# > 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)*

**Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU**
**Bern, 2011**

**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 Devanthéry, 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 Devanthéry, 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 (flächendeckend). 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 Pardékoeffizienten (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.

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

Das Modul-Stufen-Konzept zur Untersuchung und Beurteilung der Fliesgewässer 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.

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

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.

Mots-clés :
Système modulaire gradué, évaluation des cours d'eau, atteintes, hydrologie, régime d'écoulement

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).

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 HYDMOD-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

Von verbalen Zielen zu messbaren Grössen

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.

Teil des Modul-Stufen-Konzepts

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.

Vollzugshilfe zur Beurteilung der hydrologischen Verhältnisse einer Region

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.

Anforderungen Stufe F

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

- 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

Ökologische Relevanz des Abflussregimes

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

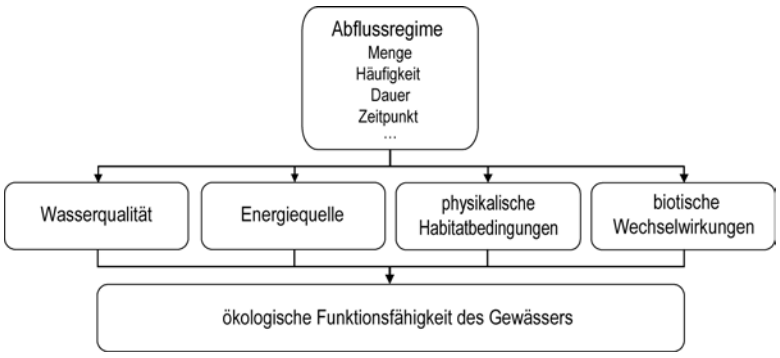
- die Erhaltung der aquatischen Lebensräume und
- die Förderung eines naturnahen Geschiebehaushaltes.

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

## 1.3 Rechtliche Grundlagen

GSchG / GSchV: Gewässerökologie und Lebensräume

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.

GSchV: Ökologische Ziele für oberirdische Gewässer

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.

GSchV: Anforderungen an die Wasserqualität

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.

GSchG / GSchV: Wasserentnahmen und Restwasser

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.

GSchG: Schwall und Sunk

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.

GSchG / GSchV: Information über Zustand der Gewässer

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.

Leitbild Fliessgewässer Schweiz

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.

## 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: Konzept

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

Kapitel 3: Abschätzverfahren und Hilfsmittel

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.

Anhang: Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen

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

Kapitel 4–6: Bewertungsmethodik mit vier Hauptarbeitsschritten

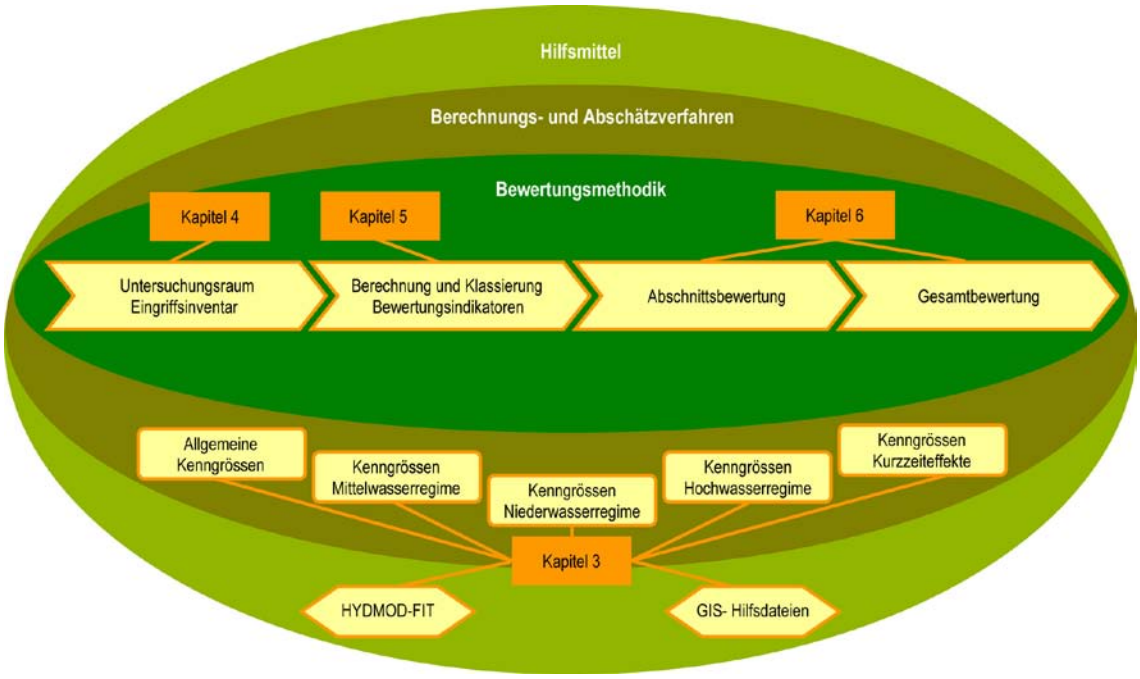
Kernstück der Methode HYDMOD-F ist die eigentliche Bewertungsmethodik. Die Durchführung der Bewertung erfolgt in vier Hauptarbeitsschritten, aus denen unterschiedliche Produkte entstehen. Diese Arbeitsschritte sind in den Kapiteln 4–6 dieser Publikation beschrieben.

Leitgrafik

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.

**Abb. 2 > Ablauf der Bewertungsmethodik und Hilfsmittel**

*Leitgrafik zur Orientierung im Bericht.*




## 1.6 Anwendung der Methode

Bearbeitungsaufwand

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.

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.

Anforderungen an die Anwender

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.

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

Bewertung des hydrologischen Zustands

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 Zustands des Gewässersystems eines Einzugsgebietes.

Beeinflussung des ökologischen Zustands durch weitere Faktoren

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 gesamtökologische 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).

Keine abschliessende Aussage zur ökologischen Funktionsfähigkeit

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.

Bewertungsinhalt und -gegenstand

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.

Eingriffs-bezogener Ansatz

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.

## 2.2 Abgrenzungen

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

Genauigkeit

> 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.

Anwendungsgebiet

> 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.

Keine Berücksichtigung von diffusen und kleinen Eingriffen

> 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 Flussverbauungen

> 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).

Einzugsgebietsfläche

> 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).

## 2.3 Klassierungsschema und Bewertungsmethodik

### 2.3.1 Klassierungsschema

Klassierungsschema mit Sonderklasse

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.

**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

Definition Bewertungsindikatoren und Klassierungsregeln

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:

- 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.

Überlegungen zu den Definitionen

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

- 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

Referenzzustand als Basis für die Bewertung

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

Referenzzustand als naturnaher Gewässerzustand in der vorgegebenen Kulturlandschaft

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.

**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.

Abweichungen vom Referenzzustand

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.

Historische Seeregulierungen und Flussumleitungen als Referernzzustand

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 Juragewässerkorrektion). Im Rahmen von HYDMOD-F sind diese Fälle als Referenzzustand anzusehen.

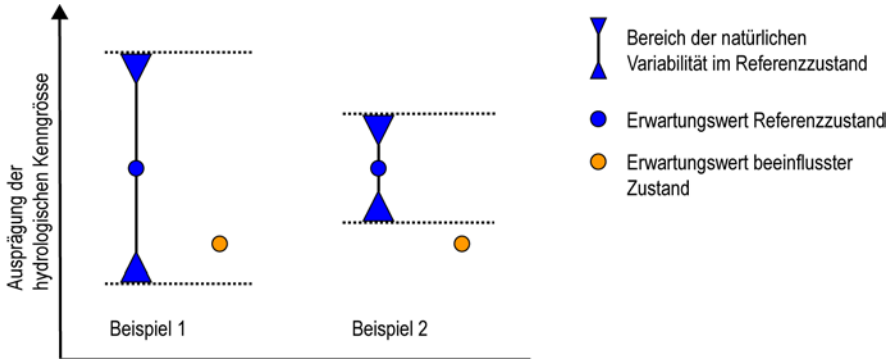
### 2.3.4 Natürliche Variabilität des Abflussregimes

Rolle der natürlichen Variabilität

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.

**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.*




Berücksichtigung der natürlichen Variabilität

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).

Umgang mit klimatisch bedingten Trends

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.

## 2.4 Definition Abflussregime

Abflussverhalten eines Fliessgewässers

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.

Hydrologische Merkmale

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:

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

HYDMOD unterscheidet vier Teilbereiche des Abflussregimes

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:

- Mittelwasserregime
- Hochwasserregime
- Niedrigwasserregime
- Kurzzeiteffekte

Die Abflussregimetypen der Schweiz

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).

## 2.5 Auswahl der Bewertungsindikatoren

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.

Hydrologische Kenngrössen

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

Auswahl der Bewertungsindikatoren

Die Auswahl der Bewertungsindikatoren orientiert sich an verschiedenen Faktoren wie

- 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.

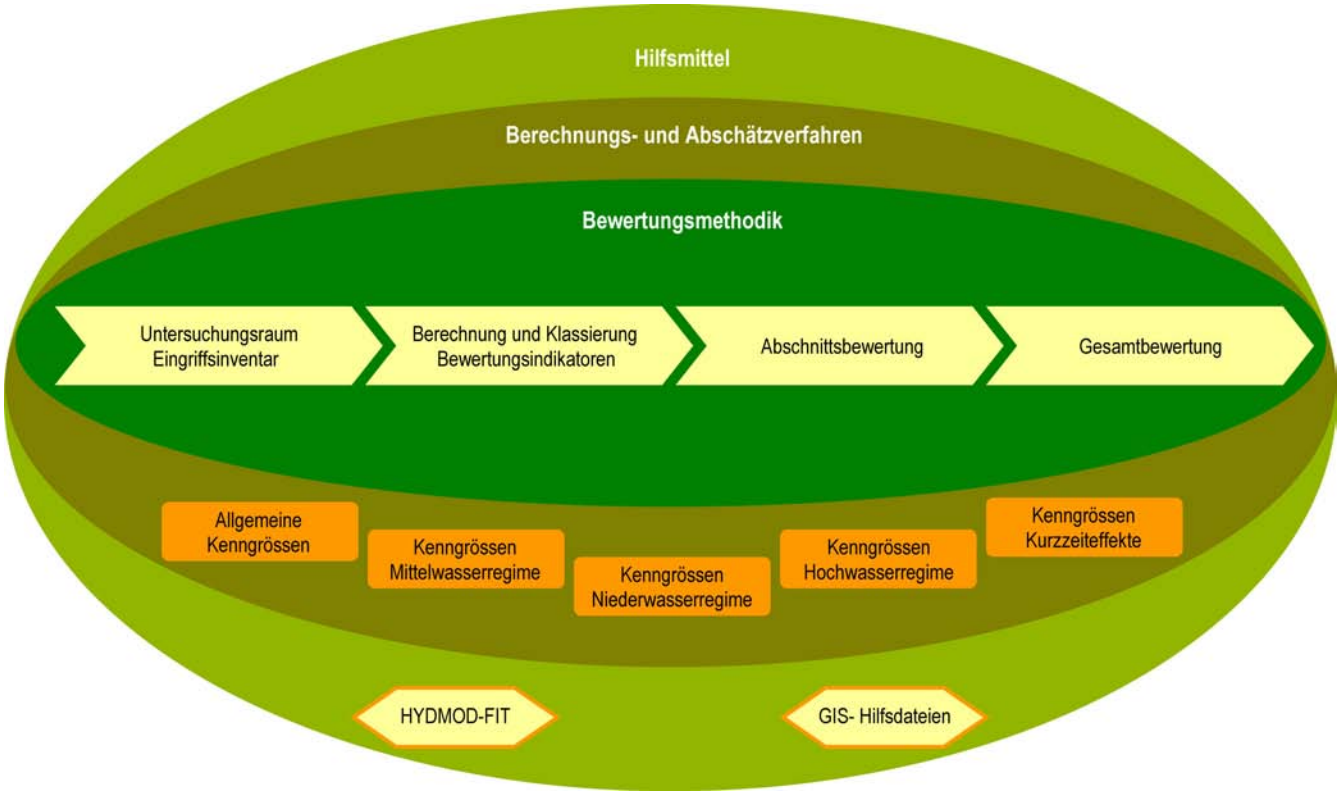
**Tab. 1 > Bewertungsindikatoren und benötigte hydrologische Kenngrössen**

*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, Pardékoeffizienten |
| Hochwasserregime | 2 Hochwasserhäufigkeit<br>3 Hochwasser-Saisonalität | Mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabfluss), Hochwasserschwellenwert,<br>Mittlere Hochwasserhäufigkeit (Momentanabflüsse)<br>Hochwasser-Saisonalität (Mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität) |
| Niedrigwasserregime | 4 Niedrigwasserabfluss<br>5 Niedrigwasser-Saisonalität<br>6 Dauer Niedrigwasserperioden | Niedrigwasserabfluss, Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss<br>Niedrigwasser-Saisonalität (Mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)<br>Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode |
| Kurzzeiteffekte | 7 Schwall/Sunk-Phänomen<br>8 Spülung und Entleerung<br>9 Regenwassereinleitungen | Schwallabfluss, Sunkabfluss, Schwall/Sunk-Verhältnis, Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk,<br>Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk<br>Spülabfluss, Häufigkeit der Spülungen und Entleerungen, Pegelanstiegsrate Spülungen und Entleerungen<br>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

Grosser Datenbedarf, GIS als Hilfsmittel

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 Geodatensätze oder mit einer Georeferenzierung beschafft werden können.

Übergeordnete Informationsquellen

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*.

Geografische Basisdaten

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

- 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
- Geodatensatz 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)

Eingriffs-bezogene Daten, Überblick

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

- 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

Eingriffs-bezogene Daten, detaillierte Daten

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.

Abflussdaten

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

- Abflussdaten der Messstationen des eidgenössischen hydrometrischen Messnetzes (BAFU)
- Abflussdaten der kantonalen Messstationen
- Abflussdaten von Privaten, z. B. von Kraftwerkbetreibern 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)

Momentanabflüsse

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.

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.

Befragung von orts- und fachkundigen Personen

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.

HYDMOD-Hilfsmittel

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.

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 Bewertungsresultate.

## 3.2 Datenverfügbarkeit und Berechnungsmöglichkeiten

### 3.2.1 Grundsätzliches

Priorisierung der Berechnungsmöglichkeiten

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.

- 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 Abflussregimetyp, andere benötigen den Einsatz eines GIS.

Benötigte Rohdaten und Beobachtungsperiode

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).

### 3.2.2 Inter- und Extrapolation

Inter-/Extrapolation von Kenngrössen

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.

### 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.

Inter- oder Extrapolation von Datenreihen

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.

Beispielhaftes Vorgehen

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.

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

Quantifizierungsmöglichkeiten 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 Abflussregimetyp-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).

Vorgehensbeispiel

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.

### 3.2.5 Sensitivitätsanalyse

Plausibilisierung mit alternativen Berechnungsmöglichkeiten

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 Abflussregimetyp-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.

Variierung der Eingangsgrössen

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.

## 3.3 Allgemeine Kenngrössen

### 3.3.1 Abflussregimetyp

16 Abflussregimetypen basierend auf Pardékoeffizienten

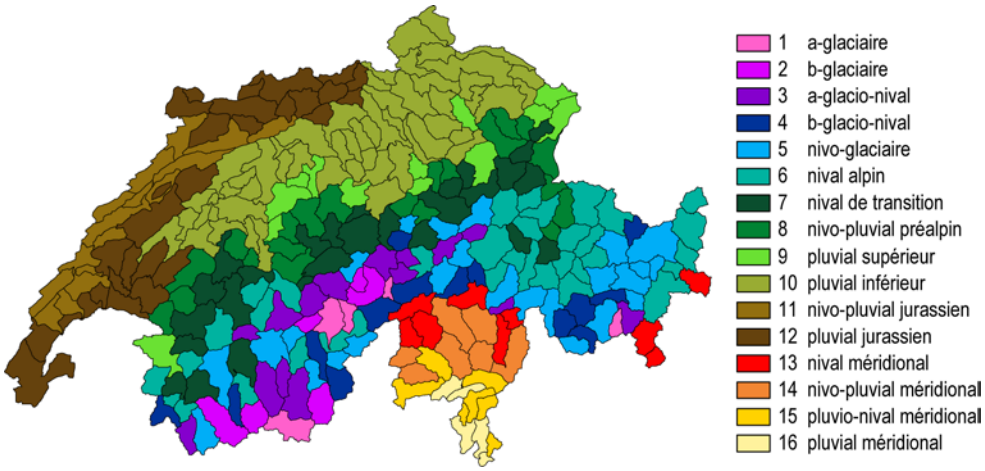
Aschwanden und Weingartner (1985) hatten anhand von Auswertungen von Referenzstationen 16 Abflussregimetypen definiert. Diese basieren auf dem saisonalen Verlauf des Mittelwasserabflusses, welcher durch die sogenannten Pardékoeffizienten (siehe Kap. 3.4.3) beschrieben wird.

Abflussregimetyp-spezifische Auswertungen

Diese Auswertungen wurden durch das BAFU im Jahr 2004 aktualisiert und durch verschiedene Abflussregimetyp-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 Abflussregimetyp) zur Verfügung. Sie liefern grobe Schätzwerte für den Referenzzustand. Damit sie genutzt werden können, muss der Abflussregimetyp bekannt sein.

**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.

Bestimmung auf der Basis geografischer Kriterien

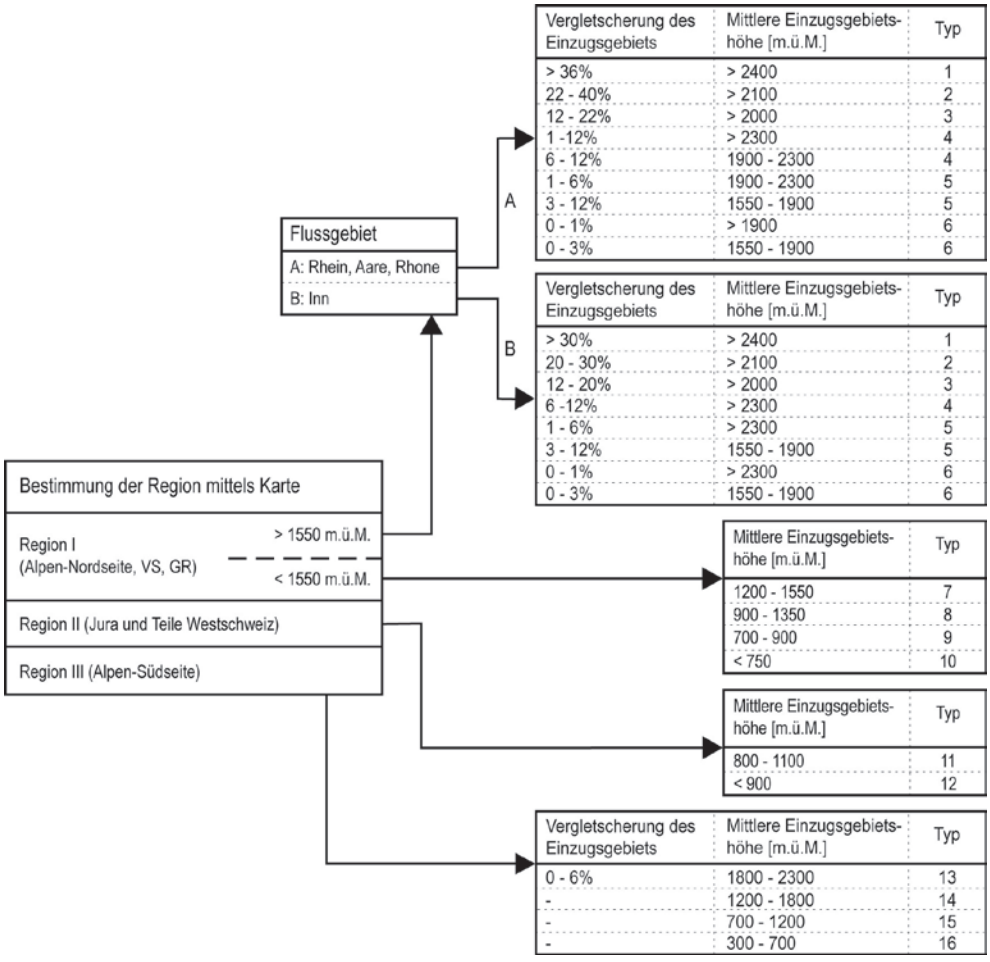
Für Einzugsgebiete in der Grössenordnung von 1–500 km² kann der Abflussregimetyp basierend auf geografischen Kriterien eindeutig bestimmt werden. Eine Ausnahme bilden Einzugsgebiete, deren Abflussregime durch einen See wesentlich beeinflusst werden.

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.*




| Vergletscherung des Einzugsgebiets | Mittlere Einzugsgebietshöhe [m.ü.M.] | Typ |
|---|---|---|
| > 36% | > 2400 | 1 |
| 22 - 40% | > 2100 | 2 |
| 12 - 22% | > 2000 | 3 |
| 1 -12% | > 2300 | 4 |
| 6 - 12% | 1900 - 2300 | 4 |
| 1 - 6% | 1900 - 2300 | 5 |
| 3 - 12% | 1550 - 1900 | 5 |
| 0 - 1% | > 1900 | 6 |
| 0 - 3% | 1550 - 1900 | 6 |

| Vergletscherung des Einzugsgebiets | Mittlere Einzugsgebietshöhe [m.ü.M.] | Typ |
|---|---|---|
| > 30% | > 2400 | 1 |
| 20 - 30% | > 2100 | 2 |
| 12 - 20% | > 2000 | 3 |
| 6 -12% | > 2300 | 4 |
| 1 - 6% | > 2300 | 5 |
| 3 - 12% | 1550 - 1900 | 5 |
| 0 - 1% | > 2300 | 6 |
| 0 - 3% | 1550 - 1900 | 6 |

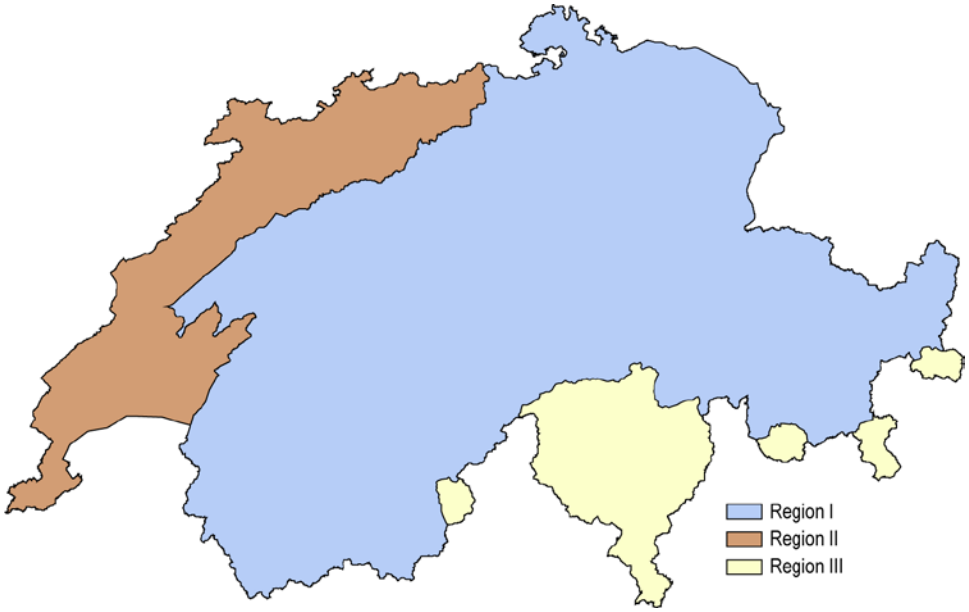
| Mittlere Einzugsgebietshöhe [m.ü.M.] | Typ |
|---|---|
| 1200 - 1550 | 7 |
| 900 - 1350 | 8 |
| 700 - 900 | 9 |
| < 750 | 10 |

| Mittlere Einzugsgebietshöhe [m.ü.M.] | Typ |
|---|---|
| 800 - 1100 | 11 |
| < 900 | 12 |

| Vergletscherung des Einzugsgebiets | Mittlere Einzugsgebietshöhe [m.ü.M.] | Typ |
|---|---|---|
| 0 - 6% | 1800 - 2300 | 13 |
| - | 1200 - 1800 | 14 |
| - | 700 - 1200 | 15 |
| - | 300 - 700 | 16 |

**Abb. 8 > Regionen I, II und III für die Bestimmung des Abflussregimetyps**

*Karte zur Bestimmung der Regionszugehörigkeit eines Einzugsgebiets.*




Bestimmung Abflussregimetyp aus $Pk_i$ (nicht eindeutig)

Aus den erwähnten Abflussregimetyp-spezifischen Auswertungen stehen für jeden Abflussregimetyp in Anhang A2 der Erwartungs- und der Schwankungsbereich der Pardékoeffizienten $Pk_i$ (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).

**Abb. 9 > Erwartungs- und Schwankungsbereich $Pk_i$-Werte**

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

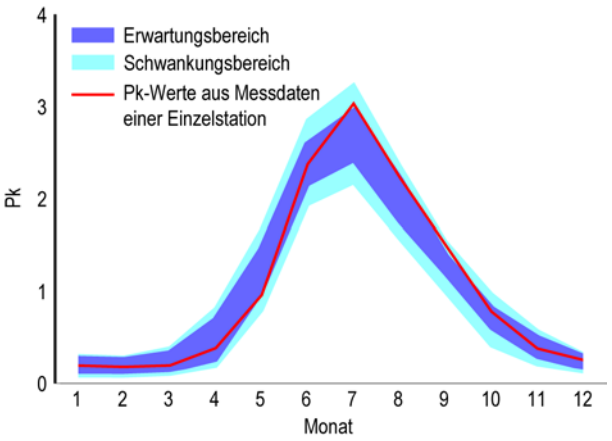
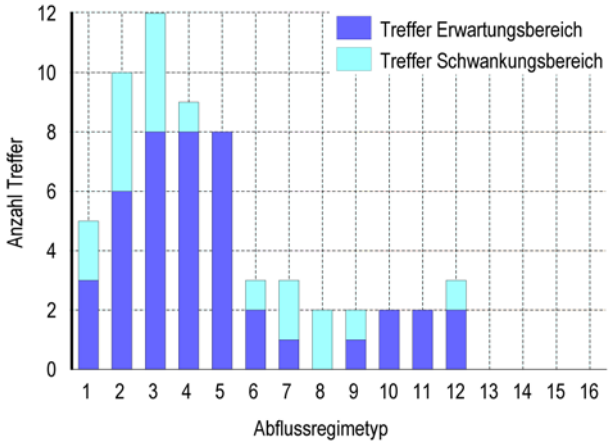



**Abb. 10 > Ermittlung Abflussregimetyp aus gemessenen $Pk_i$-Werten**

*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

Abgrenzung von Niedrigwasser-, Mittelwasser- und Hochwasserbereich

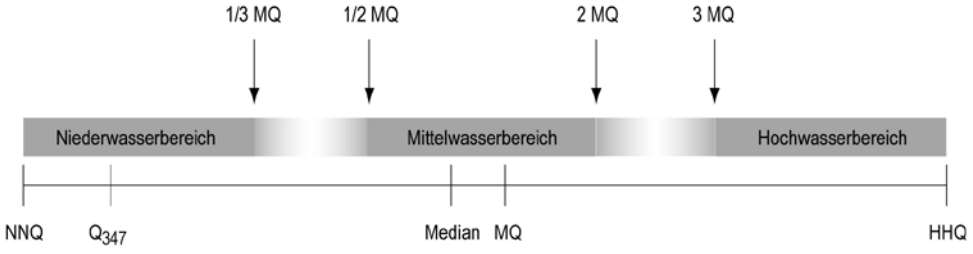
Gemäss Kap. 2.4 unterscheidet HYDMOD-F zwischen den drei Teilregimen Mittelwasser-, Hochwasser- und Niedrigwasserregime. Bei einigen hydrologischen Kenngrössen und Bewertungsindikatoren wird entsprechend auf Mittelwasser-, Hochwasser- oder Niedrigwasserverhältnisse verwiesen.

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 (Basiseinzugsgebiete), Blatt 5.1(Messstationen) und Blatt 5.8 (Niedrigwasser). Siehe auch den im Kapitel 3.1 aufgeführten Geodatensatz 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

$$MMQ_i = Pk_i \cdot MQ$$

Berechnungsmöglichkeit 3: aus anderen Kenngrössen

MQ Mittlerer jährlicher Abfluss
$Pk_i$ Pardékoeffizient des Monats i

### 3.4.2 Mittlerer jährlicher Abfluss

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

Definition

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

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

$Q_d$ Abfluss-Tagesmittelwerte
n Anzahl Messwerte
*Hinweis: Es dürfen nur vollständige Jahresdatensätze verwendet werden.*

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)

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

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

$$MQ = Mq_{Regimetyp} \cdot A_{EZG}$$

Berechnungsmöglichkeit 3: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

$Mq_{Regimetyp}$ Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss eines Regimetyps (Median)
$A_{EZG}$ Einzugsgebietsfläche

$Mq_{Regimetyp}$ kann in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimetyp zur Verfügung.

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

*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. 38).*

| Regimetyp | 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 Pardékoeffizienten

*Die **Pardékoeffizienten $Pk_i$** beschreiben die relative monatliche Abflussverteilung. Sie widerspiegeln damit das saisonale Abflussmuster.*
*Der mittlere Pardékoeffizient des Monats i entspricht dem Verhältnis des mittleren monatlichen Abflusses des Monats i zum mittleren jährlichen Abfluss MQ.*

Definition

$$Pk_i = MMQ_i / MQ$$

Berechnungsmöglichkeit 1: aus anderen Kenngrössen

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

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

Berechnungsmöglichkeit 2: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

**Tab. 3 > $Pk_i$-Mittelwerte pro Abflussregimetyp**

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

| Regimetyp | 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 Abflussregimetyp zur Verfügung.

Berechnungsmöglichkeit 2: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

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

MQ Mittlerer jährlicher Abfluss
$k_{MHQ:MQ}$ Verhältnis MHQ zu MQ

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

*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. 42).*

| Regimetyp | 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 |

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

Berechnungsmöglichkeit 3: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

$MHq_{Regimetyp}$ Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss eines Regimetyps (Median)
$A_{EZG}$ Einzugsgebietsfläche

$MHq_{Regimetyp}$ kann in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen die entsprechenden Medianwerte pro Abflussregimetyp 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

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

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

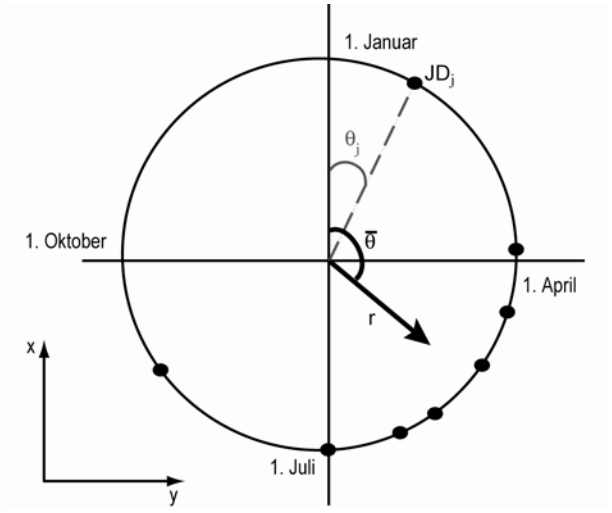
### 3.5.4 Hochwasser-Saisonalität (mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)

Definition

*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).*

**Abb. 12 > Beispiel des Saisonalitätskreises**

*Das Auftretensdatum eines Einzelereignisses wird durch die Lage auf dem Einheitskreis resp. durch den entsprechenden Winkel $\bar{\theta}$ 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.*




Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

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

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:

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

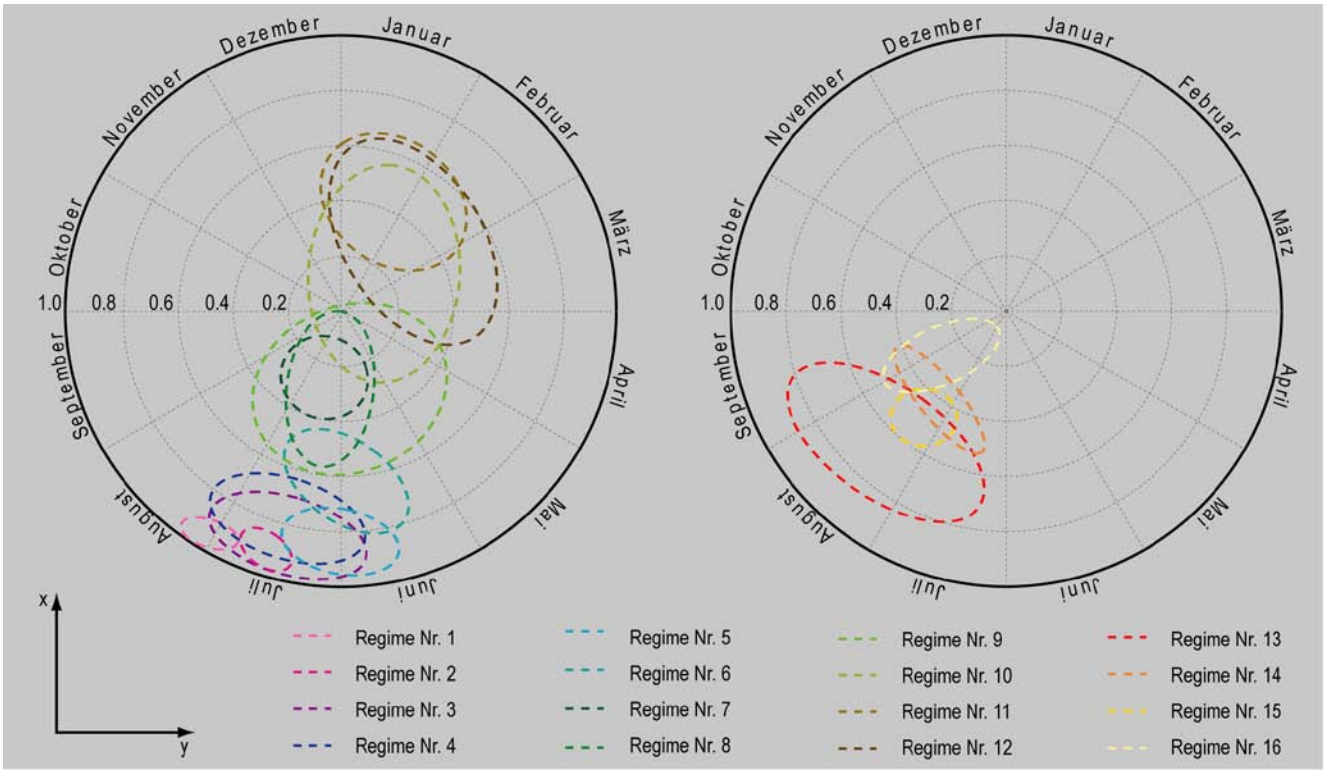
$JD_{HQ}$ Julianisches Datum (Tag im Jahr) des Auftretens des Jahreshochwasserabflusses $Q_{d,max}$ im Jahr j
$\theta_{HQ}$ Winkelmass des Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses $Q_{d,max}$ im Jahr j
n Anzahl Jahre
*Hinweis: Ausführlichere Angaben zu den Berechnungen sind in Pfaundler und Wüthrich, 2006 enthalten.*

Berechnungsmöglichkeit 2: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

Die Hochwasser-Saisonalität als Lage eines Punktes im Saisonalitätskreis kann in Abhängigkeit des Abflussregimetyps bestimmt werden. Dazu stehen entsprechende Auswertungen pro Abflussregimetyp 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 Abflussregimetyp.

**Abb. 13 > Hochwasser-Saisonalität pro Abflussregimetyp**

*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

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

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.*

Berechnungsmöglichkeit 2: mit Schätzmethode (HADES 5.8)

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.

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

Berechnungsmöglichkeit 3: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

$q_{347,Regimetyp}$ Spezifischer Niedrigwasserabfluss eines Regimetyps (Median)
$A_{EZG}$ Einzugsgebietsfläche

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

**Tab. 6 > Spezifischer Niedrigwasserabfluss $q_{347}$ [l/s·km²] pro Abflussregimetyp**

*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. 46).*

| Regimetyp | 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 Abflussregimetyp zur Verfügung.

Berechnungsmöglichkeit 2: Grobabschätzung (über Abflussregimetyp)

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

*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. 47).*

| Regimetyp | 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 $d_{Q347}$** entspricht dem langjährigen Mittelwert der jährlich längsten zusammenhängenden Niedrigwasserperiode, während der $Q_{347}$ des Referenzzustands unterschritten wird.*

Definition

$$d_{Q347} = \sum_{j=1}^{n} d_{max,Q347,j} / n$$

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

$d_{max,Q347}$ 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.*

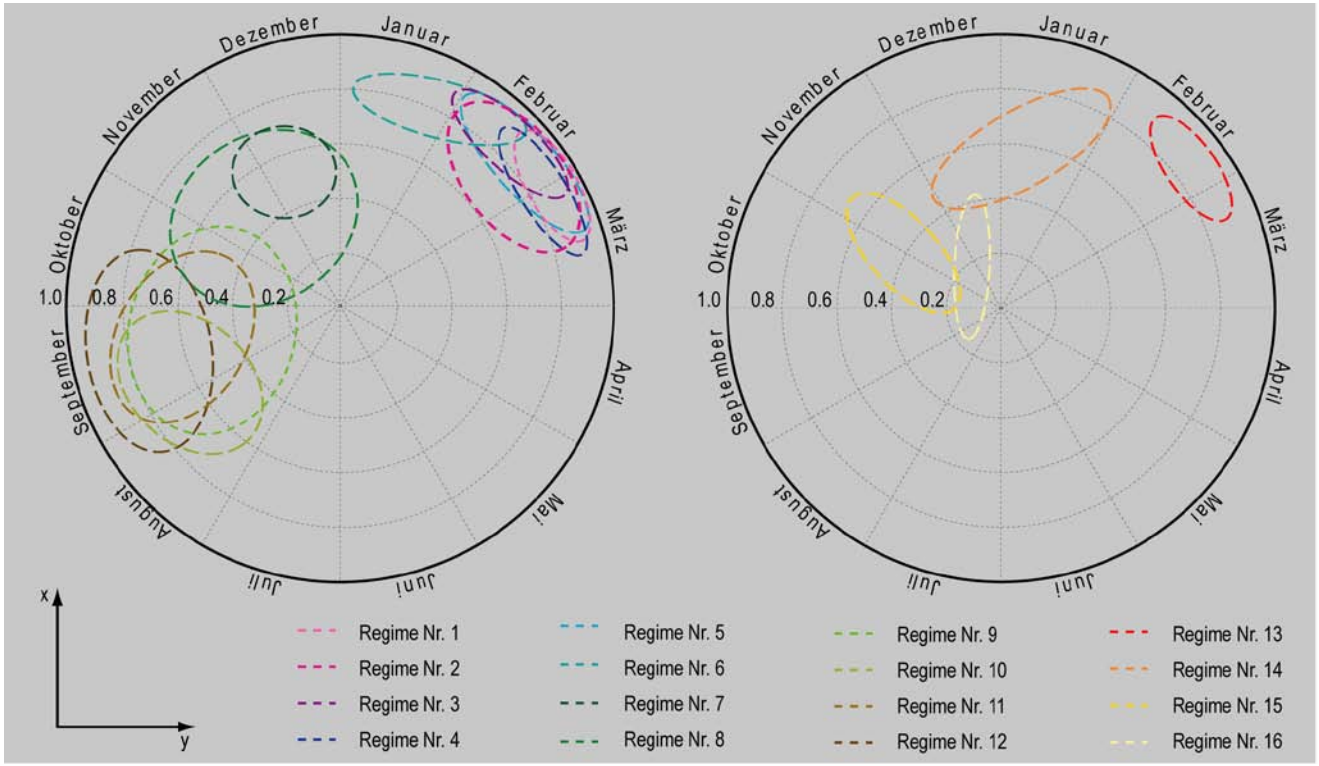
### 3.6.4 Niedrigwasser-Saisonalität (mittleres Auftretensdatum und zeitliche Variabilität)

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

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

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.*

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

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

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

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

Qmin 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.*

$$Q_{Sunk} = Q_{Rest}$$

Berechnungsmöglichkeit 2: aus Betriebsdaten

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

### 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 Abfluss-Tagesmaximum zu Abfluss-Tagesminimum 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.*

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

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

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

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 Pfaundler & 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

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

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 Pfaundler & Keusen (2007) illustriert.*

### 3.7.6 Spülabfluss

*Der **Spülabfluss $Q_{Spül}$** 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

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

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

$Q_{Spül,max}$ 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.*

Abschätzung von $Q_{Spül}$ 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 $f_{Spül}$** entspricht der mittleren jährlichen Anzahl Spülereignisse oder Entleerungen mit einem Abfluss, der gleich gross oder grösser ist als der Spülabfluss $Q_{Spül}$ gemäss Definition in Kap. 3.7.6.*

Definition

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

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Betriebsdaten

### 3.7.8 Pegelanstiegsrate Spülungen und Entleerungen

*Die **Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung $PR_{Spül}$** 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

$$PR_{Spül} = Maximum\ von\ PR_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{\Delta t}$$

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

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

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

Berechnungsmöglichkeit 2: Grobabschätzung aus Betriebsdaten

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

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

### 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.

Definition

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

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

Berechnungsmöglichkeit 1: aus Messdaten

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

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

Berechnungsmöglichkeit 2: aus Betriebsdaten

Berechnungsmöglichkeit 3: gemäss GEP-Methodik

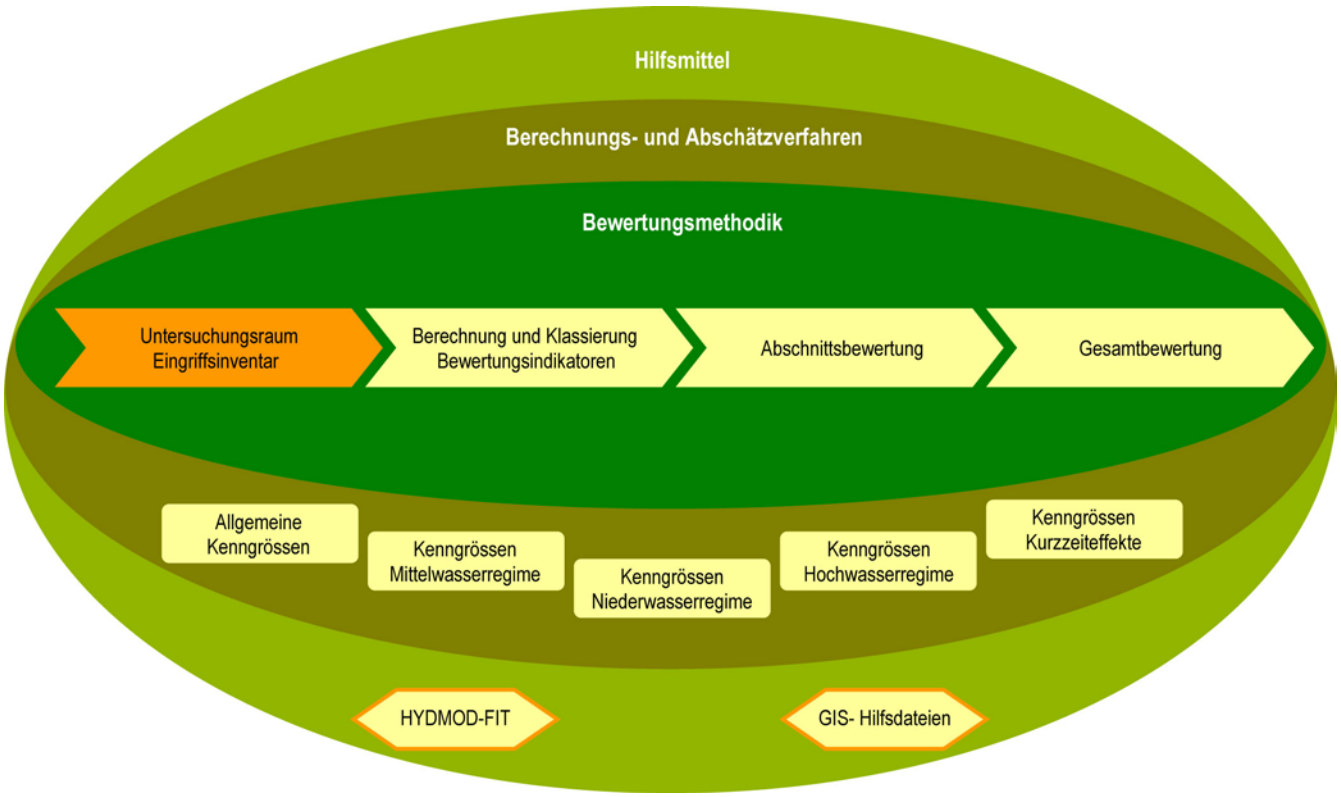
Abschätzung von $f_E$ anhand entsprechender Berechnungen gemäss GEP-Methodik in VSA (2002) oder mit dem Programm REBEKA gemäss Rauch et al. (2000). Dabei kann die Formel zur Berechnung der Regenwassereinleitung rückwärts aufgelöst werden nach der Jährlichkeit der Regenintensität $r_{D,T}$ für die geschätzte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

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

| | |
|---|---|
| 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* | Hochwasserschwellenwert (siehe Kap. 3.5.2) |
| $MQ_{Vorfluter}$ | Mittlerer jährlicher Abfluss des Vorfluters |
| $A_{Entw}$ | Entwässerte Fläche |
| $\Psi$ | Spitzenabflusskoeffizient |

# 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

Hydrologisches Einzugsgebiet als 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.

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.

Gewässernetz als räumliche Bezugseinheit

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.

## 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).

Eingriffe = wasserwirtschaftliche Massnahmen

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.

Typisierung der Eingriffe

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.

Inventarisierung von Staustrecken

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.

**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 | Beschneiungsanlage | $Q_A$ = 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 | $Q_Ü$ = max. bewilligte Abflussmenge Überleitung | $Q_ü \geq 20$ l/s | $Q_ü$ : MQ > 10 % |
| B7 | Rückgabe turbiniertes Wasser (Triebwasser) aus Wasserkraftwerken mit Schwallbetrieb | $L_{installiert}$ = installierte Leistung, $Q_{Schwall}$ = Schwallabfluss | $L_{installiert} \geq 50$ kW | $Q_{Schwall}$ : MQ > 25 % |
| B8 | Rückgabe turbiniertes 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 | $Vol_{Speicher} \geq 15\,000$ m³ | $Vol_{Speicher} > 12h \cdot MQ_{Speicherzuflüsse}$ |
| C2 | Mehrzweck- und andere Speicherseen (Bewässerung, Erholung, Beschneiung,...) | $Vol_{Speicher}$ = Speichervolumen bei Stauziel | $Vol_{Speicher} \geq 15\,000$ m³ | $Vol_{Speicher} > 12h \cdot MQ_{Speicherzuflüsse}$ |
| 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 $Vol_{See} \geq 25\,000$ m³ | $Vol_{Regulierung} > 12h \cdot MQ_{Seezuflüsse}$ |
| C4 | Hochwasser-Rückhaltebecken | $Vol_{Retention}$ = Retentionsvolumen | $Vol_{Ret.} \geq 10\,000$ m³ | $Vol_{Retention} > 1.5h \cdot MQ$ |
| 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 | Stauraumspülungen | $Q_{Spül}$ = Spülabfluss, $f_{Spül}$ = Spülungen/Jahr | $Q_{Spül} > 150$ l/s | $f_{Spül}$ <10 <20 <40 >40<br>$Q_{Sp.}$: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<br>$Q_{Sp.}$:MQ >85 %>65 %>50 %>25 % |

## 4.3 Feststellen der Erheblichkeit der Eingriffe

Beschränkung auf erhebliche 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:

Vernachlässigung kleiner Gewässer

> 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).

Bündelung mehrerer kleiner Eingriffe

> 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.

## 4.4 Feststellen der Signifikanz der Eingriffe

Signifikanz gemäss Immissionsbetrachtung

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.

Ausscheidung von Eingriffen ohne Beeinträchtigung

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.

Bündelung mehrerer kleiner Eingriffe

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.

Ausnahmen

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.

## 4.5 Tabelle und Darstellung Eingriffsinventar

HYDMOD-FIT als Hilfsmittel

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:

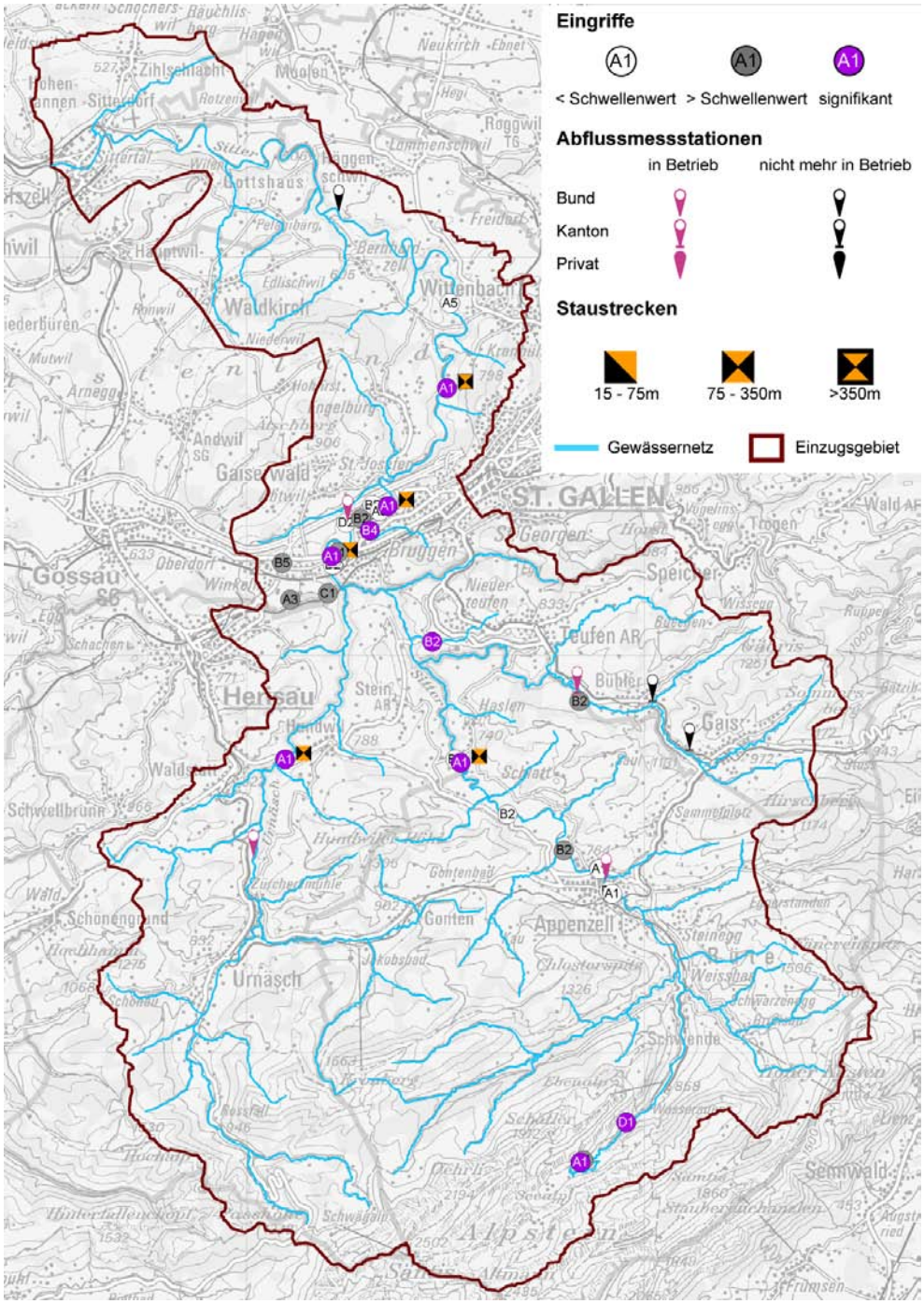
- Name / Bezeichnung des Eingriffs
- Eingriffstyp
- Charakteristische Grössen je nach Eingriffstyp
- Koordinaten und Höhe des Eingriffs [m ü.M.]
- Einzugsgebietsfläche [km²] und mittlere Höhe des Einzugsgebiets [m ü.M.]
- Betroffenes Gewässer
- Abflussregimetyp

Kartografische Darstellung

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.

**Abb. 15 > Kartografische Darstellung des Eingriffinventars**

*Eingriffskarte am Beispiel der Sitter, Kt. SG, AI und AR.*

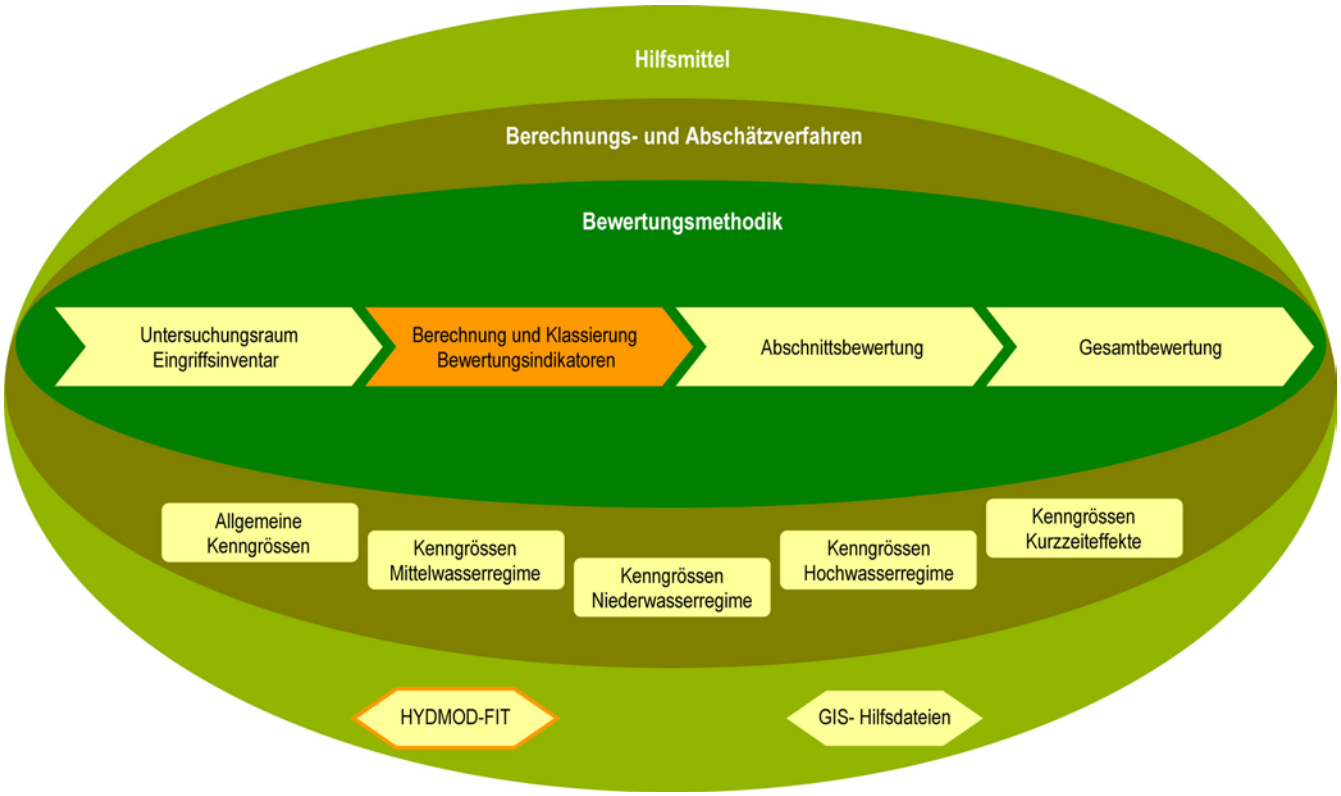



(c) 2010 swisstopo (BA100271)

# 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

Einschränkung der Bewertung auf Indikatoren mit erwarteter Beeinträchtigung

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.

Angaben über erwartete Auswirkungen eines Eingriffs

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

- 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 | | | | | | | | | | | | | |

Situationsbezogene Auswahl der relevanten Indikatoren

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.

Berücksichtigung oberhalb liegender Eingriffe

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

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

Herleitung

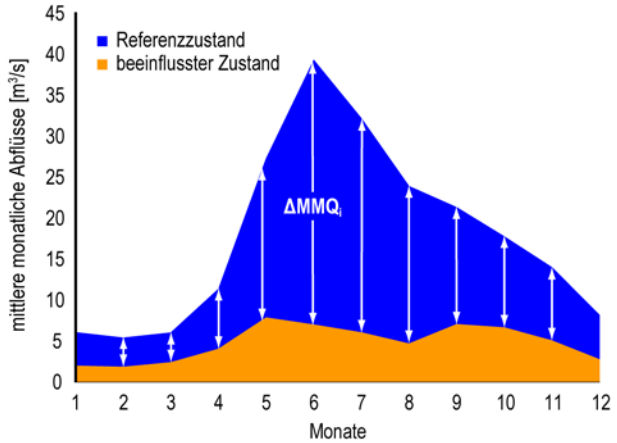
Der Bewertungsindikator «Mittelwasser-Abflussverlauf» beschreibt die grundsätzliche Natürlichkeit der mittleren Abflüsse und ihres Jahresverlaufs. Es wird eine relative Grösse R hergeleitet, welche die Veränderungen des mittleren jährlichen Abflusses (MQ) sowie die saisonalen Verschiebungen der monatlichen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

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 $\Delta MMQ_i$ für den Brenno bei Loderio.*



Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

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

Natürliche Variabilität

Die Klassierungsregel vergleicht $R_{r,b}$ mit der natürlichen Variabilität von MQ und $Pk_i$ in Abhängigkeit vom Abflussregimetyp, 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 Abflussregimetyp-spezifischen Auswertungen von $R_{j,Regimtyp}$ in Anhang A2, Abb. 11, zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Abflussregimetypen.

Bewertungsgrössen

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

### 5.2.2 Berechnungen

Berechnung Indikatorwert $R_{r,b}$

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.

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

$MMQ_{i,r}$ 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)

Berechnung weitere Bewertungsgrössen

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

**Tab. 10 > Quantile des R-Werts $R_{j,Regimetyp}$ [%] pro Abflussregimetyp**

*Die folgenden Werte wurden im Rahmen von Abflussregimetyp-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

Klassierungsregel

Für die Klassen 1–3 erfolgt die Einstufung durch Vergleich einerseits mit Quantilen der Abflussregimetyp-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 $R_{r,b}$.

**Abb. 17 > Klassierungsregel Mittelwasser-Abflussverlauf**

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

Anwendungsbeispiel

Veranschaulicht ist dieser Ansatz anhand eines Beispieles 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:

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

## 5.3 Hochwasserhäufigkeit

### 5.3.1 Herleitung und Definition

Herleitung

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:

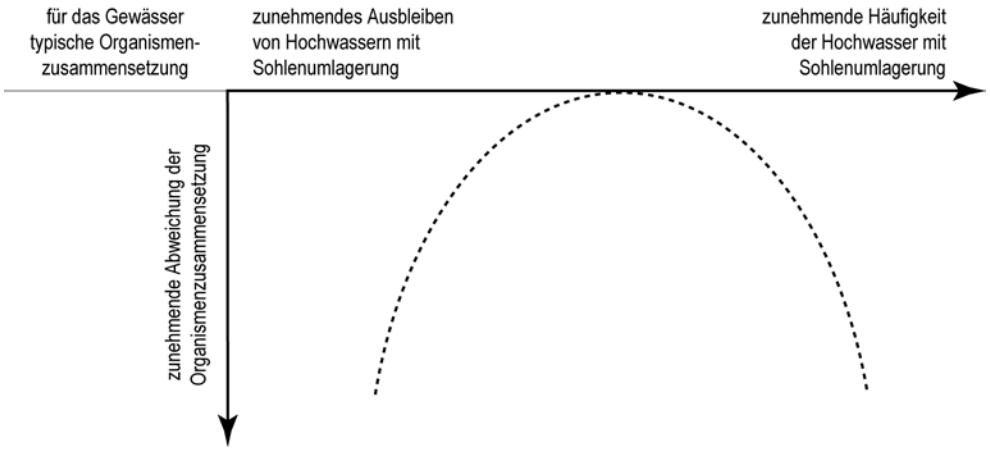
- Bei reduziertem Hochwasserabfluss bzw. Häufigkeit besteht die Tendenz zu verstärktem Algenwachstum und einer Verschlemmung der Gewässersohle und des Interstitiales mit Feinpartikeln (Kolmation). Nach einem Hochwasser mit Geschiebetrieb wird das Substrat vom Algenaufwuchs gesäubert und das Gewässerbett 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), Rauhigkeit 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

Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

Eine Abflussregimetyp-spezifische Auswertung der Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ,r}$ zeigt, dass zwischen den Abflussregimetypen ausgeprägte Unterschiede bestehen. Die durchschnittliche Anzahl Hochwasserereignisse oberhalb des definierten Schwellenwertes bewegt sich je nach Abflussregimetyp 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.

Natürliche Variabilität

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.

Bewertungsgrössen

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

### 5.3.2 Berechnungen

Berechnung Indikatorwert $f_{HQ,b}$

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

### 5.3.3 Klassierung

Klassierungsregel

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).

**Abb. 19 > Klassierungssregel Hochwasserhäufigkeit**

*Die Klassierungsregel unterscheidet für Klasse 1 verschiedene Abflussregimetypen.*

| | | |
|---|---|---|
| Klasse 1 | $f_{HQ,b} \geq 2$ | mindestens zweimal im Jahr für Regimetypen 1-5, 13 |
| | $f_{HQ,b} \geq 3.5$ | mindestens 3.5 mal im Jahr für Regimetypen 6, 7, 10-12, 14, 15 |
| | $f_{HQ,b} \geq 6$ | mindestens sechsmal im Jahr für Regimetypen 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

Herleitung

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).

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 Brütlingsperiode 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.

Bewertungsindikator

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

Bezug zum Referenzzustand

Der Bezug zum Referenzzustand ist im Bewertungsindikator $Dist_{r,b}$ bereits enthalten.

Natürliche Variabilität

Die natürliche Variabilität ist im Bewertungsindikator $Dist_{r,b}$ bereits enthalten.

Bewertungsgrössen

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

### 5.4.2 Berechnungen

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

Berechnung Indikatorwert $Dist_{r,b}$ aus Polarkoordinaten

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

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

Berechnung Indikatorwert $Dist_{r,b}$ aus kartesischen Koordinaten

$$Dist_{r,b} = \sqrt{\left(\bar{x}_r - \bar{x}_b\right)^2 + \left(\bar{y}_r - \bar{y}_b\right)^2}$$

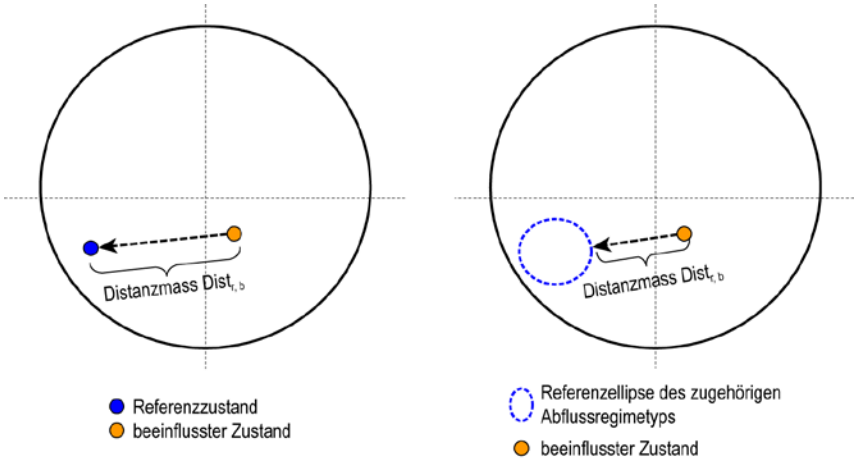
$\bar{x}$, $\bar{y}$ Arithmetische Mittel der kartesischen Koordinaten der Einzelereignisse j (vgl. Kap. 3.5.4)

Berechnung Indikatorwert $Dist_{r,b}$ mit Referenzellipsen

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.

**Abb. 20 > Beispiel für die dimensionslose Masszahl $Dist_{r,b}$**

*Distanz der beiden Saisonalitätspunkte als Bewertungsindikator.*




## 5.4.3 Klassierung

Klassierungsregel

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

- Ist die Referenz durch eine grosse zeitliche Variabilität charakterisiert und liegt also im Bereich des Ursprungs des Saisonalitätskreises, so kann $Dist_{r,b}$ 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 $Dist_{r,b} > 1$ 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**

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

## 5.5 Niedrigwasserabfluss

### 5.5.1 Herleitung und Definition

Herleitung

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.

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.

Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

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

Natürliche Variabilität

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.

Bewertungsgrössen

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

### 5.5.2 Berechnungen

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

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:

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

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

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

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

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

$Q_{347,r}$ $Q_{347}$ des Referenzzustands (vgl. Kap. 3.6.1)
$Q_{Sunk}$ Sunkabfluss (vgl. Kap. 3.7.2), anstelle des $Q_{347}$ des beeinflussten Zustands

Berechnung weitere Bewertungsgrössen

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

## 5.5.3 Klassierung

Klassierungsregel

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.

**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 Werte kommen die kleinsten resp. grössten Werte zur Anwendung.*

| | $Q_{347,r}$ = 50 l/s | $Q_{347,r}$ = 200 l/s | $Q_{347,r}$ = 500 l/s | $Q_{347,r}$ = 1000 l/s |
|---|---|---|---|---|
| Klasse 1 | $\Delta Q_{347,r,b} < CV\text{-}Q_{347,r}$ | | | |
| 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

Herleitung

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).

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

Herleitung

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.

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.

Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

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.

Natürliche Variabilität

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.

Bewertungsgrössen

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

### 5.7.2 Berechnungen

Berechnung Indikatorwert $d_{Q347}$

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

### 5.7.3 Klassierung

Klassierungsregel

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.

**Abb. 23 > Klassierungsregel Dauer Niedrigwasserperioden**

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

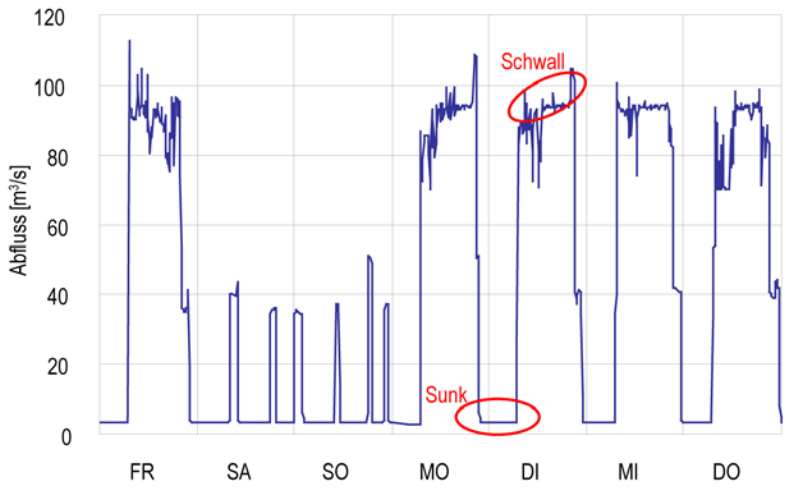
## 5.8 Schwall/Sunk-Phänomen

### 5.8.1 Herleitung und Definition

Herleitung

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.

**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.

Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

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

Natürliche Variabilität

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

Bewertungsgrössen

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

### 5.8.2 Berechnungen

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

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

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

$V_{S/S}$ 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 grösseren 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 $\leq$ 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 $\geq$ 4 cm/min
- Zwischen den angegebenen Eckpunkten wird linear interpoliert.

Berechnung Indikatorwert $I_{h,Schwall}$

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

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

$Q_{Schwall}$ 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

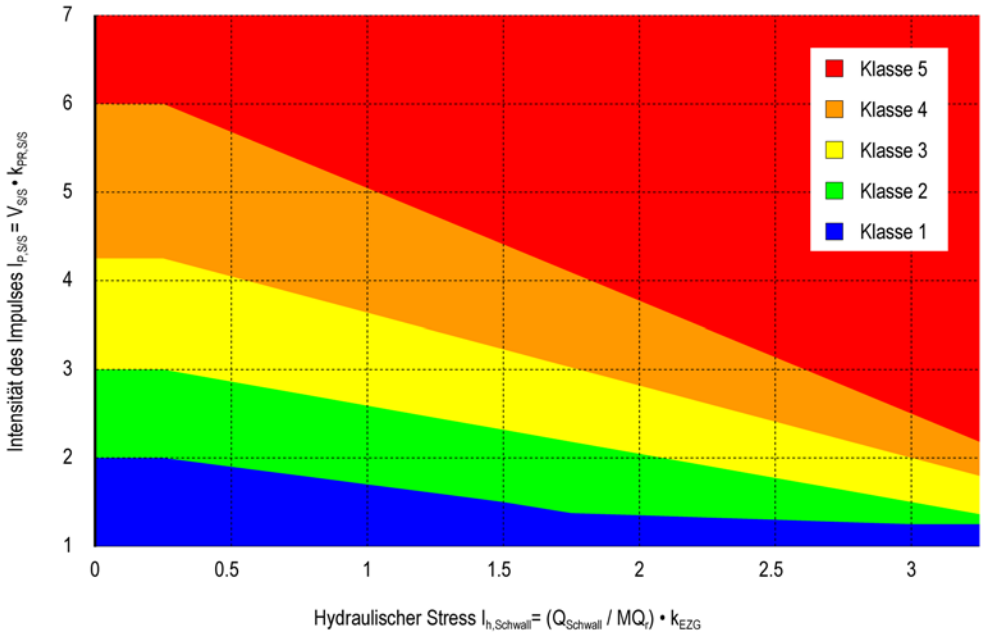
Klassierungsregel

In die Klassierungsregel fliessen folgende Feststellungen ein:

- > 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

Herleitung

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 (Stauraumspülungen).

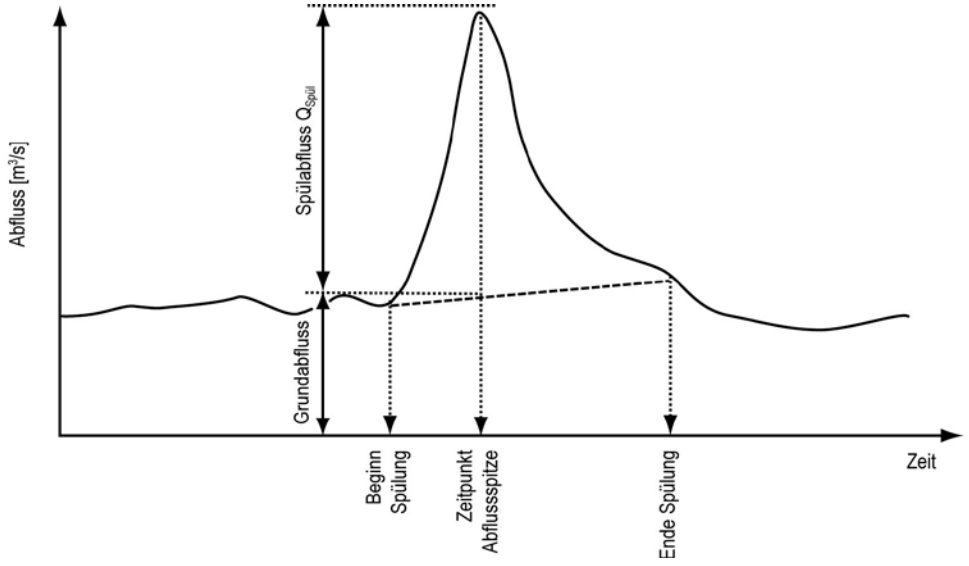
Die ökologischen Beeinträchtigungen resultieren einerseits aus der hydraulischen Stossbelastung, andererseits aus den während der Spülung/Entleerung auftretenden hohen Feststoffkonzentrationen und damit einhergehender Trübung (vgl. BUWAL 1994). Im Rahmen von HYDMOD-F werden allerdings nur die Auswirkungen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

Abb. 26 zeigt eine charakteristische Abflussganglinie einer Spülung und die Definition des Spülabflusses $Q_{Spül}$. 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 $Q_{Spül}$ 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 $Q_{Spül}$ ist der durch die Spülung typischerweise verursachte Mehrabfluss (Abflussspitze minus Grundabfluss).*




Bewertungsindikator

Für den Bewertungsindikator Spülung und Entleerung werden zwei Indikatorwerte definiert:

- der hydraulische Stress $I_{h,Spül}$, definiert als normierter Spülabfluss $Q_{Spül}$ 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 $f_{Spül}$ pro Jahr.

Bezug zum Referenzzustand

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

Natürliche Variabilität

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

Bewertungsgrössen

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

### 5.9.2 Berechnungen

Berechnung Indikatorwert $I_{h,Spül}$

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

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

| | |
|---|---|
| $Q_{Spül}$ | 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 $\leq 0.5$ 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 $\geq 4$ 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

Berechnung Indikatorwert $f_{Spül}$

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 $Q_{Spül}$.

Hinweis

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.

### 5.9.3 Klassierung

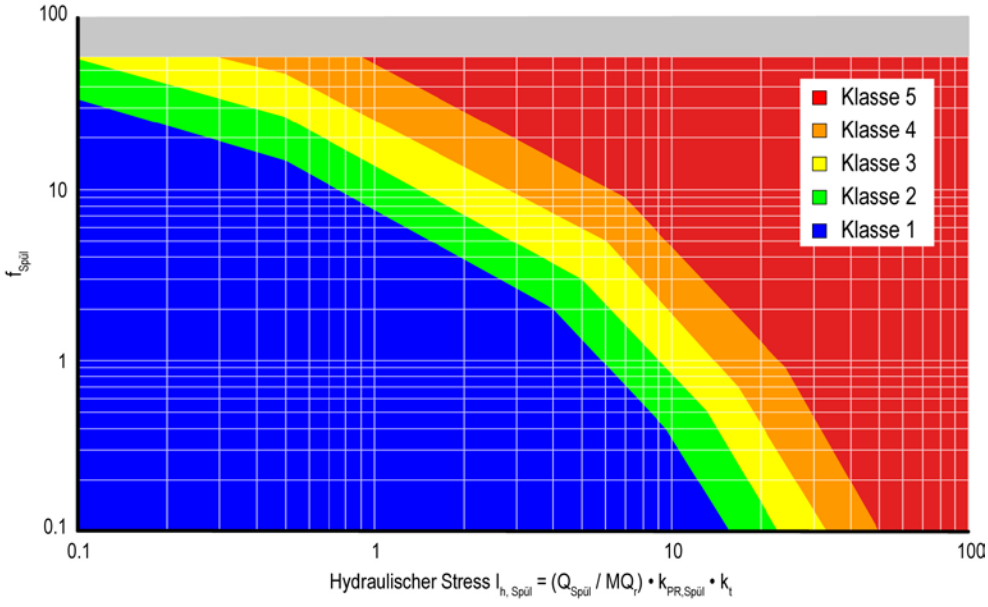
Klassierungsregel

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

- Der Verhältniswert $k_{MHQ:MQ}$ 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 Abflussregimetyp 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 $f_{Spül}$ 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

Herleitung

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.

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.

Bewertungsindikator

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.

Bezug zum Referenzzustand

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

Natürliche Variabilität

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

Bewertungsgrössen

> **$f_E$:** Mittlere Hochwasserhäufigkeit durch Regenwassereinleitungen (Momentanabflüsse)

### 5.10.2 Berechnungen

Berechnung Indikatorwert $f_E$

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

### 5.10.3 Klassierung

Klassierungsregel

Die Klassierungsregel orientiert sich an folgenden Grundlagen und Überlegungen:

- In einem naturnahen Zustand (Klasse 1) darf es nur selten zu zusätzlichen Hochwasserereignissen durch Regenwassereinleitungen kommen.
- Die übrigen Klassengrenzen orientieren sich an der zulässigen Anzahl kritischer Einleitungsereignisse für eine mittlere Ökomorphologie-Qualität gemäss STORM (VSA 2007).

**Abb. 28 > Klassierungssregel Regenwassereinleitungen**

| | | |
|---|---|---|
| Klasse 1 | $f_E < 0.2$ | höchstens alle 5 Jahre |
| Klasse 2 | $0.2 \leq f_E < 2$ | bis zu zweimal pro Jahr |
| Klasse 3 | $2 \leq f_E < 4$ | bis zu viermal pro Jahr |
| Klasse 4 | $4 \leq f_E < 8$ | bis zu achtmal pro Jahr |
| Klasse 5 | $f_E \geq 8$ | häufiger als achtmal pro Jahr |

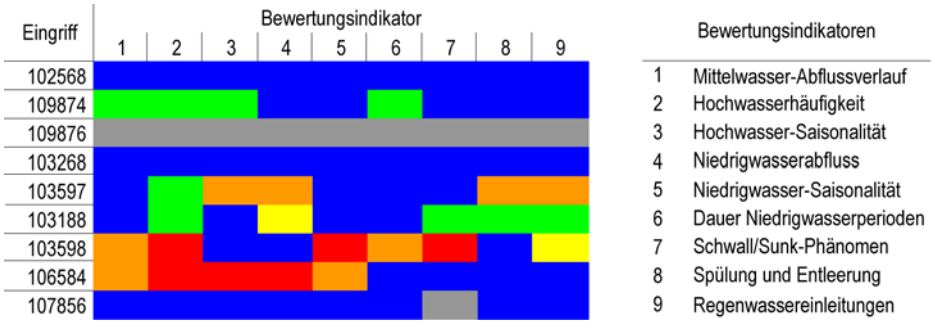
## 5.11 Bewertungstabelle Eingriffsstellen

HYDMOD-FIT als Hilfsmittel

In HYDMOD-FIT kann ein Report erstellt werden, der die Klassierung aller Bewertungsindikatoren für die signifikanten Eingriffe auflistet. Für diejenigen Indikatoren, die gemäss Kap. 5.1 für den jeweiligen Eingriff nicht zu berücksichtigen waren, wird Zustandsklasse 1 angenommen. Bei Indikatoren, die bewertet werden müssten, aber z. B. keine ausreichende Datengrundlage vorliegt, wird keine Bewertung vorgenommen (grau hinterlegt in Abb. 29). Die Bewertungsergebnisse werden farbcodiert dargestellt. So kann in dieser tabellarischen Darstellung ein rascher Überblick über die hydrologischen Defizite gewonnen werden. Die folgende Abbildung zeigt ein entsprechendes Beispiel.

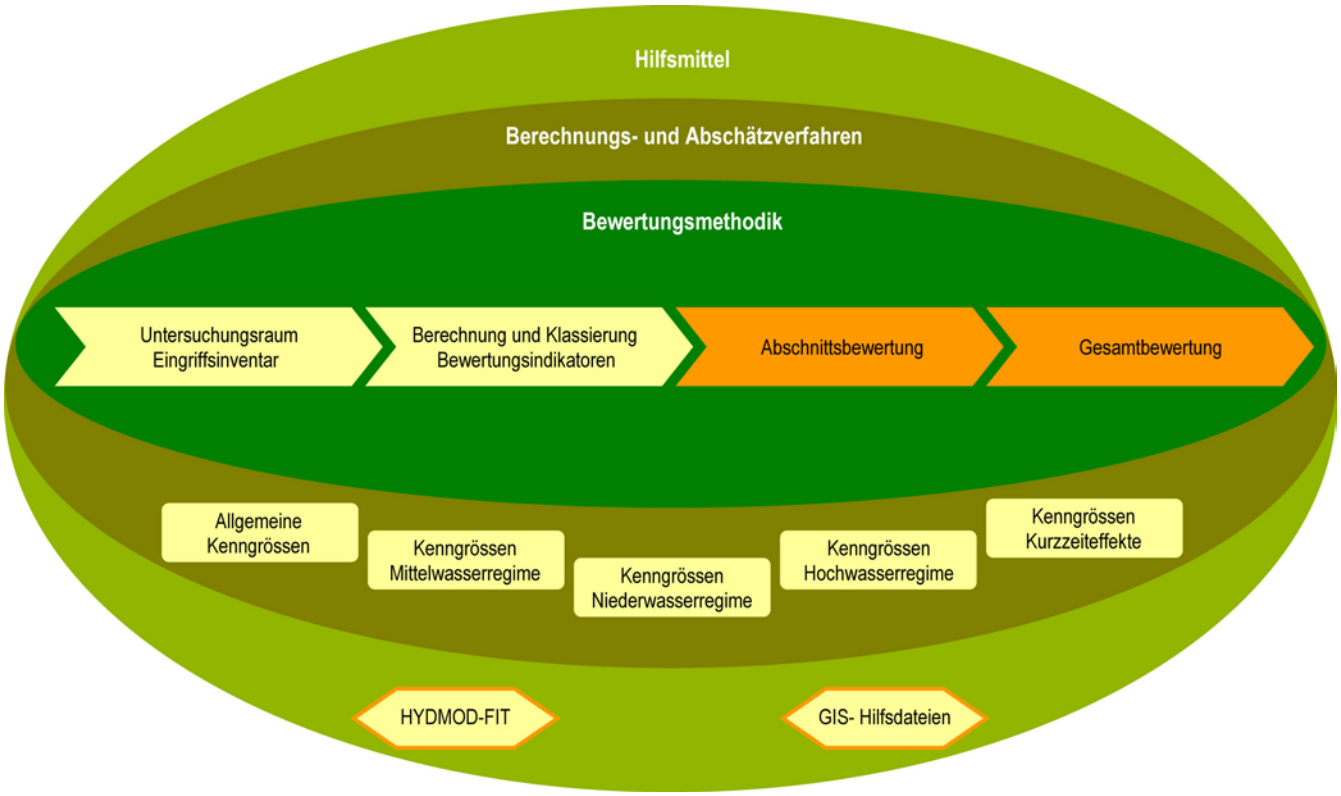
**Abb. 29 > Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Eingriff**

*Jede Zeile repräsentiert einen Eingriff. In der ersten Spalte ist die Nummer des Eingriffs festgehalten. Die nächsten neun Spalten zeigen farblich die Zustandsklassen für die einzelnen Bewertungsindikatoren.*



# 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

Von der Punktbewertung zur Abschnittsbewertung

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.

Ausweisung von Gewässerabschnitten (GA)

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:

- 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.

Ende der Abschnittsbildung

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.

GIS als Hilfsmittel

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.

Bezugspunkt für Berechnungen

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

### 6.1.2 Vorgehen Abschnittsbewertung

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.

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 |

Umgang mit Zustandsklasse grau «ohne Bewertung»

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.

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.

Plausibilisierung Abschnittsbewertung anhand Messdaten

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.

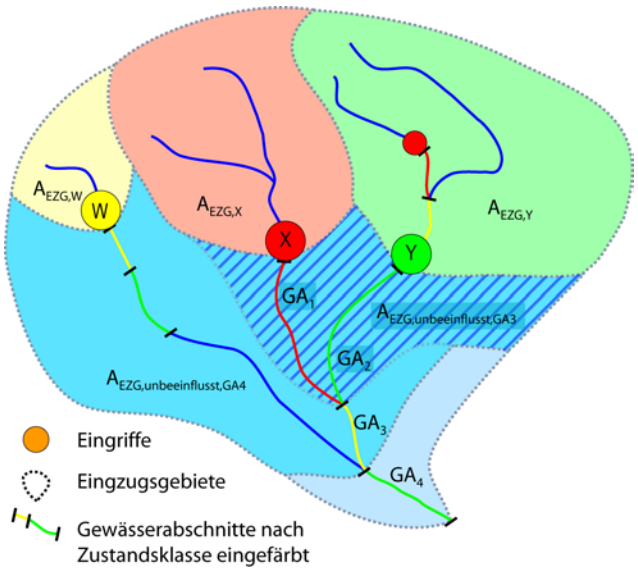
Anwendungsbeispiel

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:

- $Z_{GA1} = Z_x$: 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

Kartografische Darstellung mit GIS-Hilfsdateien

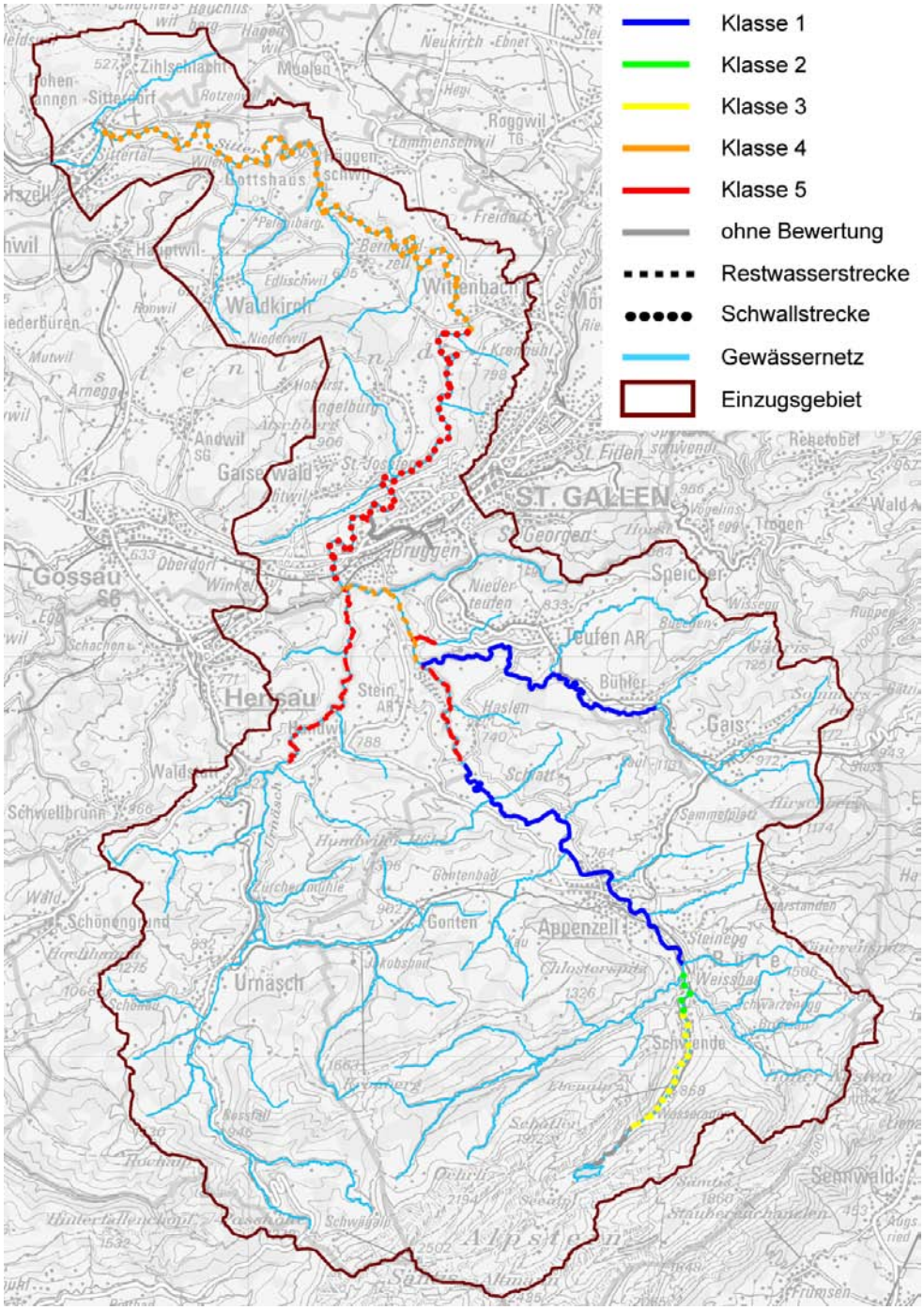
Für die kartografische Darstellung stehen Symbolisierungsvorschläge als GIS-Hilfsdateien (Layer-Dateien für ESRI-Software) sowie vorgefertigte Legenden zur Verfügung (siehe Beispiel in Abb. 31). Es wird empfohlen, für jeden Bewertungsindikator sowie für die Gesamtbewertung (siehe Kap. 6.4) eine separate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

Restwasser- und Schwall-/Sunkstrecken

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).

**Abb. 31 > Beispiel zur kartografischen Darstellung der Bewertungsergebnisse**

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



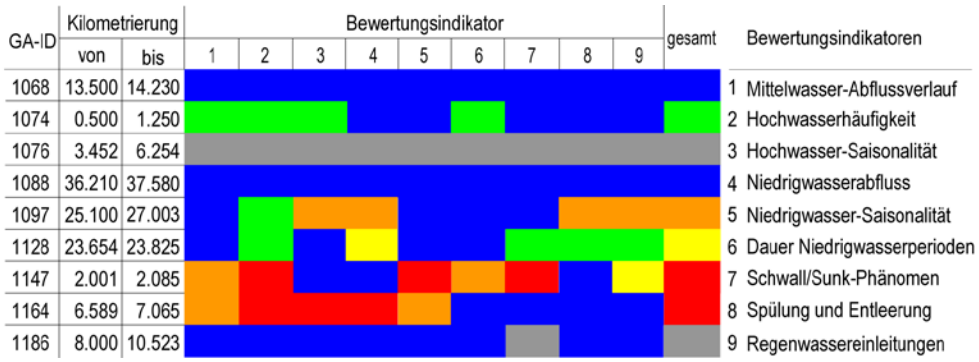

(c) 2010 swisstopo (BA100271)

### 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).*




## 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.<br><br>Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen:<br>• Bedeutung der Grundwasserinfiltration/-exfiltration<br>• Empfindlichkeit der unterliegenden Gewässer (inkl. Seen) auf verminderte Austauschraten und höhere Schmutzstoff-Konzentrationen<br>• Bedeutung des Gewässerlebensraums im Uferbereich, einschliesslich allfälliger Auen<br>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.<br><br>Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen:<br>• Empfindlichkeit der Fisch-Laichgründe auf verstärktes Algenwachstum<br>• Bedeutung der Grundwasserinfiltration/-exfiltration<br>• Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf Veränderungen im Feststoff- und Sauerstoffhaushalt<br>• Bedeutung des Gewässerlebensraums im Uferbereich, einschliesslich allfälliger Auen<br>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.<br><br>Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen:<br>• Empfindlichkeit allfällig vorhandener Fisch-Laichgründe auf Hochwasser im Jahresverlauf<br>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.<br><br>Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen:<br>• Fischdurchgängigkeit bei Niedrigwasser<br>• Vorhandensein von Rückzugsräumen bei Niedrigwasser<br>• Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf Temperaturerhöhungen<br>• Empfindlichkeit der Gewässerlebensräume auf erhöhte Schadstoffkonzentrationen<br>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.<br><br>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.<br><br>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.<br><br>Folgende weitere Abklärungen sind empfohlen:<br>• Generelle Empfindlichkeit der örtlichen Ökomorphologie auf Schwall/Sunk, unter Beachtung eventueller Grundwasserinfiltration<br>• ökologische Durchgängigkeit bei Sunk<br>• ökologische Beurteilung der Spitzen und Häufigkeit von Schwall/Sunk im Jahresverlauf<br>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.<br><br>Für Spülungen und Entleerungen typisch ist ein starker Anstieg von Trübung und Feststofftransport. Entsprechende Empfindlichkeiten der örtlichen Gewässerbiologie sind besonders zu beachten.<br><br>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.<br><br>Für Regenwassereinleitungen typisch ist ein schneller Anstieg bezüglich Abfluss und Schadstoffspitzen. Entsprechende Empfindlichkeiten sind besonders zu beachten.<br><br>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

Gesamtbewertung erforderlich

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.

Überlegungen zur Aggregationsregel

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

- 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.

Aggregationsregel mit «worst case» und Summenwert

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

Bildung Summenwert aus den Zustandsklassen der Einzelbewertungen

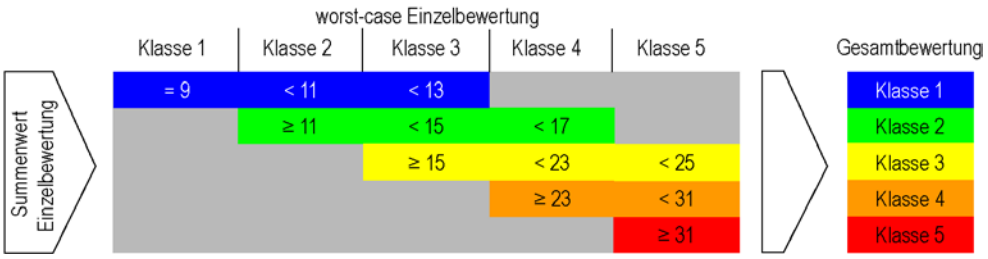
Der Summenwert der Einzelbewertungen wird durch Aufsummieren der folgenden Punktzahlen in Abhängigkeit der Zustandsklasse der Einzelbewertungen gebildet:

- 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).

Umfassendes Set (359 Referenzstationen): diverse hydrologische Kenngrössen

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 Mq und dessen Variationskoeffizient
- Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss MHq (Tagesabflüsse) und dessen Variationskoeffizient
- Faktoren $k_{MHQ:MQ}$, basierend auf maximalen Tagesabflüssen resp. auf maximalen Momentanabflüssen (letzteres mit reduziertem Set an Referenzstationen)
- Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ}$ mit Hochwasserschwellenwert 0.6·MHQ (Momentanabflüsse) und deren Variationskoeffizient (mit reduziertem Set an Referenzstationen)
- Spezifischer Niedrigwasserabfluss $q_{347}$ und dessen Variationskoeffizient
- Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss MNq und dessen Variationskoeffizient
- Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode $d_{Q347}$ und deren Variationskoeffizient

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

Für die Aktualisierung der Pardékoeffizienten $Pk_i$ 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 MQ und $Pk_i$ von Einzeljahren zu deren langjährigen Mittelwerten) ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in Anhang A2 zusammengestellt.

Auswahlkriterien Referenzstationen

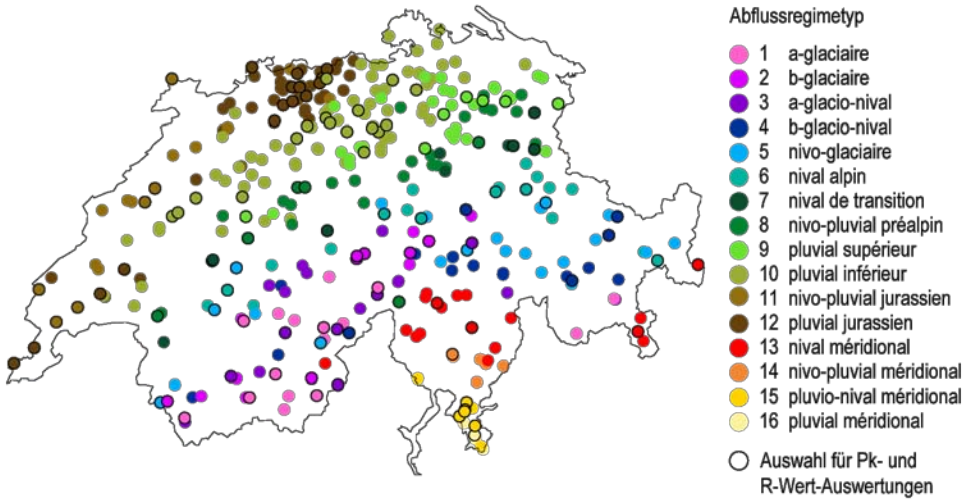
Bei der Auswahl der verwendeten Referenz-Abflussmessstationen wurden folgende Kriterien angewendet:

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

- 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 Luette | 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 | Witenwasserenreuss-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 Sutglatschèr | 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-Zernez, 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, Iltishag | 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, Heidbüel | 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, Häberenbad | 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 | Noiraigue-Noiraigue | 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-Campra | 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 Rösa | 1970–2001 | 32 |
| 13 | Bavona-Bignasco | 1932–1952 | 21 |
| 14 | Riale di Roggiasca-Roveredo | 1966–2001 | 36 |
| 14 | Traversagna-Arbedo | 1980–2001 | 22 |
| 14 | Vedeggio-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-Magliaso, Ponte | 1980–2001 | 22 |
| 15 | Vedeggio-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 Pardékoeffizienten (Pki) und R-Werte

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

Auswertungen Pardékoeffizienten $Pk_i$

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 Pardékoeffizienten $Pk_i$ wie folgt ermittelt:

- **Mittelwert:** Aus den Pardékoeffizienten 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 ($Pk^{75}_{i,n}$) der Pk-Werte für die einzelnen Monate (i) berechnet wird. Daraus wird für die Einzelmonate das mittlere Pk-75 %-Quantil des Regimetyps ($Pk^{75}_{i}$) 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:

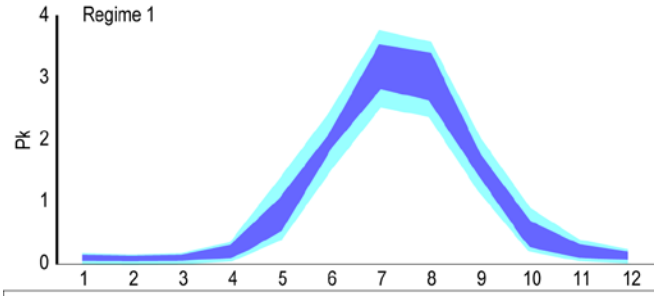
$$OG\ SB = max(Pk_{i,n}) \cdot (1 + \overline{\Delta 75_i})$$

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

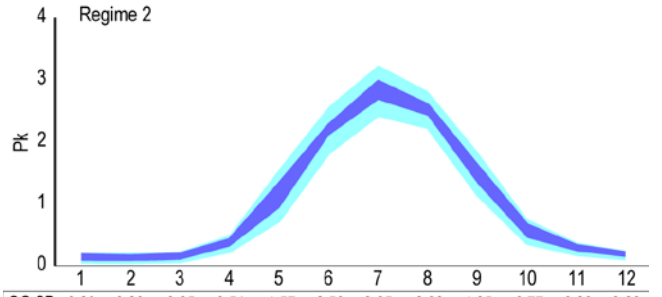
$$UG\ SB = min(Pk_{i,n}) \cdot (1 - \overline{\Delta 25_i})$$

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).

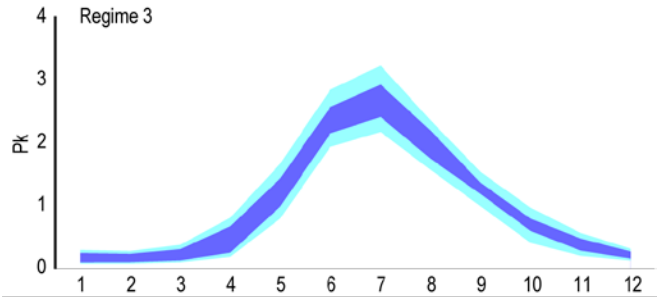
**Abb. 35 > Abflussregimetyp-spezifische Auswertung von $Pk_i$**



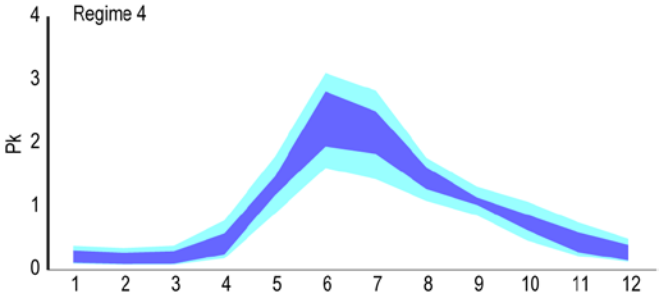

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.15 | 0.13 | 0.15 | 0.33 | 1.36 | 2.43 | 3.75 | 3.56 | 2.01 | 0.88 | 0.37 | 0.21 |
| OG EB | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.28 | 1.05 | 2.09 | 3.52 | 3.39 | 1.75 | 0.67 | 0.29 | 0.17 |
| UG EB | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.10 | 0.57 | 1.90 | 2.86 | 2.67 | 1.46 | 0.31 | 0.10 | 0.05 |
| UG SB | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.07 | 0.42 | 1.55 | 2.57 | 2.40 | 1.20 | 0.24 | 0.08 | 0.04 |
| MPk | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.17 | 0.76 | 2.00 | 3.21 | 3.09 | 1.61 | 0.57 | 0.19 | 0.11 |



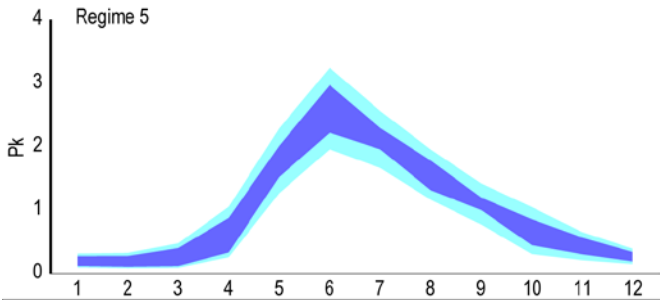

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.23 | 0.20 | 0.25 | 0.51 | 1.57 | 2.58 | 3.25 | 2.83 | 1.85 | 0.77 | 0.39 | 0.26 |
| OG EB | 0.20 | 0.18 | 0.21 | 0.44 | 1.35 | 2.29 | 2.99 | 2.61 | 1.63 | 0.68 | 0.35 | 0.23 |
| UG EB | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.33 | 0.95 | 2.12 | 2.69 | 2.43 | 1.34 | 0.47 | 0.25 | 0.16 |
| UG SB | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.25 | 0.74 | 1.84 | 2.45 | 2.25 | 1.16 | 0.38 | 0.20 | 0.13 |
| MPk | 0.13 | 0.12 | 0.17 | 0.37 | 1.08 | 2.19 | 2.86 | 2.52 | 1.46 | 0.57 | 0.29 | 0.19 |



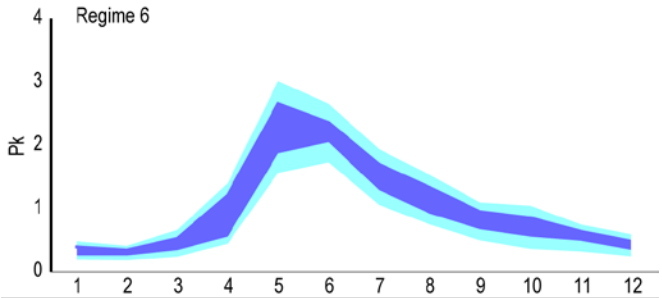

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.30 | 0.28 | 0.38 | 0.81 | 1.67 | 2.85 | 3.24 | 2.36 | 1.54 | 0.97 | 0.57 | 0.32 |
| OB EB | 0.26 | 0.24 | 0.32 | 0.68 | 1.44 | 2.58 | 2.94 | 2.20 | 1.37 | 0.80 | 0.48 | 0.28 |
| UG EB | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.26 | 0.99 | 2.16 | 2.41 | 1.75 | 1.19 | 0.60 | 0.29 | 0.16 |
| UG SB | 0.08 | 0.08 | 0.10 | 0.19 | 0.80 | 1.94 | 2.18 | 1.57 | 0.99 | 0.41 | 0.20 | 0.13 |
| MPk | 0.18 | 0.17 | 0.21 | 0.46 | 1.35 | 2.44 | 2.58 | 2.04 | 1.25 | 0.67 | 0.37 | 0.23 |



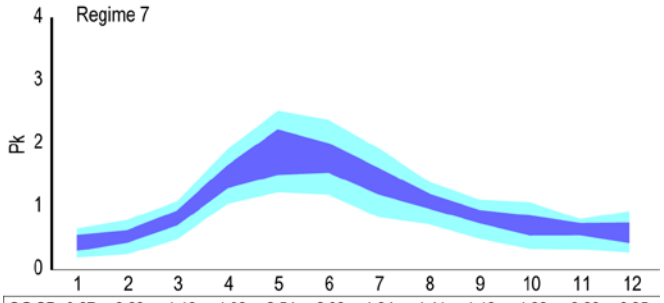

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.41 | 0.37 | 0.41 | 0.86 | 1.99 | 3.47 | 3.16 | 1.97 | 1.45 | 1.19 | 0.82 | 0.53 |
| OG EB | 0.32 | 0.29 | 0.31 | 0.62 | 1.63 | 3.14 | 2.79 | 1.80 | 1.26 | 0.96 | 0.65 | 0.42 |
| UG EB | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.25 | 1.30 | 2.16 | 2.03 | 1.41 | 1.13 | 0.68 | 0.29 | 0.14 |
| UG SB | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.18 | 0.98 | 1.78 | 1.59 | 1.20 | 0.94 | 0.50 | 0.23 | 0.12 |
| MPk | 0.24 | 0.20 | 0.20 | 0.40 | 1.41 | 2.68 | 2.34 | 1.58 | 1.20 | 0.85 | 0.51 | 0.33 |



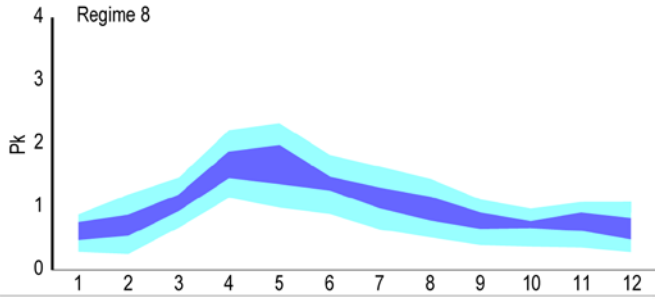

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.33 | 0.34 | 0.49 | 1.07 | 2.30 | 3.26 | 2.58 | 1.97 | 1.43 | 1.06 | 0.67 | 0.40 |
| OG EB | 0.29 | 0.29 | 0.41 | 0.89 | 2.03 | 2.98 | 2.31 | 1.79 | 1.21 | 0.87 | 0.58 | 0.35 |
| UG EB | 0.13 | 0.12 | 0.13 | 0.34 | 1.54 | 2.23 | 1.97 | 1.32 | 1.01 | 0.46 | 0.32 | 0.20 |
| UG SB | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 0.27 | 1.28 | 1.97 | 1.68 | 1.18 | 0.78 | 0.32 | 0.22 | 0.16 |
| MPk | 0.21 | 0.20 | 0.26 | 0.62 | 1.69 | 2.64 | 2.15 | 1.60 | 1.10 | 0.71 | 0.48 | 0.29 |



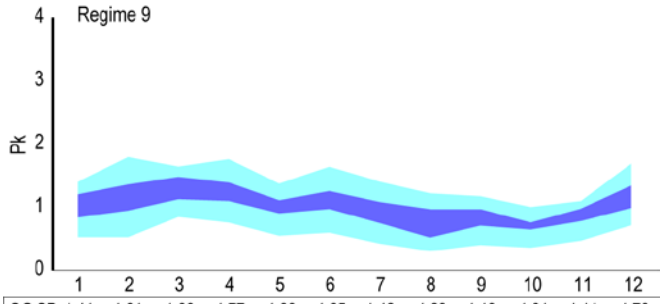

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.52 | 0.45 | 0.70 | 1.44 | 3.05 | 2.69 | 1.98 | 1.57 | 1.13 | 1.08 | 0.78 | 0.63 |
| OG EB | 0.43 | 0.38 | 0.56 | 1.25 | 2.69 | 2.40 | 1.74 | 1.37 | 0.99 | 0.89 | 0.68 | 0.52 |
| UG EB | 0.30 | 0.30 | 0.38 | 0.59 | 1.91 | 2.08 | 1.33 | 0.96 | 0.71 | 0.59 | 0.53 | 0.39 |
| UG SB | 0.23 | 0.22 | 0.28 | 0.48 | 1.60 | 1.77 | 1.09 | 0.79 | 0.53 | 0.40 | 0.36 | 0.28 |
| MPk | 0.33 | 0.34 | 0.49 | 0.99 | 2.16 | 2.29 | 1.61 | 1.15 | 0.89 | 0.70 | 0.58 | 0.43 |



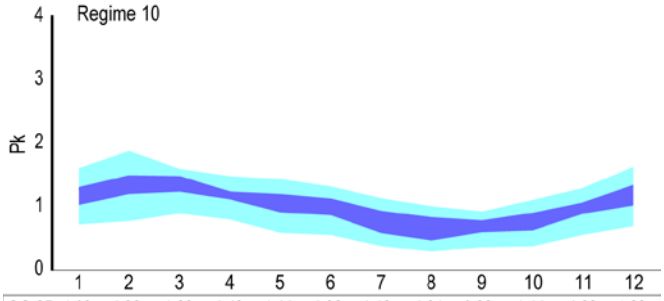

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.67 | 0.80 | 1.10 | 1.93 | 2.54 | 2.39 | 1.94 | 1.41 | 1.13 | 1.09 | 0.82 | 0.95 |
| OG EB | 0.54 | 0.62 | 0.93 | 1.65 | 2.22 | 2.00 | 1.60 | 1.20 | 0.94 | 0.85 | 0.73 | 0.74 |
| UG EB | 0.31 | 0.44 | 0.72 | 1.31 | 1.52 | 1.55 | 1.20 | 0.98 | 0.75 | 0.56 | 0.56 | 0.44 |
| UG SB | 0.20 | 0.25 | 0.50 | 1.06 | 1.24 | 1.20 | 0.85 | 0.73 | 0.51 | 0.35 | 0.33 | 0.28 |
| MPk | 0.44 | 0.52 | 0.81 | 1.44 | 1.90 | 1.73 | 1.34 | 1.08 | 0.85 | 0.66 | 0.66 | 0.56 |



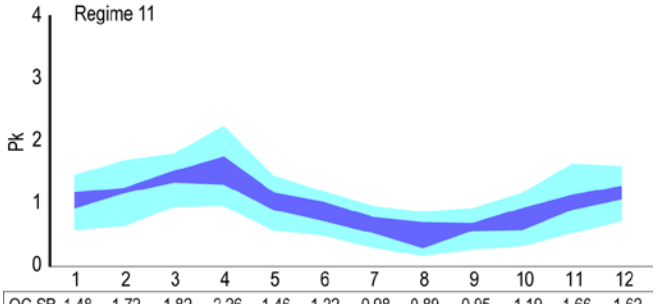

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.88 | 1.20 | 1.46 | 2.22 | 2.33 | 1.82 | 1.64 | 1.44 | 1.12 | 0.97 | 1.08 | 1.08 |
| OG EB | 0.74 | 0.85 | 1.17 | 1.85 | 1.95 | 1.45 | 1.28 | 1.14 | 0.89 | 0.75 | 0.89 | 0.80 |
| UG EB | 0.47 | 0.54 | 0.94 | 1.46 | 1.36 | 1.26 | 0.98 | 0.78 | 0.65 | 0.66 | 0.62 | 0.48 |
| UG SB | 0.29 | 0.26 | 0.67 | 1.14 | 0.99 | 0.89 | 0.64 | 0.52 | 0.40 | 0.37 | 0.36 | 0.28 |
| MPk | 0.59 | 0.71 | 1.06 | 1.65 | 1.59 | 1.34 | 1.12 | 0.97 | 0.79 | 0.70 | 0.80 | 0.66 |



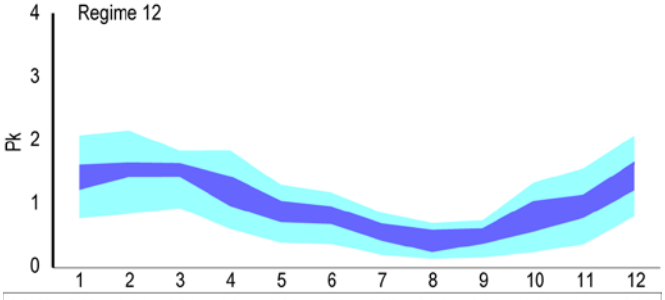

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 1.41 | 1.81 | 1.66 | 1.77 | 1.39 | 1.65 | 1.42 | 1.23 | 1.19 | 1.01 | 1.11 | 1.70 |
| OG EB | 1.19 | 1.35 | 1.47 | 1.38 | 1.10 | 1.24 | 1.07 | 0.96 | 0.96 | 0.75 | 0.96 | 1.33 |
| UG EB | 0.85 | 0.96 | 1.14 | 1.11 | 0.91 | 0.98 | 0.76 | 0.53 | 0.72 | 0.66 | 0.79 | 1.00 |
| UG SB | 0.54 | 0.54 | 0.86 | 0.77 | 0.56 | 0.61 | 0.43 | 0.32 | 0.41 | 0.37 | 0.48 | 0.73 |
| MPk | 0.96 | 1.11 | 1.27 | 1.25 | 1.03 | 1.12 | 0.94 | 0.79 | 0.84 | 0.70 | 0.89 | 1.11 |



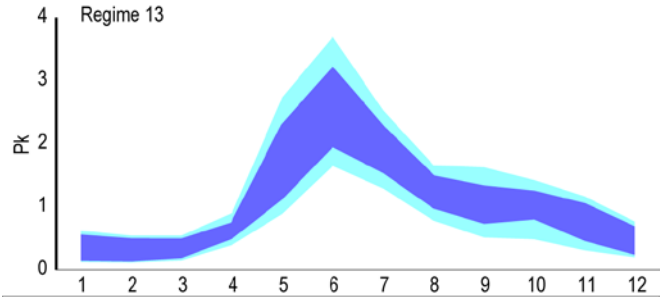

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 1.60 | 1.88 | 1.60 | 1.48 | 1.44 | 1.32 | 1.13 | 1.01 | 0.93 | 1.11 | 1.29 | 1.63 |
| OG EB | 1.28 | 1.47 | 1.46 | 1.21 | 1.18 | 1.11 | 0.91 | 0.81 | 0.76 | 0.88 | 1.04 | 1.32 |
| UG EB | 1.03 | 1.20 | 1.24 | 1.12 | 0.91 | 0.86 | 0.58 | 0.47 | 0.60 | 0.62 | 0.89 | 1.02 |
| UG SB | 0.72 | 0.77 | 0.89 | 0.79 | 0.59 | 0.55 | 0.38 | 0.29 | 0.36 | 0.38 | 0.56 | 0.69 |
| MPk | 1.14 | 1.33 | 1.30 | 1.16 | 1.05 | 1.02 | 0.77 | 0.67 | 0.69 | 0.75 | 0.96 | 1.17 |



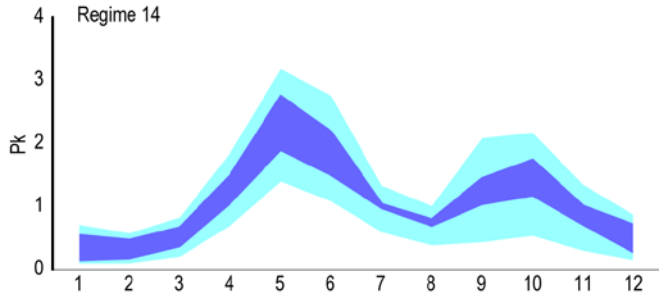

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 1.48 | 1.72 | 1.82 | 2.26 | 1.46 | 1.22 | 0.98 | 0.89 | 0.95 | 1.19 | 1.66 | 1.62 |
| OG EB | 1.18 | 1.25 | 1.52 | 1.75 | 1.17 | 1.03 | 0.78 | 0.70 | 0.69 | 0.93 | 1.14 | 1.28 |
| UG EB | 0.94 | 1.18 | 1.35 | 1.32 | 0.92 | 0.74 | 0.54 | 0.31 | 0.58 | 0.60 | 0.92 | 1.09 |
| UG SB | 0.60 | 0.66 | 0.97 | 0.98 | 0.59 | 0.50 | 0.32 | 0.18 | 0.29 | 0.34 | 0.54 | 0.74 |
| MPk | 1.07 | 1.21 | 1.45 | 1.61 | 1.07 | 0.85 | 0.64 | 0.51 | 0.64 | 0.77 | 1.02 | 1.19 |



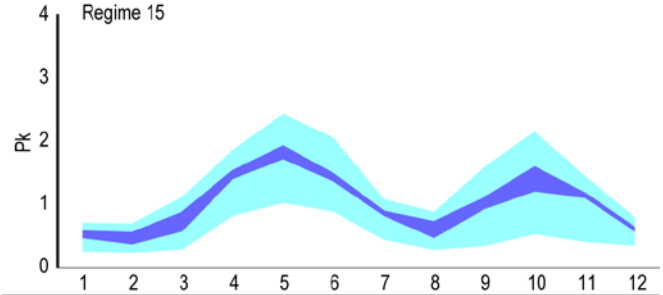

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 2.09 | 2.17 | 1.85 | 1.85 | 1.31 | 1.19 | 0.87 | 0.71 | 0.75 | 1.34 | 1.57 | 2.09 |
| OG EB | 1.61 | 1.64 | 1.63 | 1.42 | 1.03 | 0.94 | 0.68 | 0.58 | 0.60 | 1.03 | 1.13 | 1.65 |
| UG EB | 1.22 | 1.43 | 1.43 | 0.97 | 0.72 | 0.69 | 0.43 | 0.24 | 0.38 | 0.57 | 0.78 | 1.22 |
| UG SB | 0.78 | 0.85 | 0.94 | 0.61 | 0.40 | 0.38 | 0.20 | 0.14 | 0.16 | 0.24 | 0.37 | 0.81 |
| MPk | 1.39 | 1.52 | 1.54 | 1.28 | 0.95 | 0.84 | 0.55 | 0.35 | 0.48 | 0.75 | 0.97 | 1.42 |



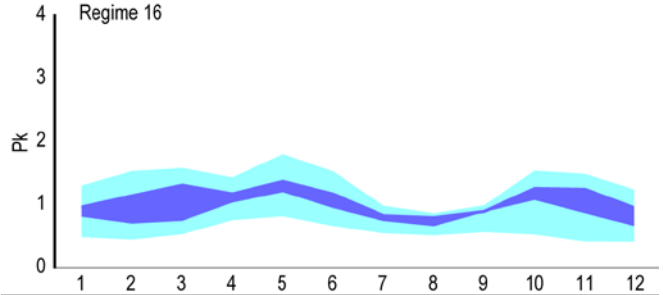

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.62 | 0.54 | 0.54 | 0.90 | 2.74 | 3.69 | 2.53 | 1.66 | 1.63 | 1.42 | 1.16 | 0.76 |
| OG EB | 0.54 | 0.48 | 0.47 | 0.73 | 2.29 | 3.19 | 2.26 | 1.47 | 1.31 | 1.23 | 1.03 | 0.66 |
| UG EB | 0.15 | 0.14 | 0.19 | 0.49 | 1.12 | 1.94 | 1.53 | 0.97 | 0.73 | 0.80 | 0.46 | 0.24 |
| UG SB | 0.13 | 0.12 | 0.15 | 0.39 | 0.89 | 1.65 | 1.29 | 0.78 | 0.51 | 0.48 | 0.31 | 0.20 |
| MPk | 0.29 | 0.25 | 0.29 | 0.59 | 1.79 | 2.49 | 1.79 | 1.22 | 1.13 | 1.04 | 0.70 | 0.39 |




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.71 | 0.58 | 0.83 | 1.85 | 3.18 | 2.75 | 1.33 | 1.01 | 2.09 | 2.17 | 1.34 | 0.87 |
| OG EB | 0.54 | 0.47 | 0.66 | 1.49 | 2.74 | 2.18 | 1.03 | 0.79 | 1.45 | 1.74 | 1.01 | 0.71 |
| UG EB | 0.14 | 0.16 | 0.36 | 1.03 | 1.88 | 1.48 | 0.96 | 0.68 | 1.02 | 1.16 | 0.69 | 0.26 |
| UG SB | 0.10 | 0.10 | 0.21 | 0.70 | 1.40 | 1.08 | 0.59 | 0.39 | 0.44 | 0.54 | 0.30 | 0.15 |
| MPk | 0.33 | 0.31 | 0.56 | 1.26 | 2.18 | 1.73 | 0.99 | 0.73 | 1.18 | 1.36 | 0.91 | 0.44 |




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 0.71 | 0.70 | 1.13 | 1.87 | 2.44 | 2.06 | 1.09 | 0.88 | 1.59 | 2.16 | 1.45 | 0.79 |
| OG EB | 0.57 | 0.54 | 0.86 | 1.52 | 1.91 | 1.47 | 0.88 | 0.71 | 1.09 | 1.58 | 1.17 | 0.62 |
| UG EB | 0.47 | 0.37 | 0.57 | 1.40 | 1.71 | 1.36 | 0.82 | 0.47 | 0.92 | 1.20 | 1.10 | 0.57 |
| UG SB | 0.25 | 0.23 | 0.29 | 0.82 | 1.02 | 0.88 | 0.44 | 0.28 | 0.34 | 0.53 | 0.41 | 0.34 |
| MPk | 0.52 | 0.46 | 0.72 | 1.48 | 1.80 | 1.42 | 0.86 | 0.55 | 1.00 | 1.45 | 1.13 | 0.59 |




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OG SB | 1.34 | 1.56 | 1.61 | 1.47 | 1.84 | 1.56 | 1.02 | 0.90 | 1.02 | 1.57 | 1.52 | 1.27 |
| OG EB | 1.00 | 1.17 | 1.34 | 1.20 | 1.40 | 1.20 | 0.86 | 0.83 | 0.93 | 1.29 | 1.28 | 0.98 |
| UG EB | 0.84 | 0.73 | 0.78 | 1.07 | 1.23 | 0.98 | 0.77 | 0.69 | 0.91 | 1.11 | 0.90 | 0.69 |
| UG SB | 0.52 | 0.48 | 0.56 | 0.79 | 0.85 | 0.70 | 0.58 | 0.55 | 0.60 | 0.56 | 0.45 | 0.44 |
| MPk | 0.91 | 0.90 | 0.99 | 1.14 | 1.33 | 1.09 | 0.81 | 0.74 | 0.92 | 1.21 | 1.15 | 0.82 |

Legende

OG SB: Obergrenze Schwankungsbereich
OG EB: Obergrenze Erwartungsbereich
UG EB: Untergrenze Erwartungsbereich
UG SB: Untergrenze Schwankungsbereich
MPk: Mittelwert Pardékoeffizient

Auswertungen R-Werte $R_{j,Regimetyp}$

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 $R_{j,Regimetyp}$ 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.

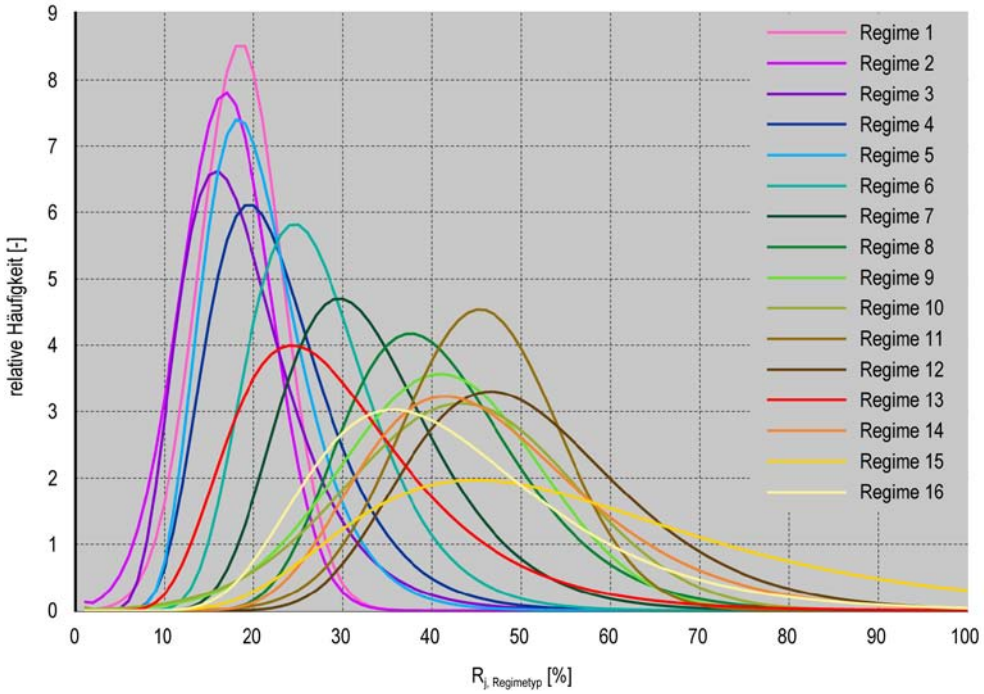
$$R_{j,Regimetyp} = \sum_{i=1}^{12} \left| MMQ_i - MMQ_{i,j} \right| / \left( \sum_{i=1}^{12} MMQ_i \right) \text{ des Regimetyps}$$

$R_{j,Regimetyp}$ 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 $R_{j,Regimetyp}$ 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 $R_{j,Regimetyp}$**

*Theoretische Verteilungsfunktionen der R-Werte pro Regimetyp.*



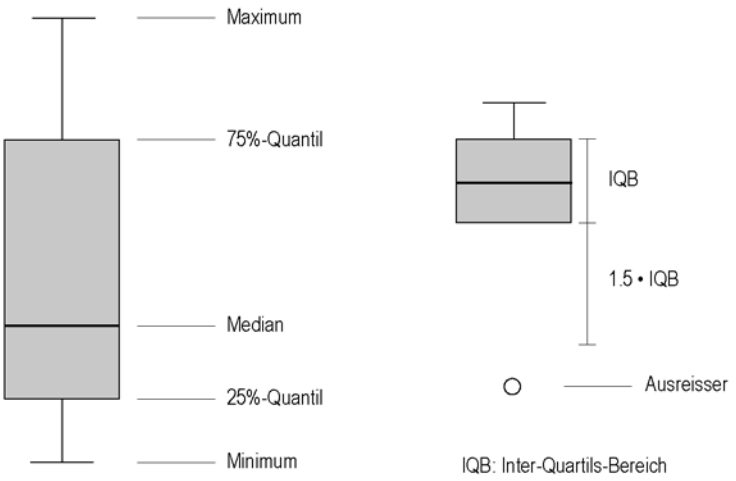
## A3 Auswertungen weitere hydrologische Kenngrössen

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 Mq [l/s· km²]**

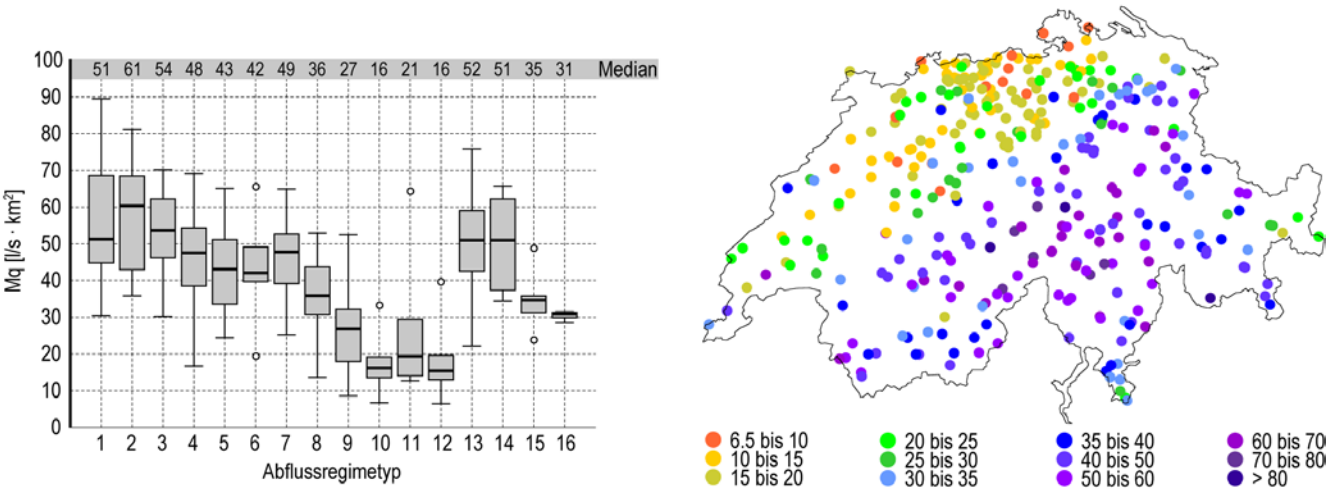



**Abb. 39 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Abfluss CV-MQ [%]**

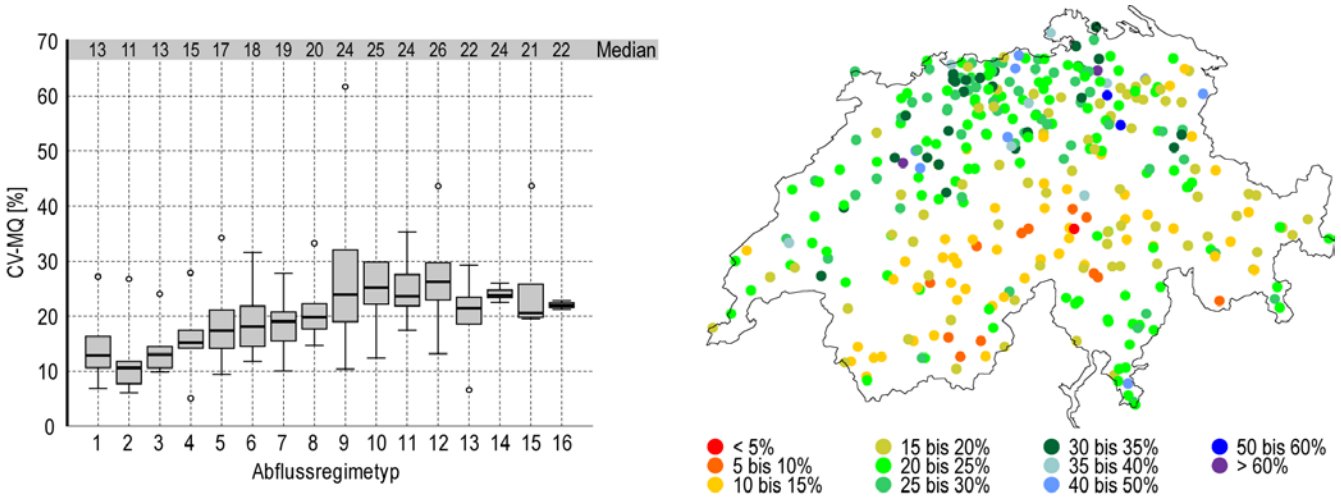


**Abb. 40 > Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) MHq [l/s· km²]**

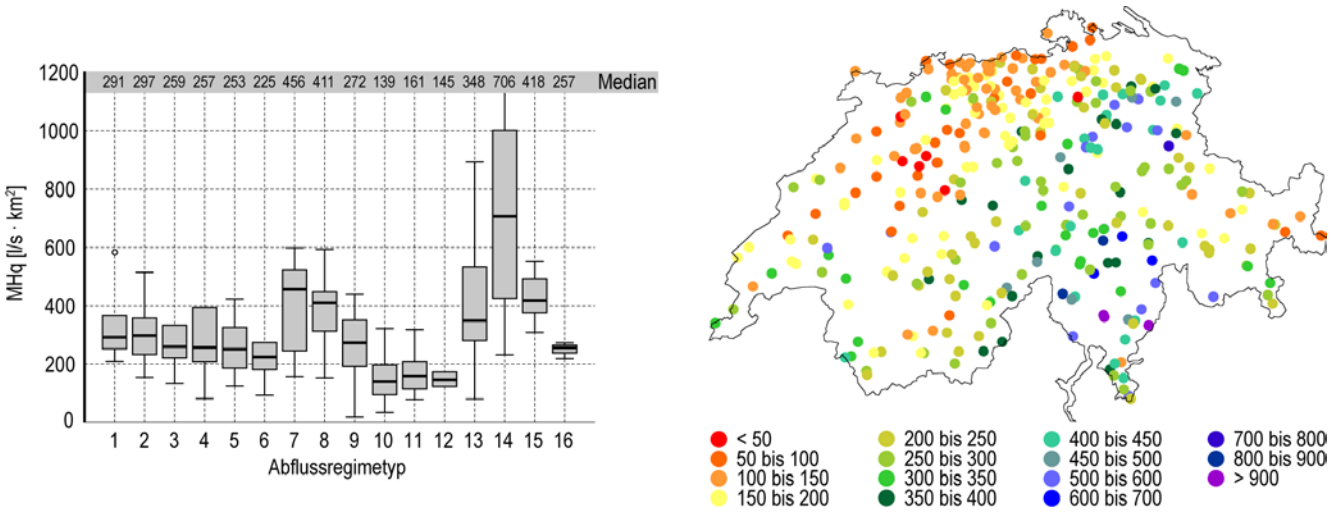



**Abb. 41 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) CV-MHQ [%]**

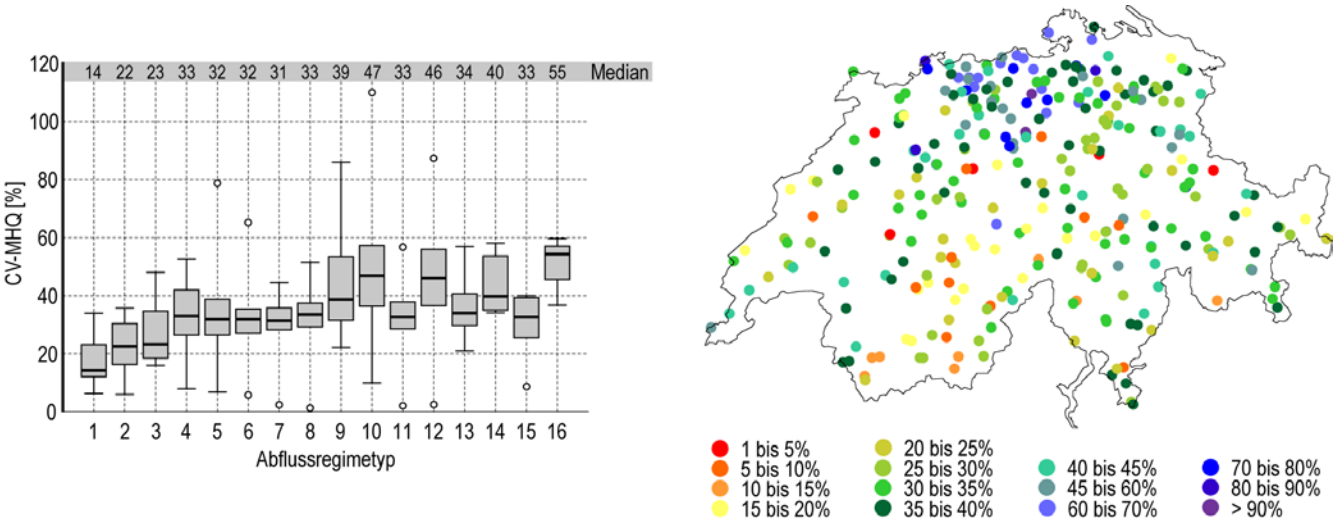


**Abb. 42 > Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Tagesabflüssen)**

*Datengrundlage für MHQ sind jährlich maximale Tagesabflüsse.*

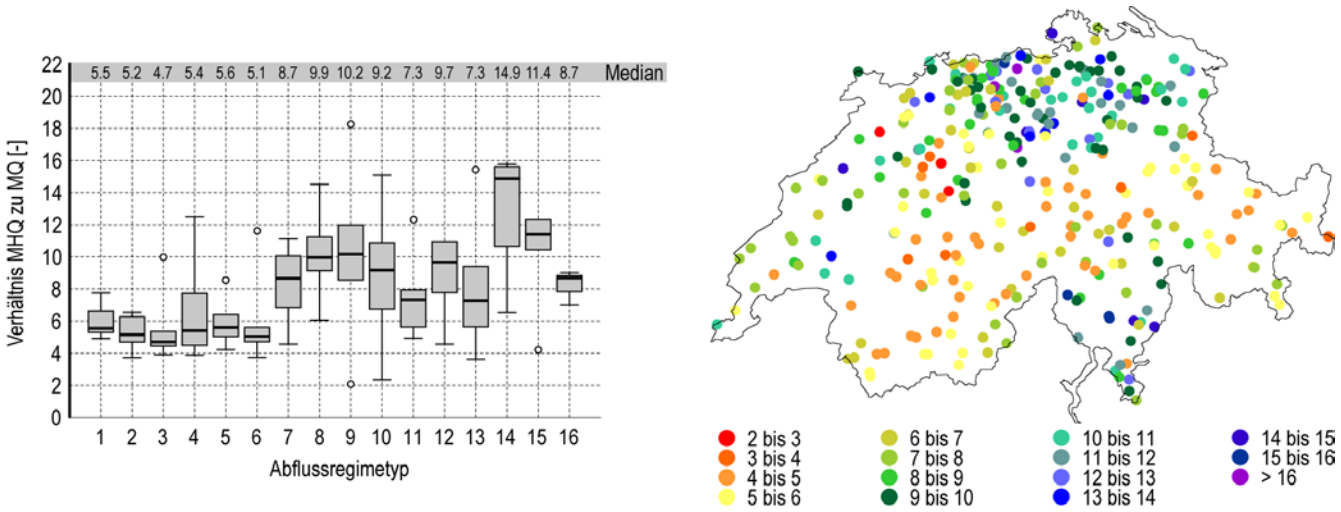



**Abb. 43 > Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Momentanabflüssen)**

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

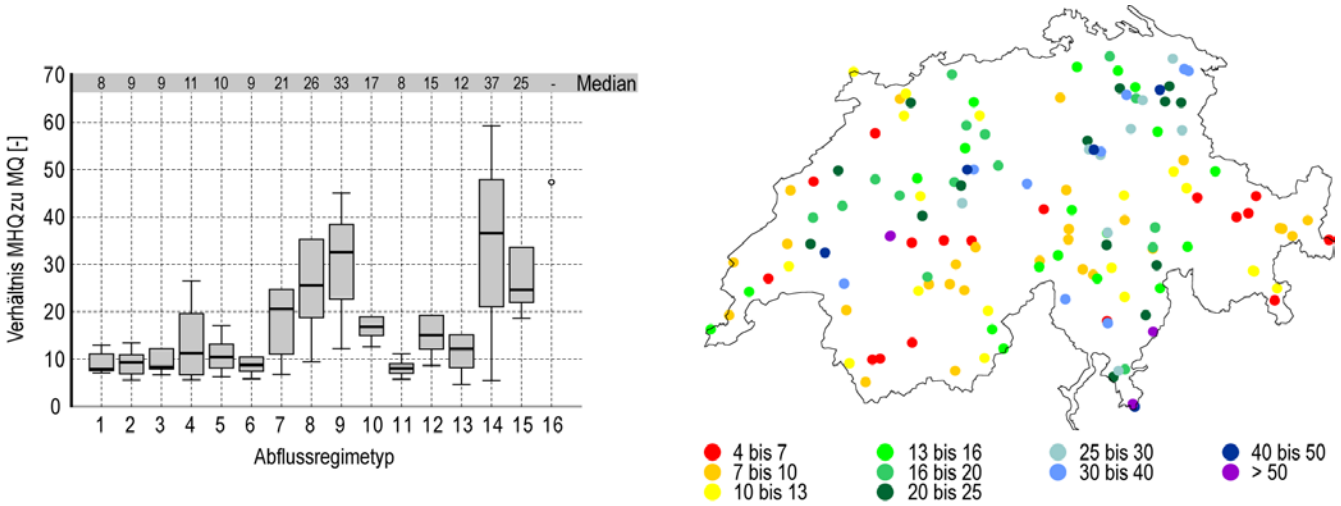


**Abb. 44 > Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ}$ [Ereignisse/Jahr] mit Schwellenwert 0.6· MHQ**

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

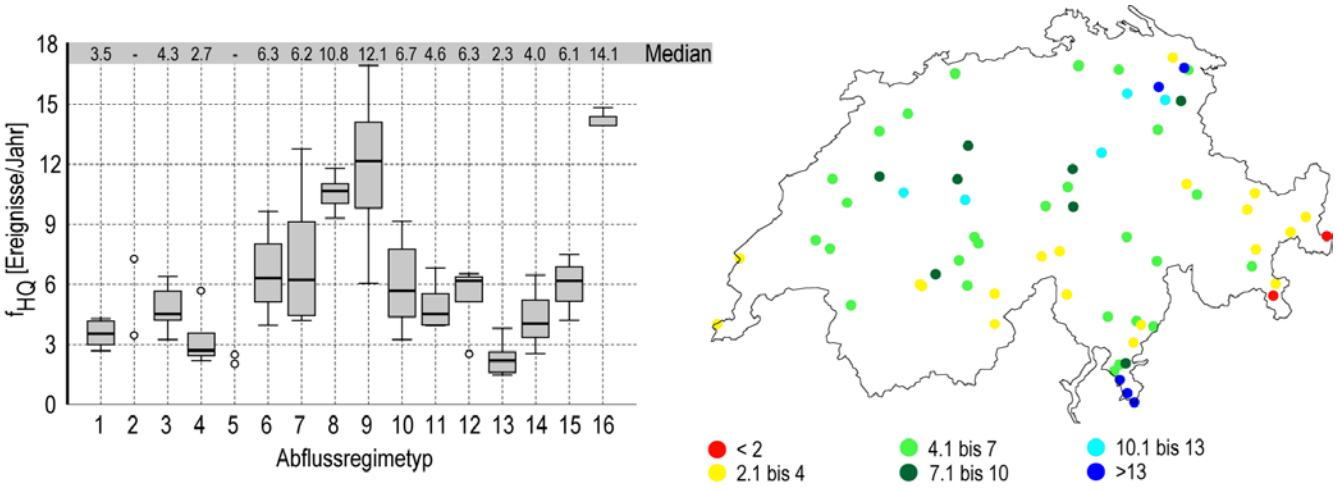



**Abb. 45 > Variationskoeffizient Hochwasserhäufigkeit CV-$f_{HQ}$ [%] mit Schwellenwert 0.6· MHQ**

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

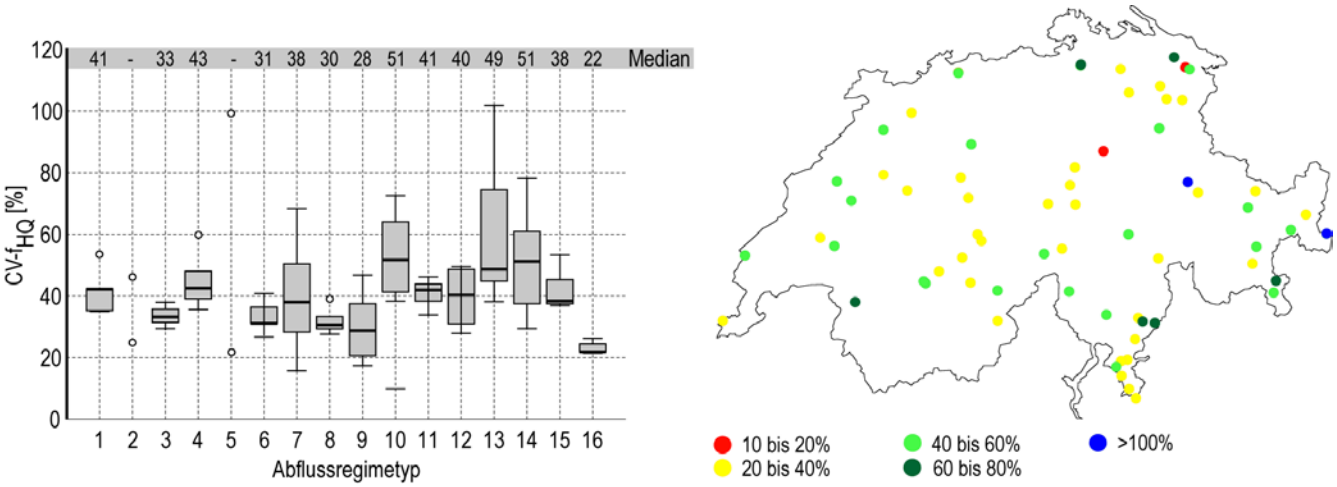


**Abb. 46 > Spezifischer Niedrigwasserabfluss $q_{347}$ [l/s· km²]**

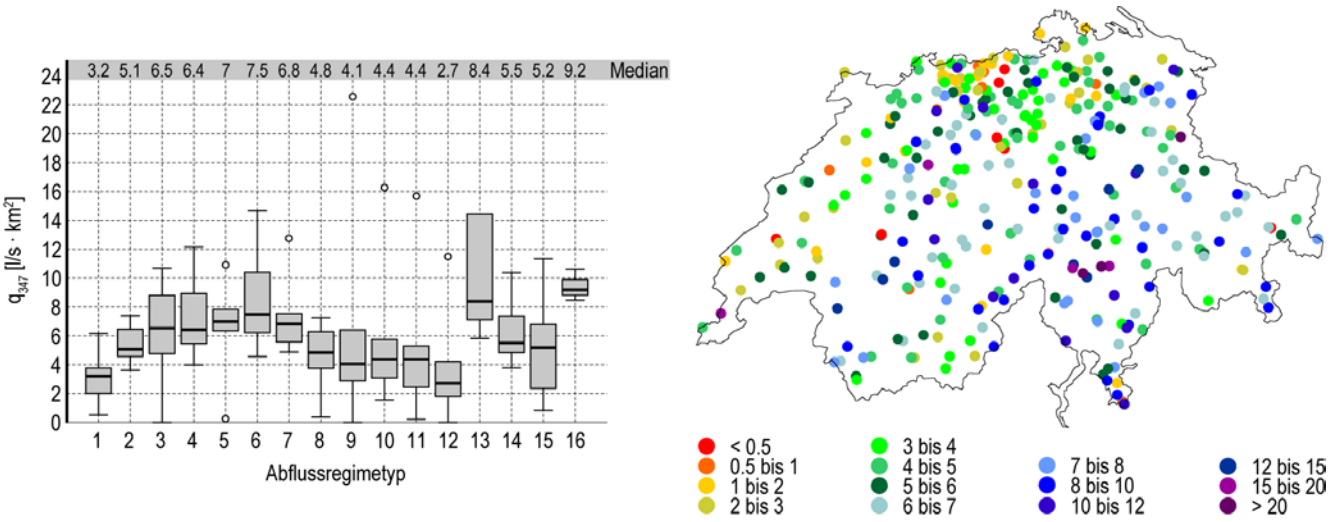



**Abb. 47 > Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss CV-$Q_{347}$ [%]**

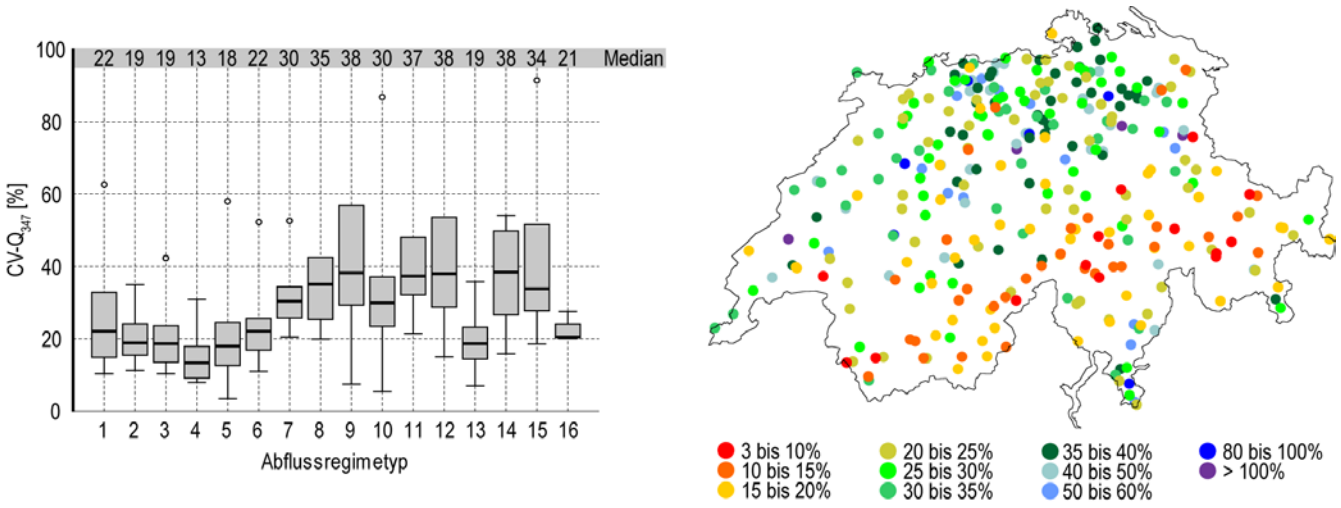


**Abb. 48 > Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss MNq [l/s· km²]**

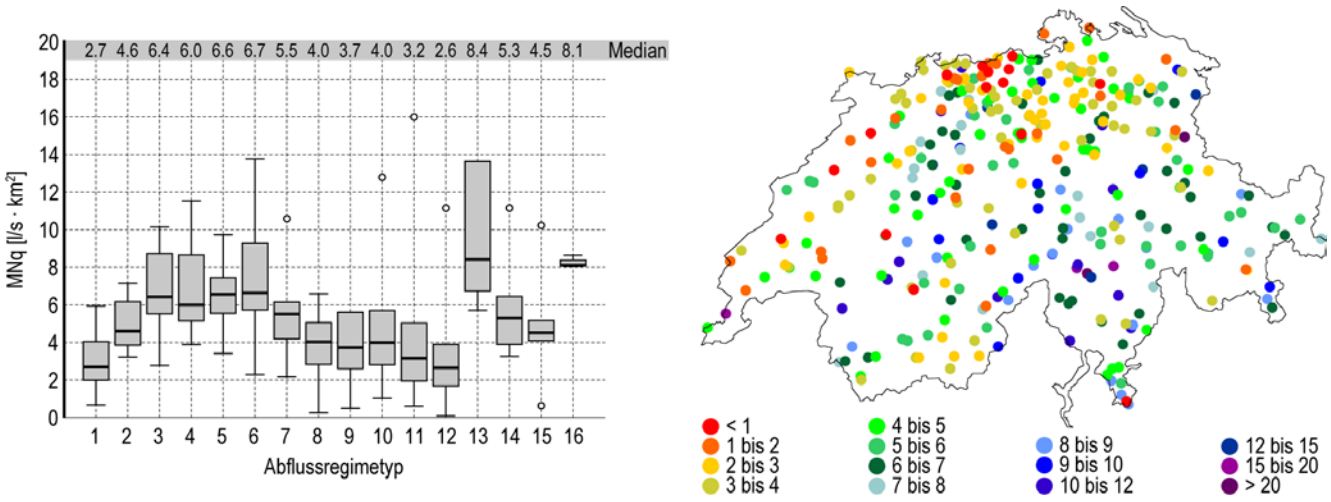



**Abb. 49 > Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss CV-MNQ [%]**

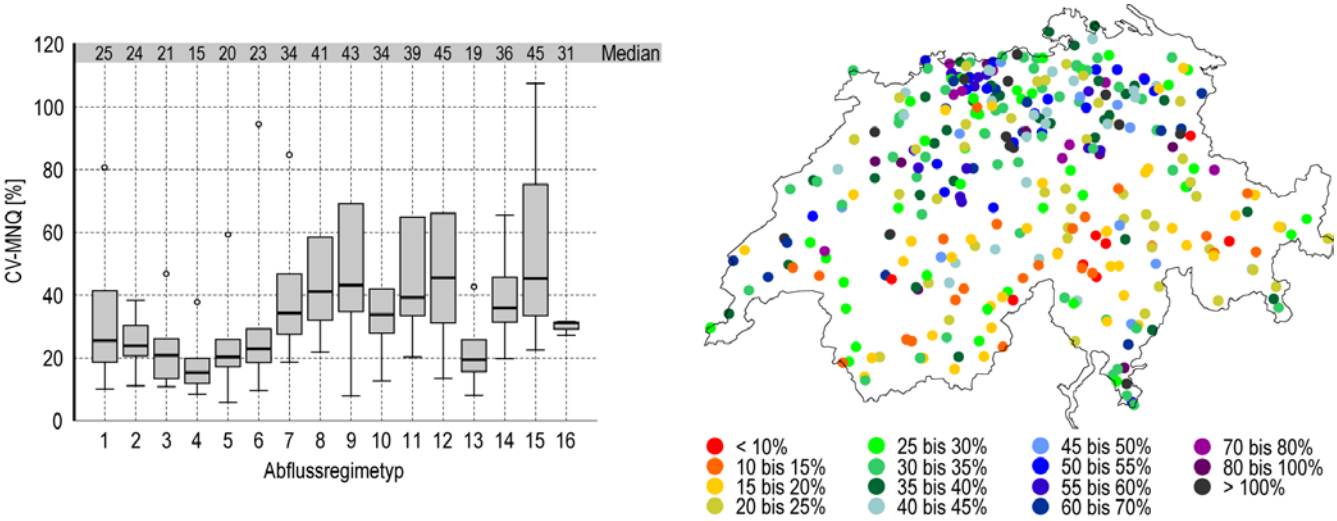


**Abb. 50 > Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode $d_{Q347}$ [Tage]**

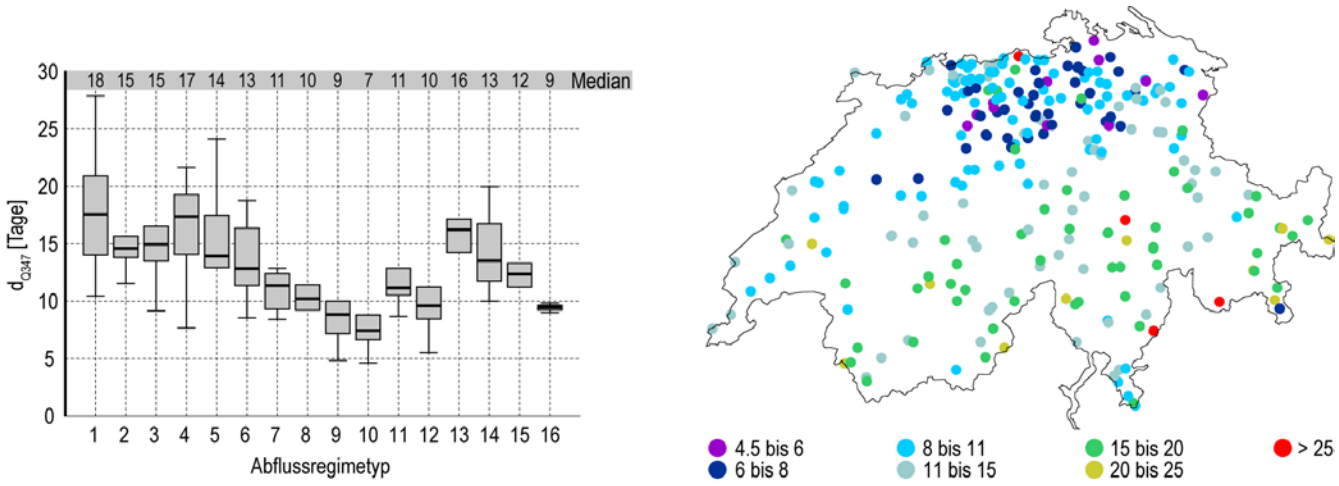
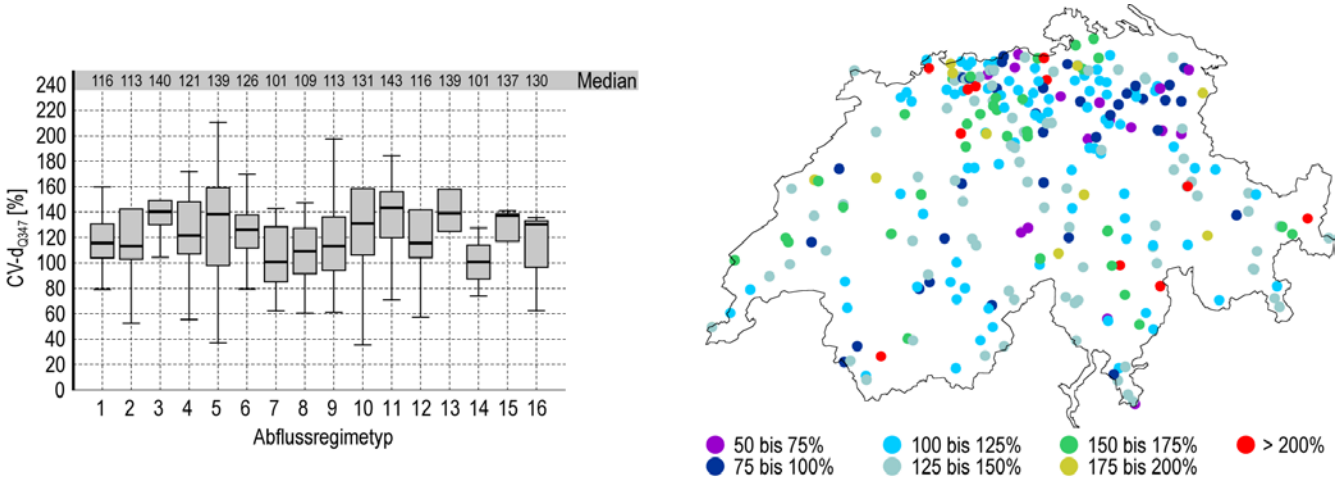



**Abb. 51 > Variationskoeffizient mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode CV-$d_{Q347}$ [%]**



# > Anhang Inter- und Extrapolation

## A4 Berechnungsanleitungen für Inter- und Extrapolation

### Anwendungsbereich von Inter- und Extrapolation

Inter-/Extrapolation über Einzugsgebietsfläche

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.

Voraussetzungen für Inter-/Extrapolation

Die Repräsentativität ist gegeben wenn:

- 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:

Interpolation einer ober- und einer unterliegenden Messstelle

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

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

Interpolation bei zwei ober- und einer unterliegenden Messstelle

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

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) |
| $\Phi$ | Parameter für den Einfluss der Flächengrösse: $\Phi$ = 1 für MQ und $Q_{347}$, $\Phi$ = 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) |
| $\Phi$ | Koeffizient für den Einfluss der Flächengrösse: $\Phi$ = 1 für MQ und $Q_{347}$, $\Phi$ = 0.7 für MHQ) |

Ein Spezialfall der Extrapolation ist die Anwendung von spezifischen Abflusswerten (Abfluss pro Flächeneinheit), z. B. $q_{347}$, 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-$Q_{347}$. 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

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

| | |
|---|---|
| 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

**$HQ_1$**
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

**$MQ_{Speicherzuflüsse}$**
Summe der mittleren Abflüsse aller Speicherzuflüsse

**$MQ_{Vorfluter}$**
Mittlerer jährlicher Abfluss des Vorfluters

**NNQ**
Kleinster je gemessener Abfluss

**$P_{Grund}$**
Durchschnittlicher Pegel vor Beginn der Spülung

**$Pk_i$**
Pardékoeffizient des Monats i

**$PR_{max}$**
Tagesmaximum der Pegeländerungsrate $P_t$

**$PR_{min}$**
Tagesminimum der Pegeländerungsrate $P_t$

**$PR_{Schwall}$**
Pegelanstiegsrate Schwall/Sunk

**$PR_{Spül}$**
Pegelanstiegsrate Spülung und Entleerung

**$PR_{Sunk}$**
Pegelrückgangsrate Schwall/Sunk

**$PR_t$**
Pegeländerungsrate zum Zeitpunkt t

**$P_{Spül,max}$**
Pegelspitze während den Spülungen

**$P_t$**
Pegel zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)

**Q**
Momentanabfluss

**Q***
Hochwasserschwellenwert

**$Q_{347}$**
Niedrigwasserabfluss

**$q_{347}$**
Spezifischer Niedrigwasserabfluss

**$Q_A$**
Maximal bewilligte Entnahmemenge eines Eingriffs

**$Q_d$**
Abfluss-Tagesmittelwert (Tagesabfluss)

**$Q_{d,i}$**
Abfluss-Tagesmittelwerte (Tagesabflüsse) des Monats i

**$Q_{d,max}$**
Jahreshochwasserabfluss (aus Tagesabflüssen)

**$Q_E$**
Spitzenabfluss von Regenwassereinleitungen

**$Q_{Grund}$**
Grundabfluss vor Beginn einer Spülung

**$Q_{max}$**
Abfluss-Tagesmaximum (aus Momentanabflüssen)

**$Q_{min}$**
Abfluss-Tagesminimum (aus Momentanabflüssen)

**$Q_{Rest}$**
Restwassermenge oberhalb der Wasserrückgabe

**$Q_S$**
Maximaler Abfluss oder bewilligte Einspeisemenge eines Eingriffs

**$Q_{Schwall}$**
Schwallabfluss

**$Q_{Spül}$**
Durch eine Spülung typischerweise verursachter Mehrabfluss

**$Q_{Spül,max}$**
Abflussspitze während den Spülungen

**$Q_{Sunk}$**
Sunkabfluss

**$Q_T$**
Maximal bewilligte Kühlwasserabflussmenge

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

**$Q_Ü$**
Maximal bewilligte Abflussmenge einer Überleitung

**r**
Referenzzustand

**$r_{D,T}$**
Regenintensität für die Konzentrationszeit D und die Jährlichkeit T

$r_{HQ}$
Zeitliche Variabilität des Auftretensdatums des Jahreshochwasserabflusses

$R_{j,Regimetyp}$
R-Werte von Einzeljahren j zu langjährigem Mittelwert des Regimetyps

$R_{r,b}$
R-Wert Referenz- zu beeinflusstem Zustand

**T**
Jährlichkeit

**t**
Zeitpunkt

$Vol_{See}$
Seevolumen

$Vol_{Speicher}$
Speichervolumen bei Stauziel

$Vol_{Regulierung}$
Regulierbares Seevolumen bis $HQ_1$

$Vol_{Retention}$
Retentionsvolumen

$V_{S/S}$
Schwall/Sunk-Verhältnis

$Z_{GA}$
Zustandsklasse am Gewässerabschnitt

$Z_i$
Zustandsklasse eines Eingriffs oder Zwischeneinzugsgebietes

$\Phi$
Koeffizient für den Einfluss der Flächengrösse bei Extrapolation hydrologischer Kenngrössen

$\Psi$
Spitzenabflusskoeffizient

$\bar{\theta}_{HQ}$
Mittleres Auftretensdatum des Jahreshochwasserabflusses

## Abbildungen

**Abb. 1**
Abflussregime und ökologische Funktionsfähigkeit der Gewässer 10

**Abb. 2**
Ablauf der Bewertungsmethodik und Hilfsmittel 13

**Abb. 3**
Klassierungsschema: Bezeichnung und Farbcodierung der Klassen 17

**Abb. 4**
Einordnung Referenzzustand 18

**Abb. 5**
Natürliche Variabilität und relative Lage des beeinflussten Zustands 19

**Abb. 6**
Die Abflussregimetypen der Schweiz 29

**Abb. 7**
Ablaufdiagramm zur Bestimmung des Abflussregimetyps 30

**Abb. 8**
Regionen I, II und III für die Bestimmung des Abflussregimetyps 31

**Abb. 9**
Erwartungs- und Schwankungsbereich $Pk_i$-Werte 32

**Abb. 10**
Ermittlung Abflussregimetyp aus gemessenen $Pk_i$-Werten 32

**Abb. 11**
Abgrenzung von Nieder-, Mittel- und Hochwasserbereich 32

**Abb. 12**
Beispiel des Saisonalitätskreises 38

**Abb. 13**
Hochwasser-Saisonalität pro Abflussregimetyp 39

**Abb. 14**
Niedrigwasser-Saisonalität pro Abflussregimetyp 42

**Abb. 15**
Kartografische Darstellung des Eingriffinventars 54

**Abb. 16**
Natürliche Referenz und beeinflusster Zustand 57

**Abb. 17**
Klassierungsregel Mittelwasser-Abflussverlauf 59

**Abb. 18**
Auswirkungen einer veränderten Hochwasserhäufigkeit 60

**Abb. 19**
Klassierungssregel Hochwasserhäufigkeit 61

**Abb. 20**
Beispiel für die dimensionslose Masszahl $Dist_{r,b}$ 63

**Abb. 21**
Klassierungsregel Hochwasser-Saisonalität 63

**Abb. 22**
Klassierungsregel Niedrigwasserabfluss 65

**Abb. 23**
Klassierungsregel Dauer Niedrigwasserperioden 68

**Abb. 24**
Beispiel einer schwallgeprägten Abflussganglinie 68

**Abb. 25**
Klassierungsregel Schwall/Sunk-Phänomen 71

**Abb. 26**
Typische Abflussganglinie eines Spülereignisses 73

**Abb. 27**
Klassierungsregel Spülung und Entleerung 75

**Abb. 28**
Klassierungssregel Regenwassereinleitungen 77

**Abb. 29**
Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Eingriff 77

**Abb. 30**
Beispiel Vorgehen Abschnittsbewertung 81

**Abb. 31**
Beispiel zur kartografischen Darstellung der Bewertungsergebnisse 83

**Abb. 32**
Tabellarische Darstellung der Bewertungsergebnisse pro Gewässerabschnitt 84

**Abb. 33**
Klassierungsregel Gesamtbewertung 88

**Abb. 34**
Übersicht Referenzstationen 90

**Abb. 35**
Abflussregimetyp-spezifische Auswertung von $Pk_i$ 94

**Abb. 36**
Abflussregimetyp-spezifische Auswertung der R-Werte $R_{j,Regimetyp}$ 97

**Abb. 37**
Lesehilfe Box-Plots 98

**Abb. 38**
Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss Mq [l/s· km²] 99

**Abb. 39**
Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Abfluss CV-MQ [%] 99

**Abb. 40**
Spezifischer mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) MHq [l/s· km²] 100

**Abb. 41**
Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Hochwasserabfluss (Tagesabflüsse) CV-MHQ [%] 100

**Abb. 42**
Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Tagesabflüssen) 101

**Abb. 43**
Faktoren $k_{MHQ:MQ}$ [-] (MHQ aus Momentanabflüssen) 101

**Abb. 44**
Hochwasserhäufigkeit $f_{HQ}$ [Ereignisse/Jahr] mit Schwellenwert 0.6· MHQ 102

**Abb. 45**
Variationskoeffizient Hochwasserhäufigkeit CV-$f_{HQ}$ [%] mit Schwellenwert 0.6· MHQ 102

**Abb. 46**
Spezifischer Niedrigwasserabfluss $q_{347}$ [l/s· km²] 103

**Abb. 47**
Variationskoeffizient Niedrigwasserabfluss CV-$Q_{347}$ [%] 103

**Abb. 48**
Spezifischer mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss MNq [l/s· km²] 104

**Abb. 49**
Variationskoeffizient mittlerer jährlicher Niedrigwasserabfluss CV-MNQ [%] 104

**Abb. 50**
Mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode $d_{Q347}$ [Tage] 105

**Abb. 51**
Variationskoeffizient mittlere Dauer der Niedrigwasserperiode CV-$d_{Q347}$ [%] 105

## Tabellen

**Tab. 1**
Bewertungsindikatoren und benötigte hydrologische Kenngrössen 21

**Tab. 2**
Spezifischer mittlerer jährlicher Abfluss Mq [l/s·km²] 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 MHq [l/s·km²] pro Abflussregimetyp (Tagesabflüsse) 37

**Tab. 6**
Spezifischer Niedrigwasserabfluss $q_{347}$ [l/s·km²] 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., Pfaundler M. 2005: Streamflow trends in Switzerland. Journal of Hydrology, 314 2005: p. 312–329.

Birsan M.V., Molnar P., Pfaundler 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 Fliesssgewässer. 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., Devanthéry 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.

Pfaundler 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.

Pfaundler M., Weingartner R., Diezig R. 2006: «Versteckt hinter den Mittelwerten» – die Variabilität des Abflussregimes. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 3. S. 116–123.

Pfaundler 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.

Pfaundler 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., Prestegaard 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 BJF. 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.