf verstärktes Algenwachstum • Bedeutung der Grundwasserinfiltration/-exfiltration • Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf Veränderungen im Feststoff- und Sauerstoffhaushalt • Bedeutung des Gewässerlebensraums im Uferbereich, einschliesslich allfälliger Auen Falls damit die Veränderung der Hochwasserhäufigkeit nicht als unbedenklich klassiert werden kann, wird eine Feldaufnahme der örtlichen Überschwemmungsräume sowie die Beobachtung des Algenwachstums und der Fischreproduktion empfohlen.
Hochwasser-Saisonalität	Beeinträchtigung des Fischreproduktionszyklus durch zeitlich verschobenen Geschiebetrieb	Ökologisch negative Auswirkungen einer veränderten Hochwasser-Saisonalität können sich vor allem in Fischgewässern zeigen. Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen: • Empfindlichkeit allfällig vorhandener Fisch-Laichgründe auf Hochwasser im Jahresverlauf Falls damit die Veränderung der Hochwasser-Saisonalität nicht als unbedenklich klassiert werden kann, wird eine Beobachtung der örtlichen Fischreproduktion empfohlen.
Niedrigwasserabfluss	Eingeschränkte Fischwanderung, verminderter Lebensraum für Gewässerfauna, verschlechterte Wasserqualität, erhöhte Wassertemperaturen	Für die Auswirkungen eines veränderten Niedrigwasserabflusses spielen die Gewässermorphologie und die Gewässergrösse eine Rolle. Bei grossen Gewässern und engen Gewässerprofilen sind weniger ausgeprägte Auswirkungen zu erwarten als in umgekehrten Fällen. Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen: • Fischdurchgängigkeit bei Niedrigwasser • Vorhandensein von Rückzugsräumen bei Niedrigwasser • Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf Temperaturerhöhungen • Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf erhöhte Schadstoffkonzentrationen Falls damit die Veränderung des Niedrigwasserabflusses nicht als unbedenklich klassiert werden kann, wird die Beobachtung der Fischwanderung und der Funktionsfähigkeit der Rückzugsräume sowie die Beobachtung der übrigen Gewässerfauna und -flora empfohlen.

Bewertungsindikator	Ökologische Risiken	Weitere Faktoren und empfohlene Abklärungen
Niedrigwasser-Saisonalität	Beeinträchtigung des Fischreproduktionszyklus durch zeitlich verschobene Niedrigwasserbedingungen	Zu beachten sind insbesondere die Auswirkungen auf die verschiedenen Lebenszyklen der aquatischen Fauna mit Aufzucht-, Ruhe- und Erholungsphasen. Im Übrigen gelten die Ausführungen zum Niedrigwasserabfluss.
Dauer Niedrigwasserperioden	Verstärkung der Niedrigwasser-Auswirkungen auf Grund der Dauer der Einwirkung	Für die Auswirkungen von längeren Niedrigwasserperioden spielen die regionale Hydrologie und das regionale Klima eine Rolle. Bei geringem Grundwasseraustausch und gemässigtem Klima sind weniger ausgeprägte Auswirkungen zu erwarten als in umgekehrten Fällen. Im Übrigen gelten die Ausführungen zum Niedrigwasserabfluss.
Schwall/Sunk-Phänomen	Hydraulischer Stress (Stärke der Strömung, Trübung, Verdriftung, Feststofftransport etc.) sowie ständig wechselnde Lebensraumbedingungen, Trockenfallen von teilweise grossen Uferflächen	Für die Auswirkungen von Schwall/Sunk-Phänomenen spielt die Gewässermorphologie eine bedeutende Rolle. In geraden oder kanalisierten Flussläufen ist mit einer Verdriftung von Invertebraten bei starkem und raschem Abflussanstieg zu rechnen, während bei verzweigten Flussläufen eher das Stranden der Fische bei einer raschen Abnahme der benetzten Breite heikel ist. Weiter kann es bei regelmässig auftretenden sehr kleinen Sunkabflüssen zu kritischen Restwasser-ähnlichen Verhältnissen kommen (siehe Bewertungsindikator Niedrigwasserabfluss). Grundsätzlich gilt, dass in ökomorphologisch gut strukturierten Gewässern die negativen Auswirkungen durch das Vorhandensein von Rückzugsräumen etwas abgeschwächt werden. Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen: • Generelle Empfindlichkeit der örtlichen Ökomorphologie auf Schwall/Sunk, unter Beachtung eventueller Grundwasserinfiltration • ökologische Durchgängigkeit bei Sunk • ökologische Beurteilung der Spitzen und Häufigkeit von Schwall/Sunk im Jahresverlauf Falls damit der Schwall/Sunk-Eingriff nicht als unbedenklich klassiert werden kann, wird eine Feldaufnahme der örtlichen Gewässerbiologie und deren Vergleich mit Referenzgewässern empfohlen.
Spülung und Entleerung	Hydraulischer Stress (Stärke der Strömung, Trübung, Verdriftung, Feststofftransport etc.) sowie abrupt wechselnde Lebensraumbedingungen, Versiltung und Versandung	Im Allgemeinen gelten bezüglich der Auswirkungen die Ausführungen zu Schwall/Sunk-Phänomen. Für Spülungen und Entleerungen typisch ist ein starker Anstieg von Trübung und Feststofftransport. Entsprechende Empfindlichkeiten der örtlichen Gewässerbiologie sind besonders zu beachten. Falls die Spülungen und Entleerungen diesbezüglich nicht als unbedenklich klassiert werden können, wird eine Feldaufnahme der örtlichen Gewässerbiologie und deren Vergleich mit Referenzgewässern empfohlen.
Regenwassereinleitungen	Hydraulischer Stress (Stärke der Strömung, Trübung, Verdriftung, Feststofftransport etc.), Schadstoffspitzen, sowie abrupt wechselnde Lebensraumbedingungen	Im Allgemeinen gelten bezüglich der Auswirkungen die Ausführungen zu Schwall/Sunk-Phänomen. Kleinere Gewässer reagieren in der Regel empfindlicher auf Regenwassereinleitungen als grosse. Für Regenwassereinleitungen typisch ist ein schneller Anstieg bezüglich Abfluss und Schadstoffspitzen. Entsprechende Empfindlichkeiten sind besonders zu beachten. Falls diesbezüglich die Regenwassereinleitungen nicht als unbedenklich klassiert werden können, wird eine Feldaufnahme der örtlichen Gewässerbiologie und deren Vergleich mit Referenzgewässern empfohlen.

6.4

Aggregation zur Gesamtbewertung

Nach der Abschnittsbewertung liegen für alle ausgewiesenen Gewässerabschnitte die Bewertungen der neun Bewertungsindikatoren als Einzelbewertung vor. Das Modul-Stufen-Konzept verlangt jedoch eine Gesamtbewertung pro Modul, die einen raschen Überblick über den Zustand ermöglicht.

Gesamtbewertung erforderlich

Durch eine Aggregation der neun Einzelbewertungen muss also eine Gesamtbewertung pro Gewässerabschnitt erreicht werden. Die Definition der Aggregationsregel beruht auf folgenden Überlegungen:

Überlegungen zur
Aggregationsregel

- > Die Bildung eines Mittelwerts aus allen Einzelbewertungen ist nicht zulässig, da sie unterschiedliche Aspekte bewerten, zwischen denen keine Kompensationseffekte erwartet werden.
- > Da bereits ein schlechter Zustand bezüglich eines oder weniger Bewertungsindikatoren das Ökosystem beeinträchtigen kann, muss die Gesamtbewertung in Richtung «worstcase» gehen.
- > Die Erfahrung von Pilot-Auswertungen zeigte jedoch, dass eine reine worstcase-Regel eine zu pessimistische Gesamtbewertung bewirkt, insbesondere in Situationen, wo nur ein einziger Bewertungsindikator sehr schlecht abschneidet und alle anderen einen guten Zustand aufweisen.
- > Eine allgemeingültige Gewichtung zwischen den Bewertungsindikatoren ist fachlich nicht begründbar.
- > Der Bewertungsindikator Schwall/Sunk-Phänomen hat eine Sonderstellung, da bei Strecken mit Schwall/Sunk oft nur dieser Indikator schlecht abschneidet, was der ökologischen Relevanz nicht gerecht wird. Andere Phänomene wie z. B. Restwasserstrecken werden durch mehrere Indikatoren abgebildet. Im Falle von Schwall/Sunk genügt bereits eine schlechte Bewertung dieses einzelnen Indikators, um einen insgesamt schlechten Zustand aufzuzeigen, d. h. eine worstcase-Bewertung ist angezeigt.

Die daraus abgeleitete Aggregationsregel bezieht sowohl die schlechteste der neun Einzelbewertungen (worstcase) als auch einen Summenwert aller Einzelbewertungen ein.

Aggregationsregel mit «worst case» und Summenwert

Der Summenwert der Einzelbewertungen wird durch Aufsummieren der folgenden Punktzahlen in Abhängigkeit der Zustandsklasse der Einzelbewertungen gebildet:

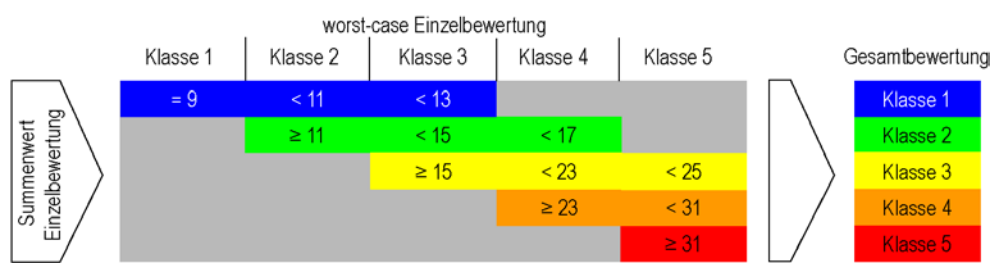
Bildung Summenwert aus den
Zustandsklassen der Einzel-
bewertungen

- > Klasse 1: 1 Punkt
- > Klasse 2: 2 Punkte
- > Klasse 3: 4 Punkte
- > Klasse 4: 8 Punkte
- > Klasse 5: 12 Punkte

Anschließend wird die zutreffende Zustandsklasse der Gesamtbewertung gemäss der Klassierungsregel bestimmt. Diese ist so konzipiert, dass die worstcase-Zustandsklasse resultiert, wenn diese bei den Einzelbewertungen mindestens zweimal vorkommt. Weiter wird eine Verbesserung gegenüber dem worstcase-Wert um zwei Zustandsklassen berücksichtigt, wenn ausser dem Bewertungsindikator mit der worstcase-Zustandsklasse alle anderen Indikatoren Klasse 1 aufweisen.

Abb. 33 > Klassierungsregel Gesamtbewertung

Schematische Darstellung der Aggregationsregel zur Ermittlung der Gesamtbewertung mit Berücksichtigung von « worst case» und Summenwert. Ausnahme: wenn der Bewertungsindikator Schwall/Sunk-Phänomen eine schlechtere Klassierung aufweist, wird diese für die Gesamtbewertung übernommen.



Für einen Gewässerabschnitt weist ein Bewertungsindikator die Klasse 5 auf, bei zwei weiteren resultiert Klasse 3, bei den restlichen liegt Klasse 1 vor. Worstcase-Wert ist also Klasse 5, der Summenwert der Einzelbewertungen beträgt 26. In der Spalte mit worstcase-Klasse 5 wird das Kriterium Summenwert <31 erfüllt, womit als Gesamtbewertung die Klasse 4 resultiert.

Lesebeispiel

Bei Strecken mit ausgeprägtem Schwall/Sunk wird die Klassierung des Bewertungsindikators Schwall/Sunk-Phänomen als Gesamtbewertung übernommen, falls dies eine schlechtere Klassierung ergibt als die oben beschriebene Aggregationsregel. Grund dafür ist, dass dieses ökologisch relevante Phänomen oft nur durch diesen einzelnen Indikator abgebildet wird.

Ausnahme Schwall/Sunk

Für diejenigen Indikatoren, die gemäss Kapitel 5.1 nicht zu berücksichtigen waren, wird angenommen, dass keine Beeinträchtigung vorliegt und deshalb Zustandsklasse 1 zutrifft. Die betreffenden Indikatoren fliessen entsprechend als Klasse 1 in die Gesamtbewertung ein.

Umgang mit nicht ausgewerteten Indikatoren

Weisen ein oder mehrere Bewertungsindikatoren die grau dargestellte Zustandsklasse «ohne Bewertung» auf, so resultiert in der Regel auch in der Gesamtbewertung die graue Zustandsklasse, da die Gesamtbewertung mit der gewählten Aggregationsregel nicht bestimmt werden kann. Falls jedoch zwei oder mehr Bewertungsindikatoren Zustandsklasse 5 aufweisen, so resultiert auch in der Gesamtbewertung diese Klasse.

Umgang mit Zustandsklasse grau «ohne Bewertung»

Die Ergebnisse der Gesamtbewertung können analog den Ergebnissen der Einzelbewertungen aufbereitet und dargestellt werden (siehe Kap. 6.2, Abb. 31).

Darstellung der Gesamtbewertung

> Anhang Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen

A1 Übersicht Auswertungen und Referenzstationen

Aschwanden und Weingartner (1985) hatten die 16 Abflussregimetypen der Schweiz durch Auswertungen von Referenzstationen unter Betrachtung des saisonalen Verlaufs des Mittelwasserabflusses definiert. Diese Auswertungen wurden durch das BAFU im Jahr 2004 aktualisiert. Sie sind in den folgenden Anhängen A2 und A3 sowie auf der Website des BAFU verfügbar (www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Grundlagen und Daten > Informationssysteme und Methoden > Grobe Abschätzung hydrologischer Kenngrössen über den Abflussregimetyp).

Mit einem umfassenden Set von 359 Referenzstationen wurden mit Bezug auf die Abflussregimetypen verschiedene Auswertungen zu hydrologischen Kenngrössen gemacht. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Anhang A3 zusammengestellt und betreffen folgende Kenngrössen:

- > Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss M_q und dessen Variationskoeffizient
- > Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss M_{Hq} (Tagesabflüsse) und dessen Variationskoeffizient
- > Faktoren $k_{M_{Hq}:M_q}$, basierend auf maximalen Tagesabflüssen resp. auf maximalen Momentanabflüssen (letzteres mit reduziertem Set an Referenzstationen)
- > Hochwasserhäufigkeit f_{Hq} mit Hochwasserswellenwert $0.6 \cdot M_{Hq}$ (Momentanabflüsse) und deren Variationskoeffizient (mit reduziertem Set an Referenzstationen)
- > Spezifischer Niedrigwasserabfluss q_{347} und dessen Variationskoeffizient
- > Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss M_{Nq} und dessen Variationskoeffizient
- > Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode d_{Q347} und deren Variationskoeffizient

Für die Aktualisierung der Pardéoeffizienten Pk_i wurde die Auswahl der Referenzstationen so eingeschränkt, dass pro Abflussregimetyp je eine ähnliche Anzahl Stationen zur Verfügung stand. Mit der gleichen Auswahl von 90 Referenzstationen wurden auch R-Werte (natürliche Variabilität von M_q und Pk_i von Einzeljahren zu deren langjährigen Mittelwerten) ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Anhang A2 zusammengestellt.

Bei der Auswahl der verwendeten Referenz-Abflussmessstationen wurden folgende Kriterien angewendet:

- > Grösse der Einzugsgebiete zwischen 0.5 und 600 km²
- > Beobachtungsdauer mindestens 5 Jahre
- > Keine Einzugsgebiete, in denen Seen Teilflächen >25 % des Gesamtgebietes erfassen

Umfassendes Set
(359 Referenzstationen): diverse hydrologische Kenngrössen

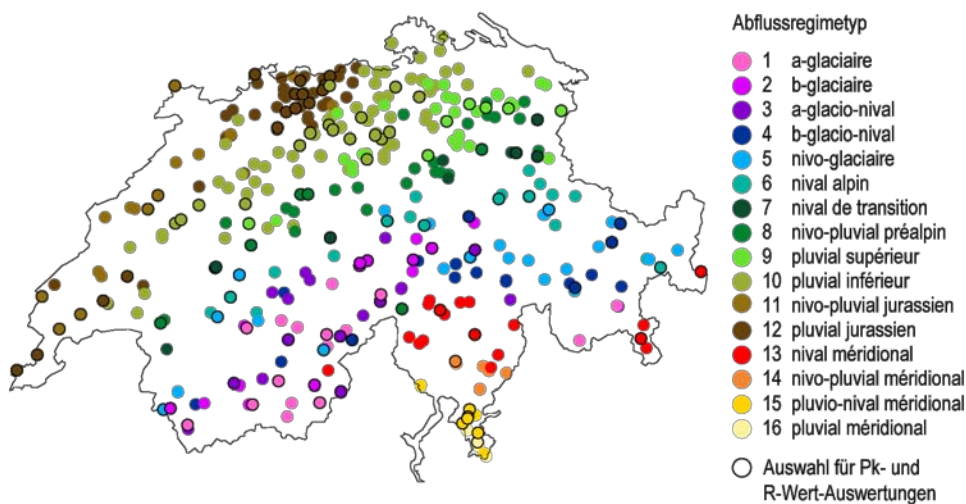
Reduziertes Set
(90 Referenzstationen): Pk_i und R-Werte

Auswahlkriterien
Referenzstationen

- > Keine massgebende anthropogene Beeinflussung des Abflussregimes (Wasserentnahmen, Speicherseen, etc.)
- > Regimetyp bestimmbar (keine Beeinflussung, Seeneinfluss, etc.)
- > Unabhängigkeit, d.h. keine nahe beieinander liegenden Stationen am gleichen Gewässer

Abb. 34 > Übersicht Referenzstationen

Lage und Regimetyp der für die Abflussregimetyp-spezifischen Analysen verwendeten Referenzstationen. Die schwarz umrandeten Stationen stellen eine Auswahl von 90 Referenzstationen dar, welche für die Pk- und R-Wert-Auswertungen verwendet wurden (siehe Anhang A2).



Tab. 12 > Auswahl der 90 Referenzstationen für Pk- und R-Wert-Auswertungen

Auswahl von je einer ähnlichen Anzahl Stationen pro Abflussregimetyp aus dem vollständigen Set der Referenzstationen.

Regimetyp	Name Referenzstation	Messperiode	Dauer (in Jahren)
1	Rhone(Rotten)-Gletsch	1956–2000	45
1	Trübbach-Räzliberg	1952–1995	44
1	Rosegbach-Pontresina	1960–2001	42
1	Lonza-Blatten	1956–2001	46
1	Massa-Blatten bei Naters	1965–2001	16
2	Alpbach-Erstfeld, Bodenberg	1977–2000	24
2	Borgne-La Lurette	1926–1956	31
2	Drance de Bagnes-Le Châble, Villette	1922–1955	34
2	Linth-Tierfehd	1918–1961	44
2	Simme-Oberried/Lenk	1950–2001	52
3	Engelberger Aa-Engelberg	1955–1990	36
3	Gornerbach-Kiental	1950–1982	33

Regimetyp	Name Referenzstation	Messperiode	Dauer (in Jahren)
3	Hinterrhein-Hinterrhein	1945–2001	57
3	Inn-St.Moritzbad	1923–2001	79
3	Lütschine-Gsteig	1923–2001	79
3	Weisse Lütschine-Zweilütschinen	1933–2001	69
3	Witenwasserrennuss-Realp	1957–1986	30
4	Chamuerabach-La Punt-Chamues-ch	1973–2001	29
4	Reuss-Andermatt	1910–2001	92
4	Salanfe-Montagne de Salanfe	1929–1949	21
4	Dischmabach-Davos, Kriegsmatte	1964–2001	38
4	Somvixer Rhein-Alp Sutgatschèr	1932–1974	43
5	Engelberger Aa-Büren	1922–1966	45
5	Engstligenbach-Engstligenalp	1950–1965	16
5	Hinterrhein-Andeer, Bad Pignieu	1923–1959	37
5	Julia-Tiefencastel	1919–1948	30
5	Schächen-Bürglen	1931–1965	35
5	Tamina-Vättis	1959–1975	17
6	Allenbach-Adelboden	1950–2001	52
6	Grosstalbach-Isenthal	1957–2001	45
6	Ova dal Fuorn-Zemez, Punt la Drossa	1960–2001	42
6	Muota-Ingenbohl	1923–2001	79
6	Plessur-Chur	1931–2001	71
7	Sihl-Untersiten	1921–1936	16
7	Grande Eau-Aigle	1935–2000	66
7	Minster-Euthal, Rüti	1961–2001	41
7	Thur-Stein, Itlishag	1964–2001	38
7	Sitter-Appenzell	1969–2001	33
8	Necker-Necker	1923–1933	11
8	Alp-Trachslau, Rüti	1925–1950	26
8	Thur-Bütschwil	1922–1974	53
8	Sense-Thörishaus	1928–2001	74
8	Emme-Eggiwil, Heibüel	1975–1999	25
8	Baye de Montreux-Les Avants	1933–1974	42
8	Urnäsch-Hundwil, Aschentobel	1962–2001	40
8	Emme-Emmenmatt	1918–2001	84
9	Glatt-Herisau, Zellersmühle	1965–2001	36
9	Goldach-Goldach	1962–2001	40
9	Rietholzbach-Mosnang, Rietholz	1976–2001	26
9	Steinach-Steinach	1962–2001	40
9	Töss-Wülflingen	1965–2002	36
10	Aach-Salmsach, Hungerbühl	1962–2001	40
10	Bibere-Kerzers	1956–2001	46
10	Broye-Payerne	1968–2001	34
10	Bünz-Othmarsingen	1977–1999	22

Regimetyp	Name Referenzstation	Messperiode	Dauer (in Jahren)
10	Langeten-Huttwil, Häberenberg	1966–2001	36
10	Murg-Wängi	1922–2001	62
10	Töss-Neftenbach	1921–2001	81
10	Wyna-Unterkulm	1977–1999	22
11	Areuse-Boudry	1984–2001	18
11	Birse-Moutier, La Charrue	1923–2001	79
11	Noirigue-Noirigue	1959–1979	21
11	Suze-Sonceboz	1961–2001	41
11	Orbe-Le Chenit	1971–2001	31
12	Ergolz-Liestal	1934–2001	68
12	Parimbot-Ecublens, Eschiens	1979–2001	23
12	Mentue-Dommartin, La Scie	1975–1990	16
12	Sissle-Eiken	1977–1997	20
12	Allondon-Dardagny, Les Granges	1986–2001	16
12	Talbach-Schinznach-Dorf	1980–1999	19
13	Moesa-San Giacomo	1919–1928	10
13	Brenno-Campora	1920–1930	11
13	Brenno-Olivone	1921–1930	10
13	Ticino-Piotta	1925–1945	21
13	Krummbach-Klusmatten	1952–2001	48
13	Calancasca-Buseno	1952–1962	11
13	Riale di Calneggia-Cavergno, Pontit	1967–2001	35
13	Poschiavino-La Rösä	1970–2001	32
13	Bavona-Bignasco	1932–1952	21
14	Riale di Roggiasca-Roveredo	1966–2001	36
14	Traversagna-Arbedo	1980–2001	22
14	Veduggio-Isone	1980–2002	23
14	Riale di Gnosca-Gnosca	1979–2002	24
14	Verzasca-Lavertezzo, Campiöi	1990–2001	12
15	Cassarate-Pregassona	1967–2002	36
15	Magliasina-Magliasio, Ponte	1980–2001	22
15	Veduggio-Bioggio, Acquedotto CDALD	1981–2000	20
16	Faloppia-Chiasso	1969–1980	12
16	Laveggio-Penate, Mendrisio	1981–2002	22
16	Scairolo-Figino	1982–2002	21

A2 Auswertungen Pardéoeffizienten (Pk_i) und R-Werte

Die im Folgenden beschriebenen Auswertungen der Pardéoeffizienten Pk_i und R-Werte wurden mit dem reduzierten Set von 90 Referenzstationen erstellt (vgl. Tab. 12 in Anhang A1).

Für jeden Abflussregimetyp wurde auf der Basis der Referenzstationen der Mittelwert (MPk) sowie die Ober- und Untergrenze (OG resp. UG) des Erwartungs (EB)- und des Schwankungsbereichs (SB) der Pardéoeffizienten Pk_i wie folgt ermittelt:

Auswertungen
Pardéoeffizienten Pk_i

- > **Mittelwert:** Aus den Pardéoeffizienten der Pk_i (langjähriger Mittelwert) der einzelnen Referenzstationen eines Regimetyps wurde der Mittelwert MPk pro Regimetyp ermittelt.
- > **Erwartungsbereich:** Die obere resp. untere Grenze des Erwartungsbereichs entspricht dem maximalen resp. minimalen Pk_i-Wert (langjähriger Mittelwert) der Referenzstationen eines Regimetyps.
- > **Schwankungsbereich:** Aus den jährlichen Schwankungen der Pk_i-Werte werden das mittlere 25 %- und 75 %-Quantil eines Regimetyps bestimmt und der Erwartungsbereich um die Differenz dieser Werte zum langjährigen Mittelwert erweitert. Das Schwankungsband deckt damit vereinfacht gesagt 50 % aller Fälle (zwischen dem 25 % und dem 75 %-Quantil) der natürlich auftretenden Variabilität ab.

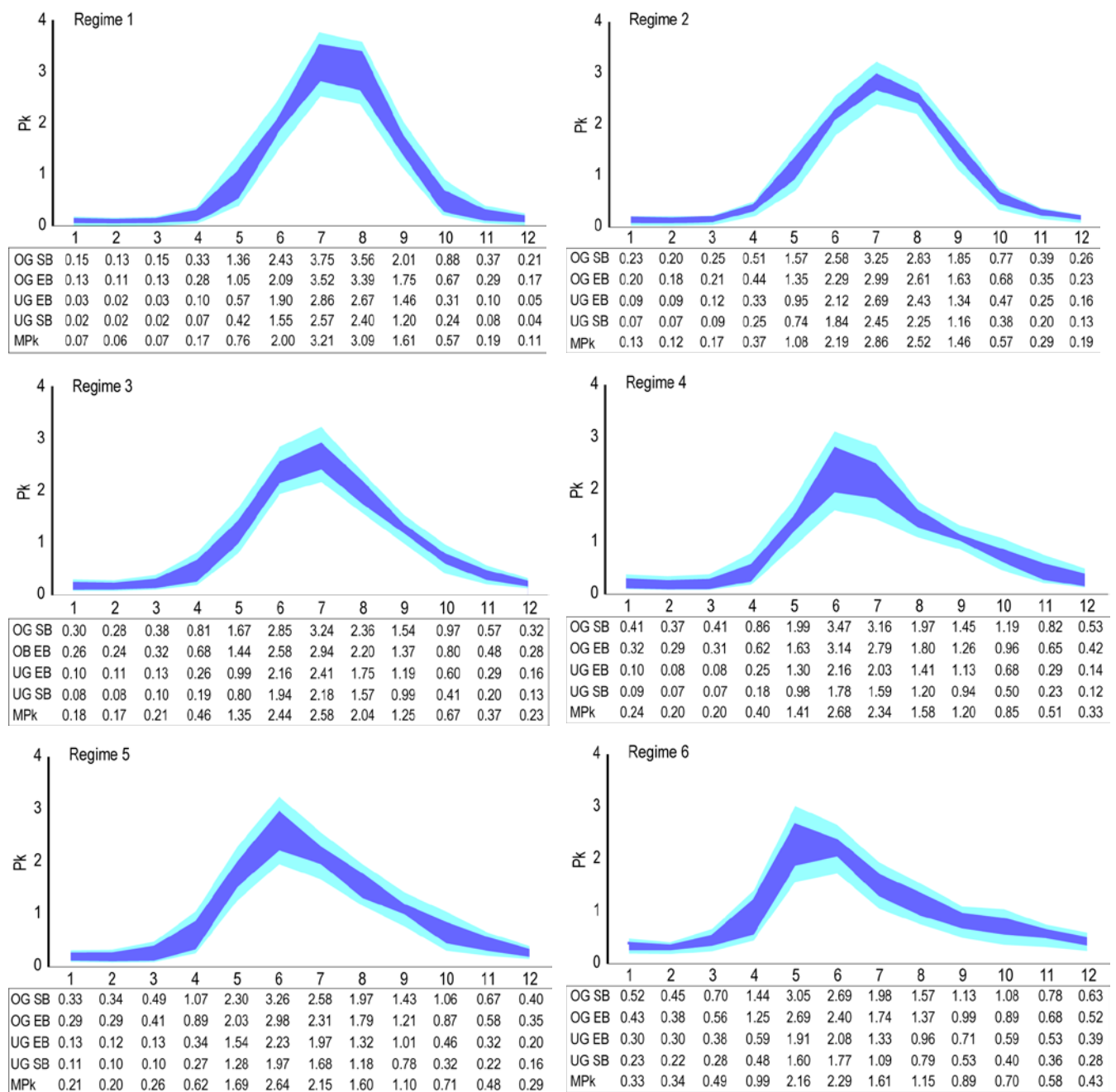
Im Detail wird bei der Berechnung des Schwankungsbereichs so vorgegangen, dass für die einzelnen Referenzstationen (n) das Pk-75 %-Quantil ($Pk_{i,n}^{75}$) der Pk-Werte für die einzelnen Monate (i) berechnet wird. Daraus wird für die Einzelmonate das mittlere Pk-75 %-Quantil des Regimetyps (Pk_i^{75}) ermittelt und damit die Differenz zum monatlichen Mittelwert bestimmt. Diese Differenz wird durch den monatlichen Mittelwert dividiert, um eine relative Differenz zu erhalten ($= \Delta 75_i$). Der maximale Pk-Wert des Erwartungsbereiches wird um diese relative Differenz erhöht, um so die obere Grenze des Schwankungsbereiches (OG SB) zu erhalten:

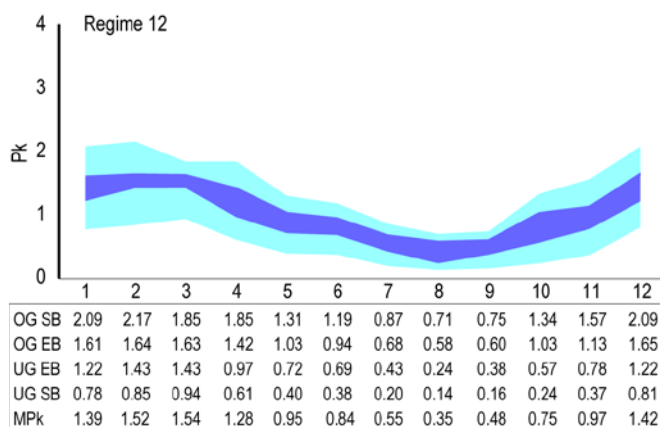
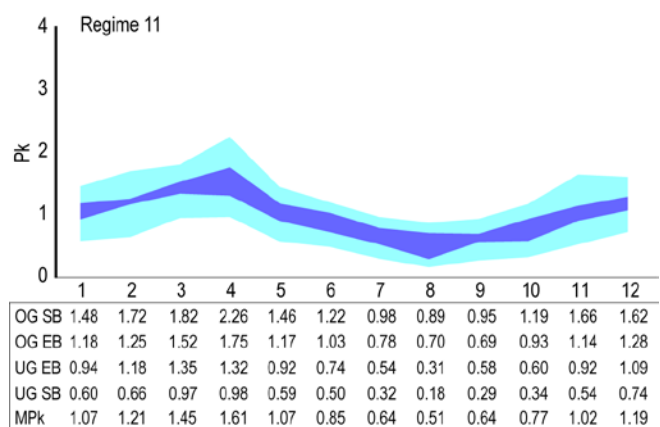
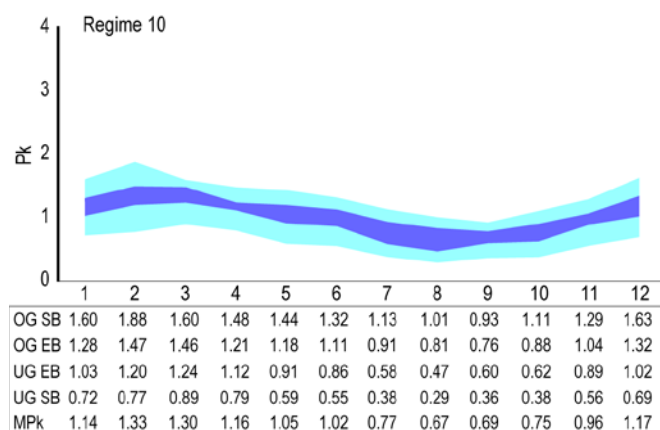
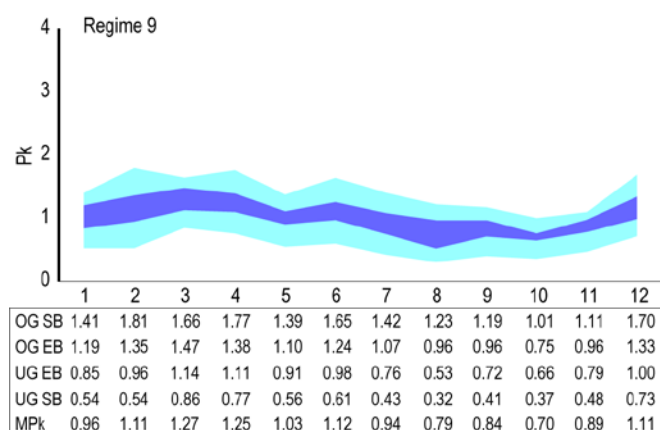
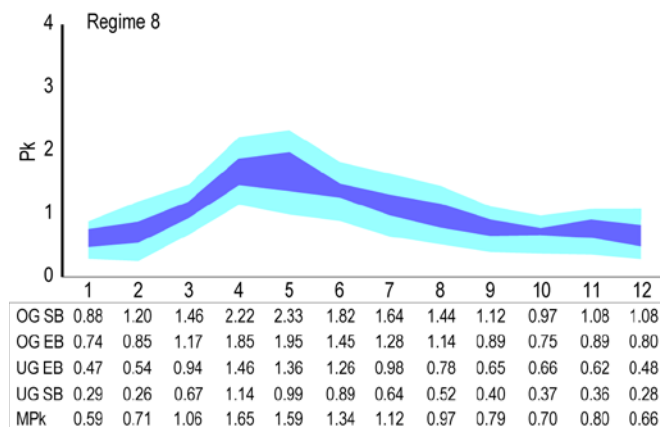
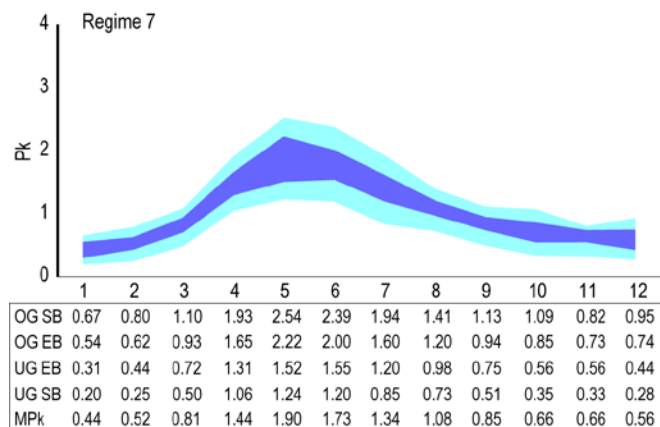
$$OG\ SB = \max(Pk_{i,n}) \cdot (1 + \overline{\Delta 75_i})$$

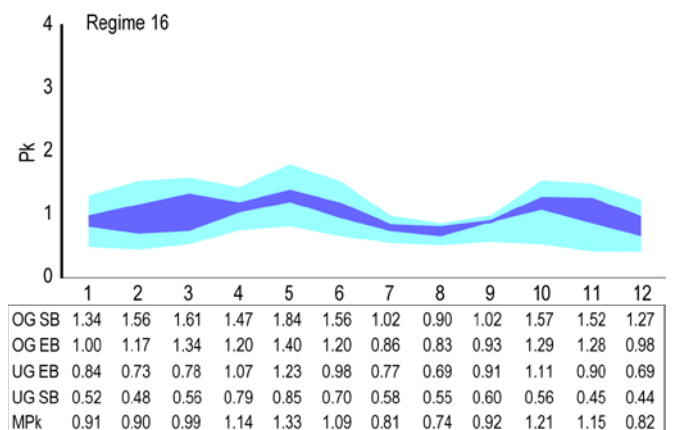
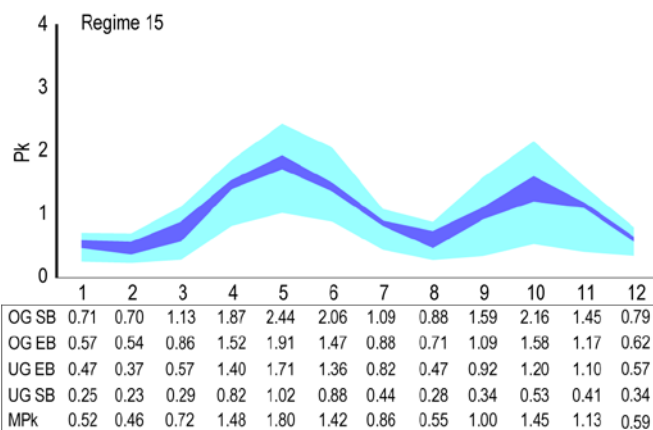
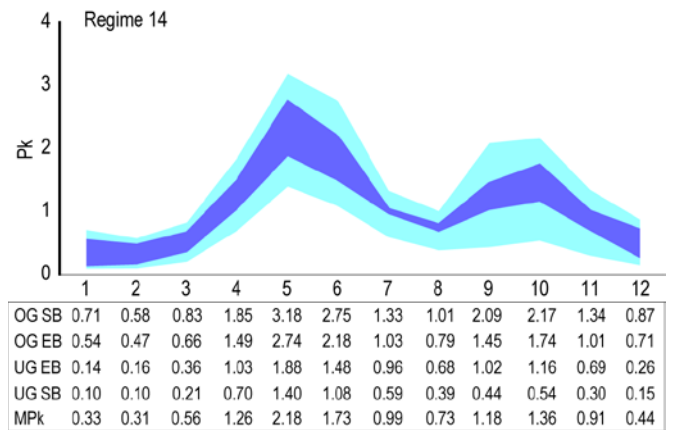
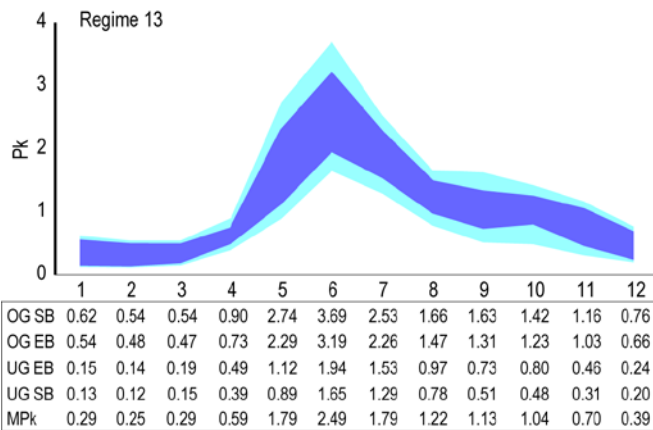
Analog wird die Untergrenze des Schwankungsbereiches (UG SB) bestimmt:

$$UG\ SB = \min(Pk_{i,n}) \cdot (1 - \overline{\Delta 25_i})$$

Die folgende Abbildung zeigt für alle Regimetypen die grafische Aufbereitung dieser Auswertungen inklusive der berechneten Werte. Sie sind auch auf der Website des BAFU verfügbar (www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Grundlagen und Daten > Informationssysteme und Methoden > Grobe Abschätzung hydrologischer Kenngrößen über den Abflussregimetyp).

Abb. 35 > Abflussregimetyp-spezifische Auswertung von P_k 



**Legende**

- OG SB: Obergrenze Schwankungsbereich
- OG EB: Obergrenze Erwartungsbereich
- UG EB: Untergrenze Erwartungsbereich
- UG SB: Untergrenze Schwankungsbereich
- MPk: Mittelwert Pardékoefizient

R-Werte bringen die natürliche Variabilität von MQ und Pk von Einzeljahren um deren langjährigen Mittelwert zum Ausdruck (vgl. Pfaundler et al. 2006). Auf der Basis der in Tab. 12 aufgelisteten Referenzstationen wurden Abflussregimetyp-spezifische R-Wert-Auswertungen durchgeführt. Der Abflussregimetyp-spezifische R-Wert $R_{j, \text{Regimetyp}}$ eines Einzeljahres j zum langjährigen Mittelwert ist eine relative Grösse und bezieht die Summe der Absolutbeträge aller Differenzen zwischen den Monatsabflüssen eines Einzeljahres und den mittleren Monatsabflüssen auf die Summe der mittleren Monatsabflüsse.

$$R_{j, \text{Regimetyp}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} |MMQ_i - MMQ_{i,j}|}{\left(\sum_{i=1}^{12} MMQ_i \right) \text{ des Regimetyps}}$$

$R_{j, \text{Regimetyp}}$ R-Wert Einzeljahr j zu langjährigem Mittelwert des Regimetyps

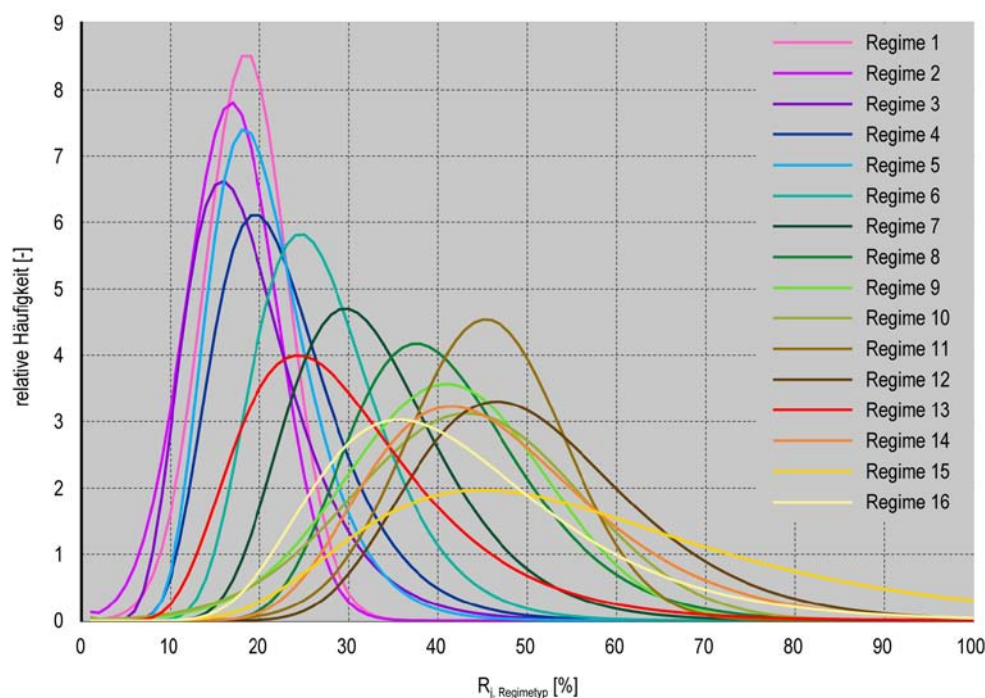
MMQ_i Mittlere monatliche Abflüsse für den Monat i

$MMQ_{i,j}$ Mittlere monatliche Abflüsse für den Monat i des Jahres j

In einer Grundlagenarbeit (Pfaundler et al. 2006) wurden für jeden Abflussregimetyp auf der Basis der Referenzstationen eine Vielzahl von R-Werten von Einzeljahren $R_{j, \text{Regimetyp}}$ gerechnet und daraus Histogramme erstellt. Die folgende Abbildung zeigt die theoretischen Verteilungsfunktionen dieser Histogramme. Sie zeigt eine geringe natürliche Variabilität von MQ und Pk alpiner Regimes, resp. eine grössere Variabilität von Regimetypen des Mittellandes.

Abb. 36 > Abflussregimetyp-spezifische Auswertung der R-Werte $R_{j, \text{Regimetyp}}$

Theoretische Verteilungsfunktionen der R-Werte pro Regimetyp.



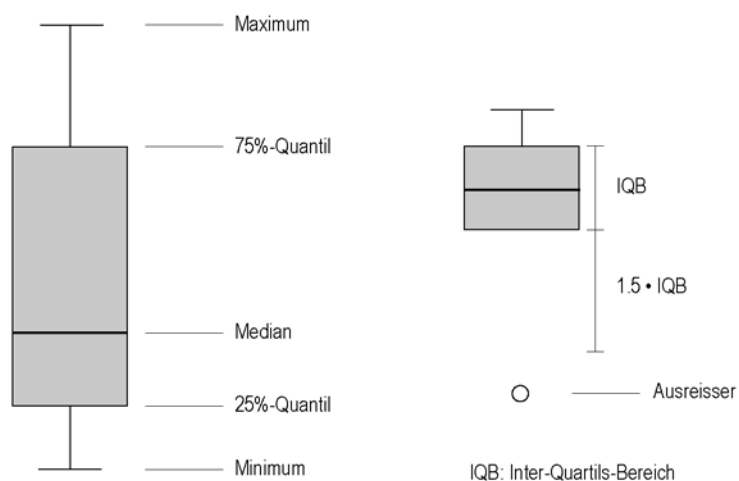
A3 Auswertungen weitere hydrologische Kenngrößen

Die folgenden Auswertungen zu den verschiedenen hydrologischen Kenngrößen wurden sofern nicht anders vermerkt mit dem umfassenden Set von 359 Stationen erstellt. Sie werden jeweils in den folgenden zwei Darstellungsarten gezeigt:

- > Als Box-Plot pro Regimetyp
- > Räumliche Verteilung der Medianwerte, angezeigt in Farbkategorien

Abb. 37 > Lesehilfe Box-Plots

Ein sogenannter Box-Plot zeigt die Extremwerte (Minimum und Maximum), das untere und obere Quartil (25 %- resp. 75 %-Quantil) sowie den Median (50 %-Quantil) einer Messreihe und vermittelt einen schnellen Überblick über die Lage und die Streuung der Messwerte. Minimum und Maximum werden in den vorliegenden Darstellungen als Ausreisser dargestellt, wenn die Distanz zwischen ihnen und dem unteren resp. oberen Quartil mehr als das 1.5-fache des Inter-Quartil-Bereichs (IQB), also der Differenz zwischen den beiden Quartilen, beträgt.



Die folgenden Abbildungen sind auch auf der Website des BAFU verfügbar (www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Grundlagen und Daten > Informationssysteme und Methoden > Grobe Abschätzung hydrologischer Kenngrößen über den Abflussregimetyp).

Abb. 38 > Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss M_q [l/s · km²]

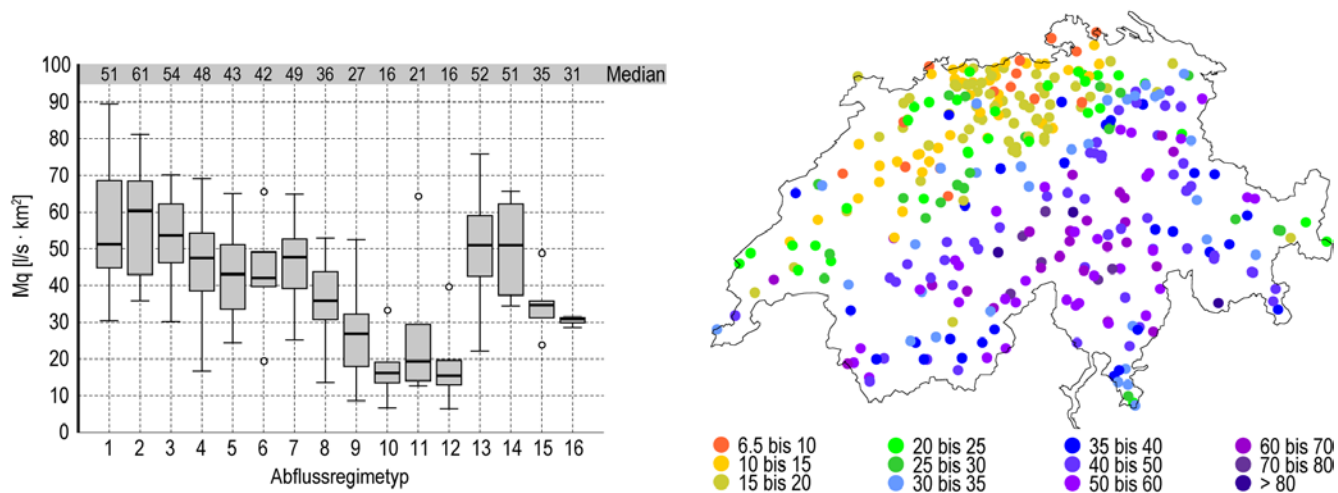


Abb. 39 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Abfluss CV-MQ [%]

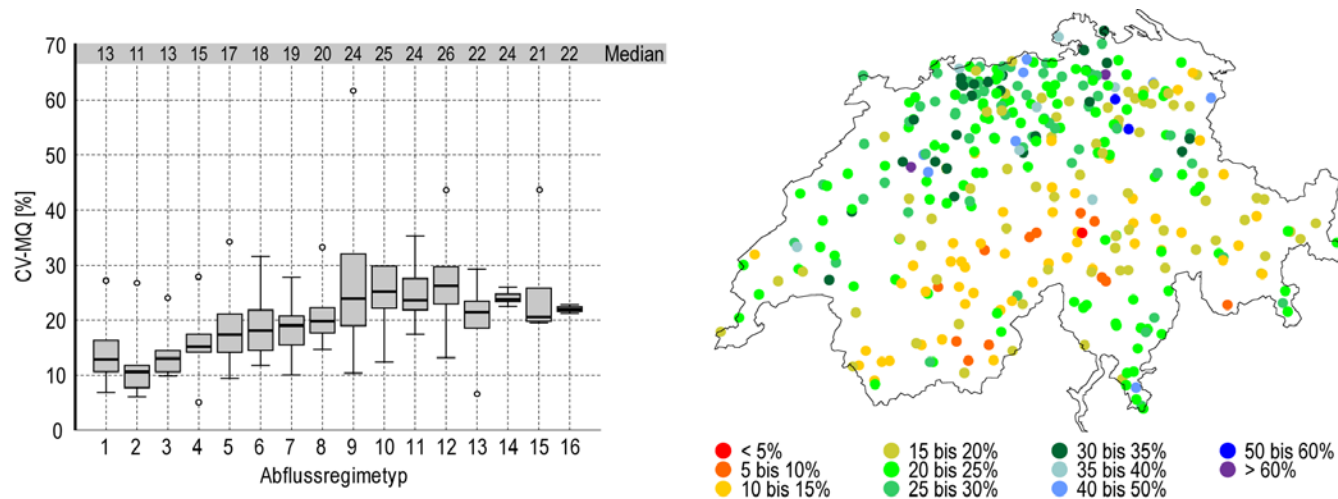


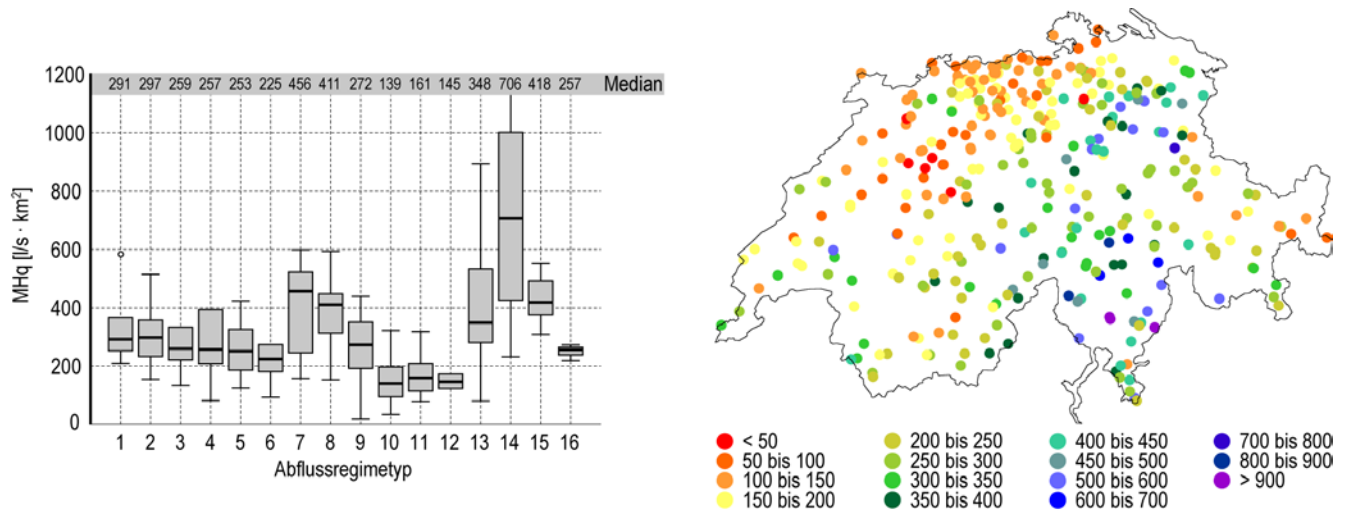
Abb. 40 > Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) MHQ [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]

Abb. 41 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) CV-MHQ [%]

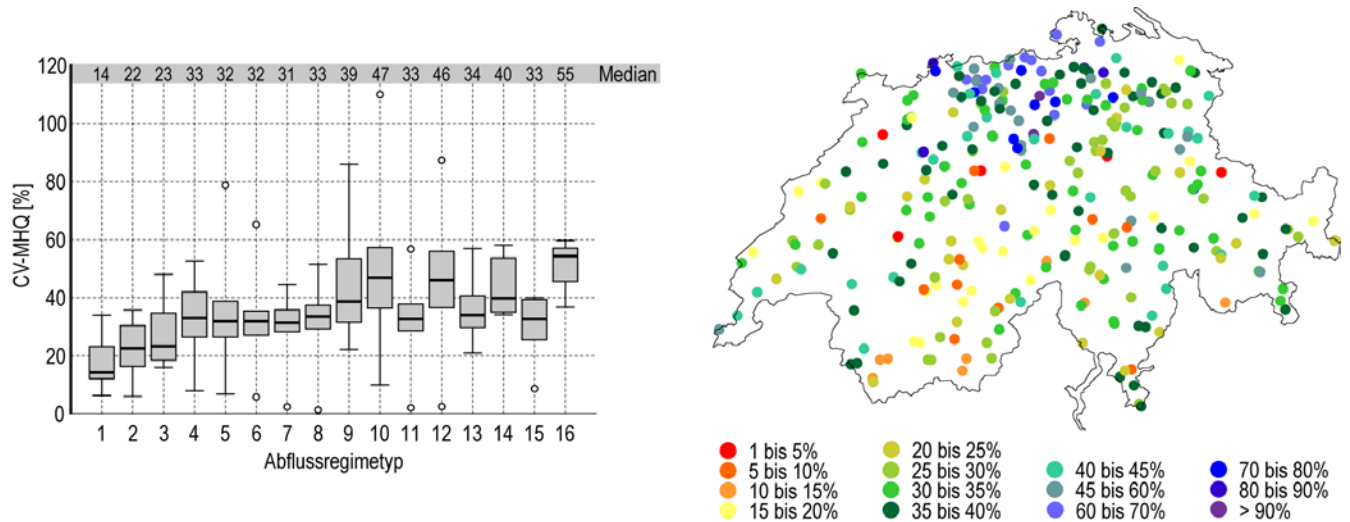


Abb. 42 > Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Tagesabflüssen)

Datengrundlage für MHQ sind jährlich maximale Tagesabflüsse.

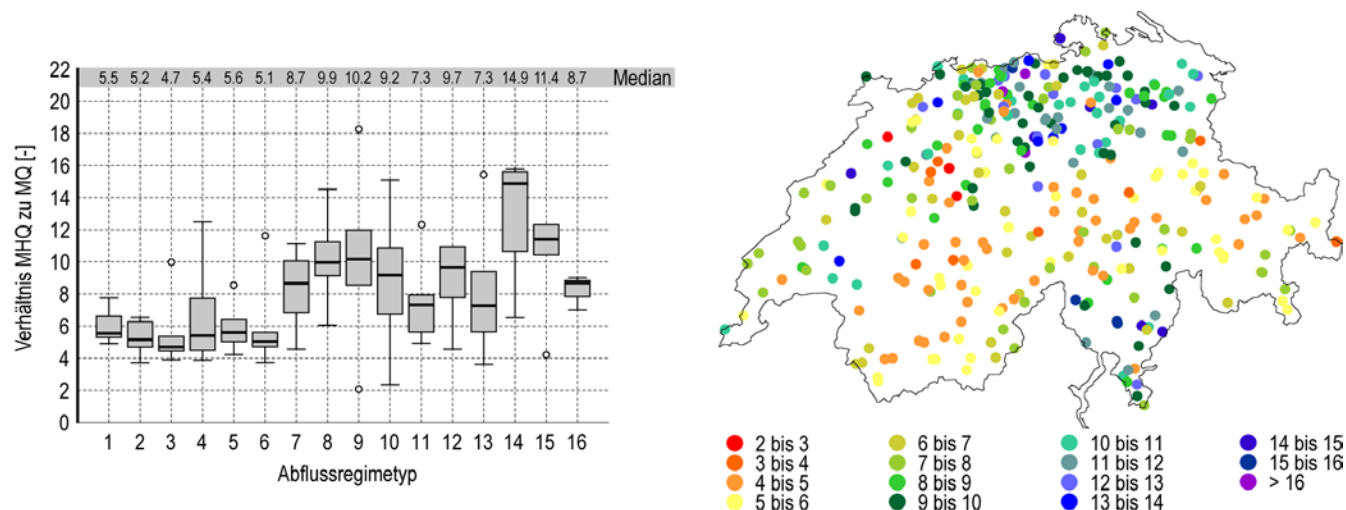


Abb. 43 > Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Momentanabflüssen)

Datengrundlage für MHQ sind jährlich maximale Momentanabflüsse. Reduziertes Set an Referenzstationen aufgrund Datenverfügbarkeit mit z. T. sehr knapper Datengrundlage.

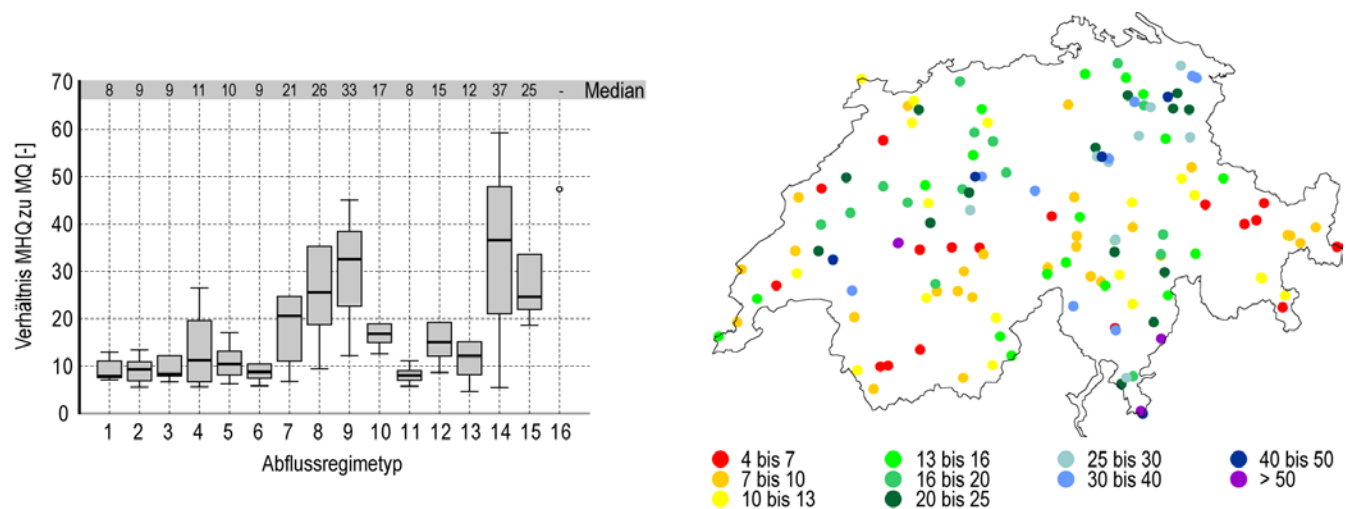
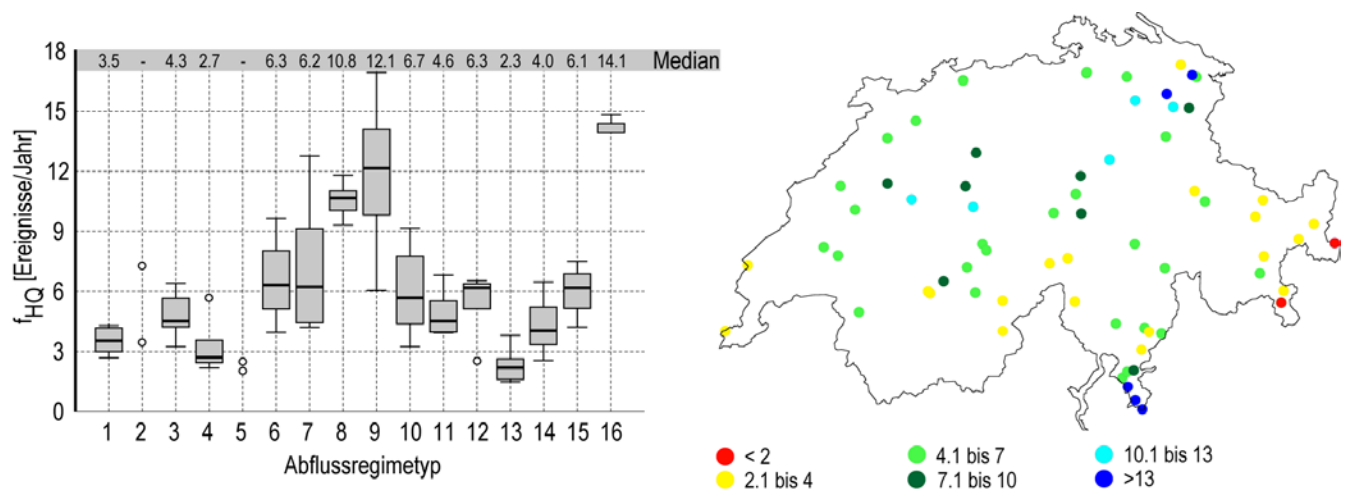


Abb. 44 > Hochwasserhäufigkeit f_{HQ} [Ereignisse/Jahr] mit Schwellenwert 0.6·MHQ

Datengrundlage sind Momentanabflüsse.

Reduziertes Set an Referenzstationen aufgrund Datenverfügbarkeit mit z. T. sehr knapper Datengrundlage.

**Abb. 45** > Variationskoeffizient Hochwasserhäufigkeit $CV\text{-}f_{HQ}$ [%] mit Schwellenwert 0.6·MHQ

Datengrundlage sind Momentanabflüsse.

Reduziertes Set an Referenzstationen aufgrund Datenverfügbarkeit mit z. T. sehr knapper Datengrundlage.

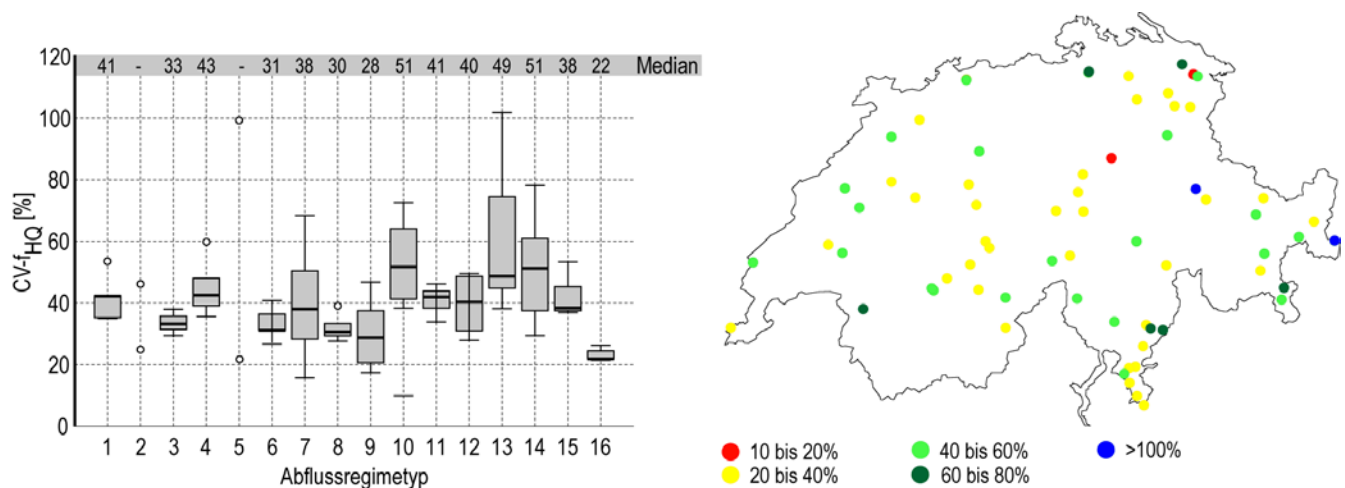


Abb. 46 > Spezifischer Niedrigwasserabfluss q_{347} [$l/s \cdot km^2$]

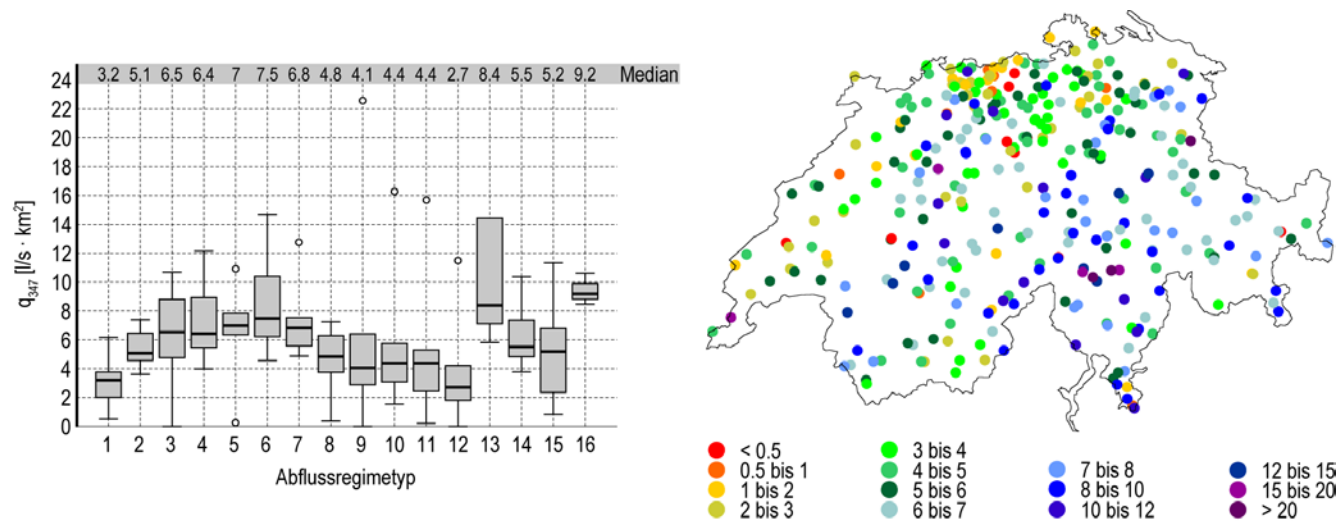


Abb. 47 > Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss CV- Q_{347} [%]

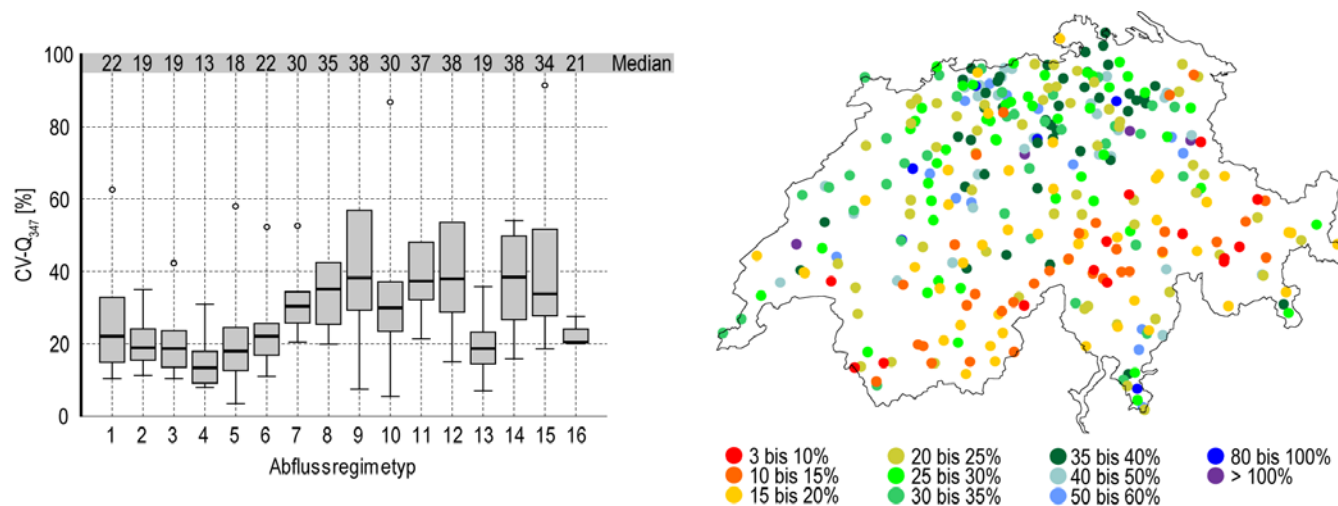


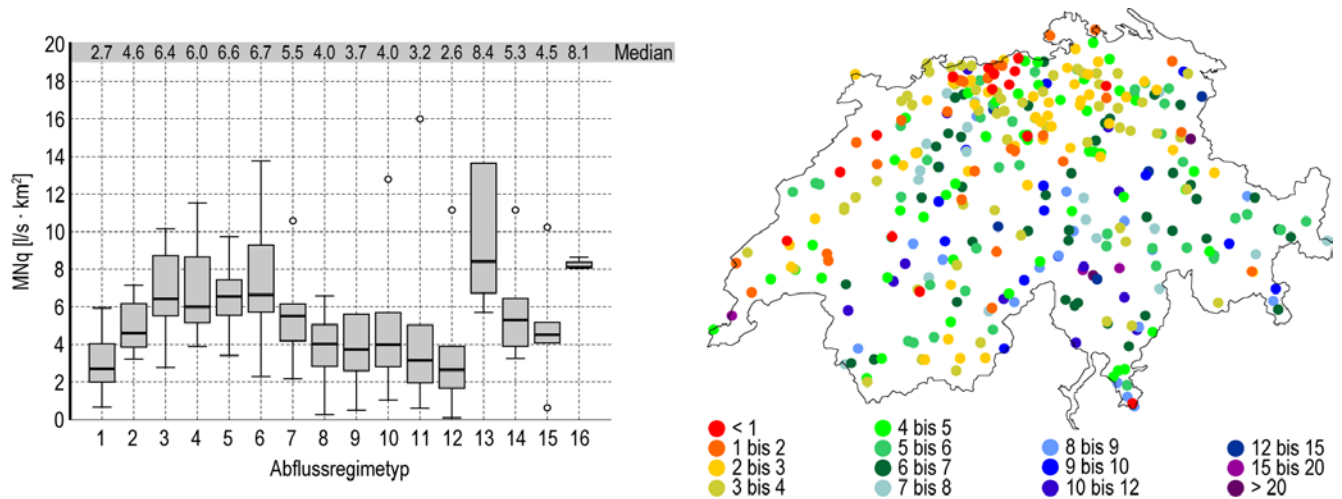
Abb. 48 > Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss MNq [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]

Abb. 49 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss CV-MNQ [%]

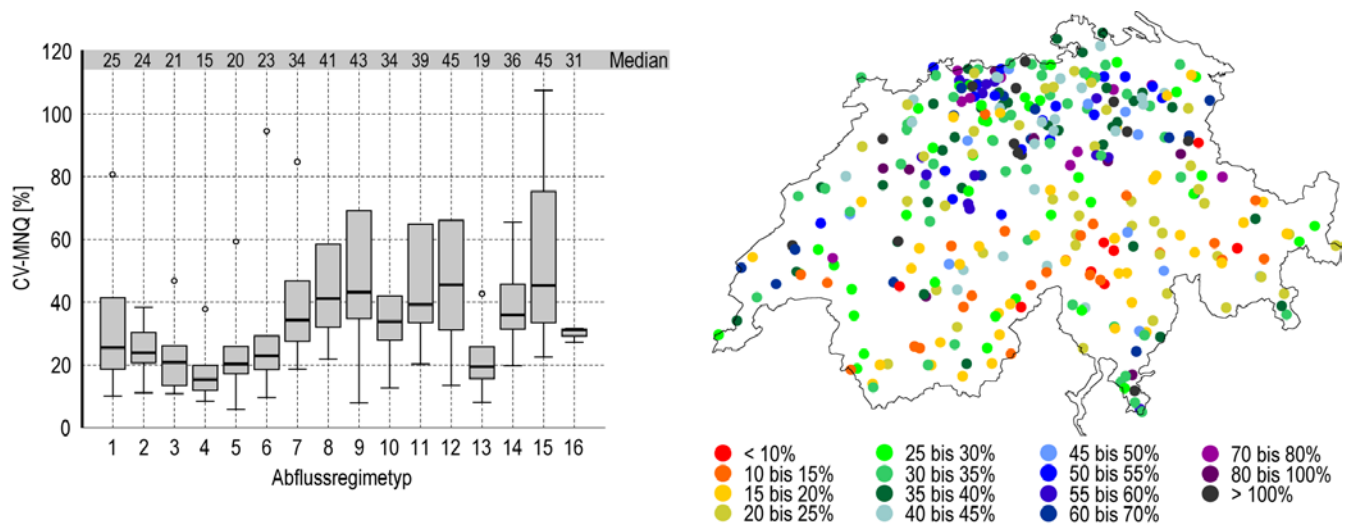


Abb. 50 > Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode d_{Q347} [Tage]

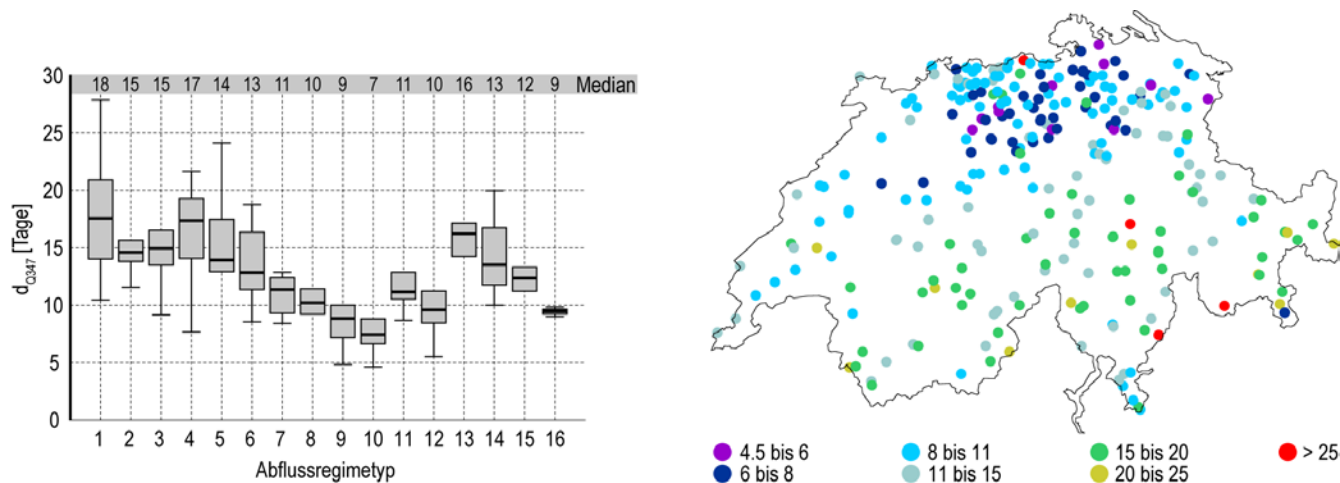
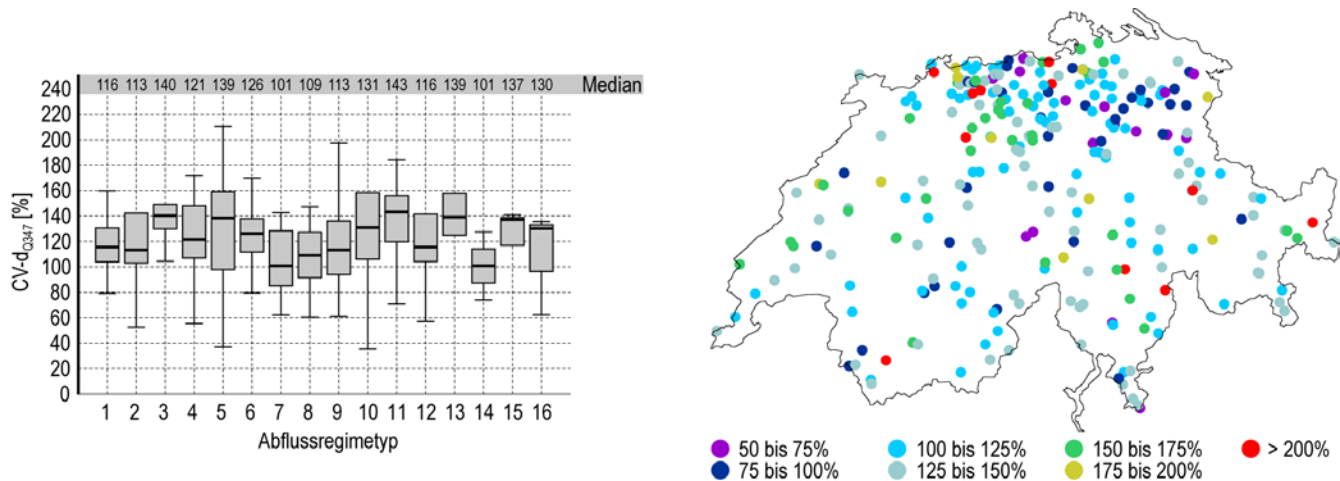


Abb. 51 > Variationskoeffizient mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode $CV-d_{Q347}$ [%]



> Anhang Inter- und Extrapolation

A4 Berechnungsanleitungen für Inter- und Extrapolation

Anwendungsbereich von Inter- und Extrapolation

Stehen Messdaten nicht direkt am Ort des Eingriffs sondern an einer für die Eingriffsstelle repräsentativen Messstelle zur Verfügung, können die Kenngrößen anhand dieser Daten berechnet und anschliessend unter Verwendung der Einzugsgebietsflächen inter- und/oder extrapoliert werden.

Inter-/Extrapolation über
Einzugsgebietsfläche

Die Repräsentativität ist gegeben wenn:

Voraussetzungen für
Inter-/Extrapolation

- > Die Messstelle unter- oder oberhalb des Eingriffs am gleichen Gewässer liegt und die Einzugsgebiete ähnlich sind.
- > Eine Messstelle in einem benachbarten, ähnlichen Einzugsgebiet vorhanden ist.

Inter- und extrapoliert werden kann immer nur zwischen Messstationen, resp. Datenperioden von Messstationen, welche denselben Abflusszustand (Referenzzustand oder beeinflusster Zustand) repräsentieren.

Die Ähnlichkeit der Einzugsgebiete bezieht sich auf das hydrologische Verhalten und ist gegeben bei geringer geografischer Distanz sowie kleinen Unterschieden in den Einzugsgebietsflächen (30–250 % des zu beurteilenden Einzugsgebiets), den hydrometeorologischen (Niederschlag, Temperatur) und physiografischen (Geologie, Boden, Topographie, Landnutzung) Charakteristika. Für die Beurteilung der Ähnlichkeit sind deshalb hydrologisches Fachwissen sowie die Kenntnis der Gebiete erforderlich. Weiter sollte zwischen den beiden Stellen kein anthropogener Eingriff oder See liegen, welche das hydrologische Regime signifikant verändern könnten. Besondere Vorsicht ist bei Karstgebieten geboten, wo sich oft zusätzliche Unsicherheiten und Fehler ergeben.

Flächenabhängige Kenngrößen

Folgende hydrologische Kenngrößen sind abhängig von der Einzugsgebietsfläche: MQ, MHQ, Q_{347} . Die entsprechenden Inter- und Extrapolationen lauten:

$$X_E = X_O + (X_U - X_O) \cdot (A_{EZG,E} - A_{EZG,O}) / (A_{EZG,U} - A_{EZG,O})$$

Interpolation einer ober- und
einer unterliegenden Messstelle

X Gesuchter Parameter, an der Eingriffsstelle (E), der ober- (O) und unterliegenden (U) Messstelle
A_{EZG} Einzugsgebietsfläche, an der Eingriffsstelle (E), der ober- (O) und unterliegenden (U) Messstelle

$$X_E = (X_{O1} + X_{O2}) + (X_U - (X_{O1} + X_{O2})) \cdot (A_{EZG,E} - (A_{EZG,O1} + A_{EZG,O2})) / (A_{EZG,U} - (A_{EZG,O1} + A_{EZG,O2}))$$

Interpolation bei zwei ober- und
einer unterliegenden Messstelle

X Gesuchter Parameter, an der Eingriffsstelle (E), den ober- (O1, O2) und unterliegenden (U) Messstellen
A_{EZG} Einzugsgebietsfläche, an der Eingriffsstelle (E), den ober- (O1, O2) und unterliegenden (U) Messstellen

$$X_E = (X_{M1} + X_{M2}) \cdot (A_{EZG,E} / (A_{EZG,M1} + A_{EZG,M2}))^\Phi$$

Extrapolation bei zwei ober- oder unterliegenden Messstellen

X Gesuchter Parameter, an der Eingriffsstelle (E) oder den ober- oder unterliegenden Messstellen (M1, M2)
 A_{EZG} Einzugsgebietsfläche, an der Eingriffsstelle (E) oder den ober- oder unterliegenden Messstellen (M1, M2)
 Φ Parameter für den Einfluss der Flächengrösse: Φ = 1 für MQ und Q₃₄₇, Φ = 0.7 für MHQ

Wenn die Extrapolation nur auf einer Messstation basiert werden kann, wird die Anwendung nur ab einer Einzugsgebietsfläche der Messstation von mindestens 5 km² empfohlen.

Extrapolation nur einer ober- oder unterliegenden Messstelle

$$X_E = X_M \cdot (A_{EZG,E} / A_{EZG,M})^\Phi$$

X Gesuchter Parameter, an der Eingriffsstelle (E) oder der ober- oder unterliegenden Messstelle (M)
 A_{EZG} Einzugsgebietsfläche, an der Eingriffsstelle (E) oder der ober- oder unterliegenden Messstelle (M)
 Φ Koeffizient für den Einfluss der Flächengrösse: Φ = 1 für MQ und Q₃₄₇, Φ = 0.7 für MHQ

Ein Spezialfall der Extrapolation ist die Anwendung von spezifischen Abflusswerten (Abfluss pro Flächeneinheit), z.B. q₃₄₇, welche von Werten eines ähnlichen, nicht zwingend ober- oder unterliegenden, Einzugsgebiets hergeleitet werden.

Extrapolation mit flächenspezifischen Werten

$$X_E = x \cdot A_{EZG,E}$$

X Gesuchter Parameter an der Eingriffsstelle (E)
 x Flächenspezifischer Wert des Parameters X, der für die Eingriffsstelle repräsentativ ist
 A_{EZG} Einzugsgebietsfläche an der Eingriffsstelle (E)

Flächenunabhängige Kenngrössen

Folgende hydrologische Kenngrössen sind unabhängig von der Einzugsgebietsfläche: Pk_i, Hochwasserhäufigkeit, Hochwasser- und Niedrigwasser-Saisonalität, Dauer Niedrigwasserperioden, CV-Q₃₄₇. Für deren Inter- und Extrapolation gilt Folgendes:

Die Interpolation berücksichtigt die Einzugsgebietsfläche indirekt, indem die Ähnlichkeit der Flächengrösse in einen gewichteten Mittelwert einfließt.

Interpolation mehrerer Messstellen

$$X_E = \sum_{i=1}^n X_{M,i} \cdot \frac{1}{n-1} \cdot \left[1 - \frac{|A_{EZG,M,i} - A_{EZG,E}|}{\sum_{i=1}^n |A_{EZG,M,i} - A_{EZG,E}|} \right]$$

X gesuchter Parameter, an der Eingriffsstelle (E) oder der ober- oder unterliegenden Messstelle (M)
 A_{EZG} Einzugsgebietsfläche, an der Eingriffsstelle (E) oder der ober- oder unterliegenden Messstelle (M)
 n Anzahl Messstellen

Wenn die Extrapolation nur von einer Messstation abhängt, wird der gesuchte Parameter unverändert für die Eingriffsstelle übernommen.

Extrapolation nur einer ober- oder unterliegenden Messstelle

> Verzeichnisse

Abkürzungen

A_{Entw}

Entwässerte Fläche

A_{EZG}

Einzugsgebietsfläche

A_{See}

Seefläche

b

beeinflusster Zustand

CV

Variationskoeffizient

Dist_{r,b}

Distanz der Saisonalitätspunkte des Referenz- und beeinflussten Zustands im Saisonalitätskreis

d_{max,Q347}

Jährlich längste zusammenhängende Periode mit $Q_d < Q_{347}$

d_{Q347}

Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode

EW

Einwohnerwerte hydraulisch

f_E

Mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen

f_{HQ}

Mittlere Hochwasserhäufigkeit

f_{Spül}

Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen pro Jahr

GA

Gewässerabschnitt

HHQ

Grösster je gemessener Abfluss

HQ₁

Hochwasserabfluss mit Jährlichkeit 1

I_{h,Schwall}

Hydraulischer Stress durch Schwallabfluss

I_{h,Spül}

Hydraulischer Stress durch Spülungen und Entleerungen

I_{P,S/S}

Intensität des Schwall/Sunk-Impulses

JD_{HQ}

Julianisches Datum des Auftretens des Jahreshochwasserabflusses

k_{EZG}

Korrekturfaktor für die Gewässergrösse, resp. Einzugsgebietsfläche

k_{MHQ,MQ}

Verhältnis MHQ zu MQ

k_{PR,S/S}

Korrekturfaktor für die Pegeländerungsrate Schwall/Sunk

k_{PR,Spül}

Korrekturfaktor für die Pegelanstiegsrate des Spülabflusses

k_t

Korrekturfaktor Zeitpunkt der Spülungen

L_{installiert}

Installierte Leistung eines Wasserkraftwerks

MHQ

Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss

MHq

Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss

MMQ_i

Mittlerer monatlicher Abfluss des Monats i

MMQ_{i,EZG,Raster}

Mittlere monatliche Abflusshöhe des Einzugsgebiets aus Rasterdaten

MNQ

Mittlerer jährlicher Minimalabfluss

MNq

Spezifischer mittlerer jährlicher Minimalabfluss

MQ

Mittlerer jährlicher Abfluss

Mq

Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss

MQ_{EZG,Raster}

Mittlere Jahresabflusshöhe des Einzugsgebiets aus Rasterdaten

MQ_j

Mittlerer jährlicher Abfluss eines Einzeljahres j

MQ_{Seezuflüsse} Summe der mittleren Abflüsse aller Seezuflüsse	Q_d Abfluss-Tagesmittelwert (Tagesabfluss)
MQ_{Speicherzuflüsse} Summe der mittleren Abflüsse aller Speicherzuflüsse	Q_{d,i} Abfluss-Tagesmittelwerte (Tagesabflüsse) des Monats i
MQ_{Vorfluter} Mittlerer jährlicher Abfluss des Vorfluters	Q_{d,max} Jahreshochwasserabfluss (aus Tagesabflüssen)
NNQ Kleinster je gemessener Abfluss	Q_E Spitzenabfluss von Regenwassereinleitungen
P_{Grund} Durchschnittlicher Pegel vor Beginn der Spülung	Q_{Grund} Grundabfluss vor Beginn einer Spülung
PK_i Pardéoeffizient des Monats i	Q_{max} Abfluss-Tagesmaximum (aus Momentanabflüssen)
PR_{max} Tagesmaximum der Pegeländerungsrate P _t	Q_{min} Abfluss-Tagesminimum (aus Momentanabflüssen)
PR_{min} Tagesminimum der Pegeländerungsrate P _t	Q_{Rest} Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe
PR_{Schwall} Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk	Q_S Maximaler Abfluss oder bewilligte Einspeisemenge eines Eingriffs
PR_{Spül} Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung	Q_{Schwall} Schwallabfluss
PR_{Sunk} Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk	Q_{Spül} Durch eine Spülung typischerweise verursachter Mehrabfluss
PR_t Pegeländerungsrate zum Zeitpunkt t	Q_{Spül,max} Abflussspitze während den Spülungen
P_{Spül,max} Pegelspitze während den Spülungen	Q_{Sunk} Sunkabfluss
P_t Pegel zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)	Q_T Maximal bewilligte Kühlwasserabflussmenge
Q Momentanabfluss	Q_{Turbine} Schluckvermögen der Turbine(n) einer Kraftwerkszentrale
Q* Hochwasserswellenwert	Q_Ü Maximal bewilligte Abflussmenge einer Überleitung
Q₃₄₇ Niedrigwasserabfluss	r Referenzzustand
q₃₄₇ Spezifischer Niedrigwasserabfluss	r_{D,T} Regenintensität für die Konzentrationszeit D und die Jährlichkeit T
Q_A Maximal bewilligte Entnahmemenge eines Eingriffs	

r_{HQ} Zeitliche Variabilität des Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses	Abb. 2 Ablauf der Bewertungsmethodik und Hilfsmittel	13
R_{j,Regimtyp} R-Werte von Einzeljahren j zu langjährigem Mittelwert des Regimtyps	Abb. 3 Klassierungsschema: Bezeichnung und Farbcodierung der Klassen	17
R_{r,b} R-Wert Referenz- zu beeinflusstem Zustand	Abb. 4 Einordnung Referenzzustand	18
T Jährlichkeit	Abb. 5 Natürliche Variabilität und relative Lage des beeinflussten Zustands	19
t Zeitpunkt	Abb. 6 Die Abflussregimtypen der Schweiz	29
Vol_{See} Seevolumen	Abb. 7 Ablaufdiagramm zur Bestimmung des Abflussregimtyps	30
Vol_{Speicher} Speichervolumen bei Stauziel	Abb. 8 Regionen I, II und III für die Bestimmung des Abflussregimtyps	31
Vol_{Regulierung} Regulierbares Seevolumen bis HQ ₁	Abb. 9 Erwartungs- und Schwankungsbereich Pk _i -Werte	32
Vol_{Retention} Retentionsvolumen	Abb. 10 Ermittlung Abflussregimtyp aus gemessenen Pk _i -Werten	32
V_{s/s} Schwall/Sunk-Verhältnis	Abb. 11 Abgrenzung von Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereich	32
Z_{GA} Zustandsklasse am Gewässerabschnitt	Abb. 12 Beispiel des Saisonalitätskreises	38
Z_i Zustandsklasse eines Eingriffs oder Zwischeneinzugsgebietes	Abb. 13 Hochwasser-Saisonalität pro Abflussregimtyp	39
Φ Koeffizient für den Einfluss der Flächengröße bei Extrapolation hydrologischer Kenngrößen	Abb. 14 Niedrigwasser-Saisonalität pro Abflussregimtyp	42
Ψ Spitzenabflusskoeffizient	Abb. 15 Kartografische Darstellung des Eingriffinventars	54
θ_{HQ} Mittleres Auftretensdatum des Jahreshochwasserabflusses	Abb. 16 Natürliche Referenz und beeinflusster Zustand	57
Abbildungen	Abb. 17 Klassierungsregel Mittelwasser-Abflussverlauf	59
Abb. 1 Abflussregime und ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer	Abb. 18 Auswirkungen einer veränderten Hochwasserhäufigkeit	60
	Abb. 19 Klassierungsregel Hochwasserhäufigkeit	61

Abb. 20 Beispiel für die dimensionslose Masszahl $\text{Dist}_{r,b}$	63	Abb. 37 Lesehilfe Box-Plots	98
Abb. 21 Klassierungsregel Hochwasser-Saisonalität	63	Abb. 38 Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss M_q [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]	99
Abb. 22 Klassierungsregel Niedrigwasserabfluss	65	Abb. 39 Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Abfluss CV-MQ [%]	99
Abb. 23 Klassierungsregel Dauer Niedrigwasserperioden	68	Abb. 40 Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) M_{HQ} [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]	100
Abb. 24 Beispiel einer schwallgeprägten Abflussganglinie	68	Abb. 41 Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) CV-MHQ [%]	100
Abb. 25 Klassierungsregel Schwall/Sunk-Phänomen	71	Abb. 42 Faktoren $k_{MHQ;MQ}$ [-] (MHQ aus Tagesabflüssen)	101
Abb. 26 Typische Abflussganglinie eines Spülereignisses	73	Abb. 43 Faktoren $k_{MHQ;MQ}$ [-] (MHQ aus Momentanabflüssen)	101
Abb. 27 Klassierungsregel Spülung und Entleerung	75	Abb. 44 Hochwasserhäufigkeit f_{HQ} [Ereignisse/Jahr] mit Schwellenwert 0.6 · MHQ	102
Abb. 28 Klassierungsregel Regenwassereinleitungen	77	Abb. 45 Variationskoeffizient Hochwasserhäufigkeit CV- f_{HQ} [%] mit Schwellenwert 0.6 · MHQ	102
Abb. 29 Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Eingriff	77	Abb. 46 Spezifischer Niedrigwasserabfluss q_{347} [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]	103
Abb. 30 Beispiel Vorgehen Abschnittsbewertung	81	Abb. 47 Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss CV- Q_{347} [%]	103
Abb. 31 Beispiel zur kartografischen Darstellung der Bewertungsergebnisse	83	Abb. 48 Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss MN_q [$\text{l/s} \cdot \text{km}^2$]	104
Abb. 32 Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Gewässerabschnitt	84	Abb. 49 Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss CV-MNQ [%]	104
Abb. 33 Klassierungsregel Gesamtbewertung	88	Abb. 50 Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode d_{Q347} [Tage]	105
Abb. 34 Übersicht Referenzstationen	90	Abb. 51 Variationskoeffizient mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode CV- d_{Q347} [%]	105
Abb. 35 Abflussregimtyp-spezifische Auswertung von Pk_i	94		
Abb. 36 Abflussregimtyp-spezifische Auswertung der R-Werte $R_{j, \text{Regimtyp}}$	97		

Tabellen

Tab. 1 Bewertungsindikatoren und benötigte hydrologische Kenngrossen	21
Tab. 2 Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss M_q [$l/s \cdot km^2$] pro Abflussregimetyp	34
Tab. 3 Pk_i -Mittelwerte pro Abflussregimetyp	35
Tab. 4 Faktoren $K_{MHQ,MQ}$ [-] pro Abflussregimetyp (MHQ aus Tagesabflüssen)	36
Tab. 5 Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss MH_q [$l/s \cdot km^2$] pro Abflussregimetyp (Tagesabflüsse)	37
Tab. 6 Spezifischer Niedrigwasserabfluss q_{347} [$l/s \cdot km^2$] pro Abflussregimetyp	40
Tab. 7 Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss $CV-Q_{347}$ [%] pro Abflussregimetyp	41
Tab. 8 Eingriffstypen und -arten mit Erheblichkeits-Schwellenwert und Signifikanzkriterium	51
Tab. 9 Erwartete Beeinträchtigung von Bewertungsindikatoren durch verschiedene Eingriffstypen	56
Tab. 10 Quantile des R-Werts $R_{j,Regimetyp}$ [%] pro Abflussregimetyp	58
Tab. 11 Interpretationshilfe zu den Bewertungsergebnissen	85
Tab. 12 Auswahl der 90 Referenzstationen für Pk - und R -Wert- Auswertungen	90

> Literatur

- Aquatic Sciences – Research Across Boundaries, Vol. 65, Nr.3 2003; Special Feature: Artificial Floods in the River Spöl, S. 181–238, Eawag, Dübendorf.
- Aschwanden H., Weingartner R. 1985: Die Abflussregimes der Schweiz. Geographisches Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde Nr. 65.
- BMLF 2004: Methodik zum Bericht der Ist-Bestandesaufnahme für die österreichischen Anteile der Flussgebietseinheiten Donau, Rhein und Elbe. Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Umwelt. Wien.
- Birsan M.V., Molnar P., Burlando P., Pfundler M. 2005: Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 314 2005: p. 312–329.
- Birsan M.V., Molnar P., Pfundler M., Burlando P. 2005: Trends in schweizerischen Abflussmessreihen. In: Wasser, Energie, Luft, Heft 1/2 2004. S. 29–38.
- Brookes A. 1995: The importance of high flows for riverine environments. In: The ecological basis for river management, edited by D.M. Harper and A.J.D. Ferguson, Wiley, Chichester, 1995. p. 630 pp.
- BUWAL 2003: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75. Bern.
- BUWAL und BWG 2003b: Leitbild Fließgewässer Schweiz.
- BUWAL 2000: Angemessene Restwassermengen – wie können sie bestimmt werden? Wegleitung, Vollzug Umwelt. Bern.
- BUWAL 1998: Modul-Stufen-Konzept. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL 1994: Ökologische Folgen von Stauraumspülungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 219. Bern.
- Eawag, BUWAL 1995: Anleitung zur Beurteilung der schweizerischen Fließgewässer. Ökomorphologie, Hydrologie, Fischbiologie. Entwurf Endbericht, November 1995.
- Hütte M. 2000: Ökologie und Wasserbau. Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung. Parey Verlag. Berlin.
- Kummer M., Baumgartner M., Devanthery D. 2007: Restwasserkarte Schweiz. Wasserentnahmen und -rückgaben. Umwelt-Zustand Nr. 0715. Bundesamt für Umwelt, Bern. 90 S.
- Landeshydrologie (Hg. – jetzt BAFU, Abt. Hydrologie) 1992: Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES.
- OcCC / ProClim (Hg.) 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern.
- Petts G.E. 1995: Linking Hydrology and Ecology: The scientific basis for river management. In Harper DM and Ferguson AJF (eds), The Ecological Basis for River Management. J.Wiley and Sons, Chichester.
- Pfundler M., Keusen M. 2007: Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0712. Bundesamt für Umwelt, Bern. 110 S.
- Pfundler M., Weingartner R., Diezig R. 2006: «Versteckt hinter den Mittelwerten» – die Variabilität des Abflussregimes. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 3. S. 116–123.
- Pfundler M., Wüthrich T. 2006: Saisonalität hydrologischer Extreme. Das zeitliche Auftreten von Hoch- und Niederwasser in der Schweiz. In: Wasser, Energie, Luft, Heft 2/2006. S. 77–82.
- Pfundler M., Zappa M. 2006: Die mittleren Abflüsse über die ganze Schweiz. Ein optimierter Datensatz im 500 x 500 m Raster. In: Wasser, Energie, Luft, Heft 4/2006. S. 291–298. (Datensätze verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Themen > Hydrologische Daten > Mittlere monatliche und jährliche Abflusshöhen)
- Poff L.N., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg J.C. 1997: The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47: p. 769–784.
- Rauch W., Krejci V., Gujer W. 2000: REBEKA. Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beeinträchtigung der Fließgewässer durch Abwassereinleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter. Schriftenreihe der Eawag Nr. 16.
- Riis T., Biggs B.J.F. 2003: Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnol. Oceanography* 48 (4). p. 1488–1497.
- Schweizer S., Neuner J., Heuberger N. 2009: Bewertung von Schwall/Sunk. Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzeptes. In: Wasser, Energie, Luft, Heft 3/2009. S. 194–202.
- VSA 2007: Abwassereinleitungen in Gewässer bei Regenwetter (STORM). Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute.
- VSA 2002: Regenwasserentsorgung. Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute.