

## Abflussmessungen und Hochwasserwahrscheinlichkeiten

Für das Monitoring der Fliessgewässer werden Messstationen errichtet, die in den meisten Fällen kontinuierlich den Wasserstand messen. Bei Fliessgewässern ist jedoch meist der Abfluss von Interesse, welcher nicht kontinuierlich gemessen werden kann. Daher werden mit periodisch ausgeführten Abflussmessungen Pegelstand-Abfluss-Beziehungen erstellt. Durch diese lässt sich vom Wasserstand indirekt auf den Abfluss schliessen.

### Der Abfluss und die Bestimmung der Abflussmenge

Eine Abflussmenge ist das Wasservolumen, das pro Zeiteinheit einen Kontrollquerschnitt durchfliesst. Das Wasser kann beim Abwärtsfliessen durch Reibung an der Flusssohle und am Ufer gebremst werden. In einem Flussquerschnitt fliesst das Wasser umso schneller, je glatter die Sohle ist und je grösser sie geneigt ist. Die Fliessgeschwindigkeit ist an der Wasseroberfläche am grössten und nimmt gegen die Sohle und das Ufer hin ab. Mit steigendem Wasserspiegel nehmen auch die Fliessgeschwindigkeiten zu.

Die Abflussmenge in einem Fliessgewässer lässt sich näherungsweise bestimmen, indem auf einer geraden Strecke in einem möglichst regelmässigen Querschnitt die Wasserspiegelbreite und die Wassertiefe gemessen werden (= Messquerschnitt). Diese Angaben werden mit den Fliessgeschwindigkeiten, also der Angabe in wie viel Sekunden ein Meter zurückgelegt wird, multipliziert. Dabei wird angenommen, dass bei einem konstant bleibenden Abfluss die Geschwindigkeit in Engstellen zu und in Aufweitungen abnimmt. Der Abfluss wird mit der Kontinuitätsgleichung berechnet:

$$Q = B * T * v$$

Legende:

|           |                                   |                                     |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Q:</i> | <i>Abfluss</i>                    | <i>[m<sup>3</sup>/s] oder [l/s]</i> |
| <i>B:</i> | <i>Breite des Fliessgewässers</i> | <i>[m]</i>                          |
| <i>T:</i> | <i>Tiefe des Fliessgewässers</i>  | <i>[m]</i>                          |
| <i>v:</i> | <i>Fliessgeschwindigkeit</i>      | <i>[m/s]</i>                        |

Für die Abflussmessung existieren unterschiedliche Geräte und Methoden. Die zwei am häufigsten vom BAFU verwendeten Messmethoden werden kurz vorgestellt.

#### Flügelmessung

Analog zum Windrad misst ein Propeller im Wasser die Fliessgeschwindigkeit (s. Abbildung 1). Damit die Erfassung der im Messquerschnitt z.T. stark variierenden Fliessgeschwindigkeiten möglichst genau ist, sind in einer Vielzahl von Messpunkten (verteilt über die gesamte Breite und über die Tiefe) die Geschwindigkeiten zu erfassen. Auch muss der Messquerschnitt genau gemessen werden. Eine qualitativ gute Flügelmessung erlaubt die Abflussbestimmung mit einer Genauigkeit von  $\pm 2\%$ ; dies bei einem Messaufwand von 1.5 bis 2 Stunden.

#### Tracermessung

Ein Markierstoff (Fluoreszenzfarbstoff oder Kochsalz) wird in genau bekannter Menge dem Gewässer beigegeben (s. Abbildung 2). Weiter flussabwärts, nach vollständiger Durchmischung des Tracers mit dem Bachwasser, wird die Endkonzentration bestimmt. Aus der erfolgten Verdünnung lässt sich die Abflussmenge berechnen. Diese Methode ist vor allem für schnellfliessende, kleinere Gewässer mit unregelmässiger Gerinneform und mit stark turbulenter Strömung (z.B. Wildbäche) geeignet. Eine qualitativ gute Tracer- oder Verdünnungsmessung erlaubt die Abflussbestimmung in einem Wildbach mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  bei einem Messaufwand von zirka 1 Stunde.

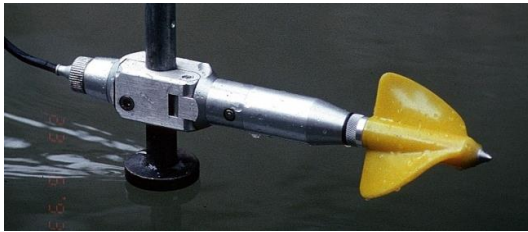


Abbildung 1: Hydrometrischer Flügel.



Abbildung 2: Farbstoffspur einer Fluoreszenz-Tracermessung.

## Die kontinuierliche Bestimmung der Abflussmenge

Die Bestimmung der Abflüsse erfolgt in der Regel indirekt, indem die Pegel gemessen und mit Hilfe von Abflusskurven in die entsprechenden Abflüsse umgerechnet werden. Hierfür werden eine ideal platzierte Messstation und eine Pegel-Abflusskurve benötigt.

### Messstation

Ideal sind Standorte, wo der Flussquerschnitt regelmässig ist, die Sohlen langfristig stabil sind und der Messquerschnitt bei Hochwasser nicht gestaut wird. Gut geeignet sind Standorte oberhalb von festen Schwellen mit gerader Anströmung. Für die kontinuierliche Erfassung der Wasserstände werden Sonden (Radar-, Pneumatik- oder Druck-Sonden) oder Schwimmer eingesetzt. Die Pegelstands-Messwerte werden mittels Datenlogger registriert, gespeichert und via Fernübertragung ans BAFU transferiert. Jede Stunde werden die Messwerte aller Stationen abgefragt, bei vielen Messstationen alle 10 Minuten.

### Pegel-Abflussbeziehung

Werden bei verschiedenen Wasserständen manuell Abflussmessungen ausgeführt, kann aus den Pegelstands- und Abflussdaten eine Pegelstand-Abflussbeziehung (PQ-Beziehung) konstruiert werden. Diese ermöglicht für jeden Wasserstand die Bestimmung der zugehörigen Abflussmenge. Die PQ-Beziehung kann in Form einer Kurve oder einer Werte-Liste angegeben werden (s. Abbildung 3).

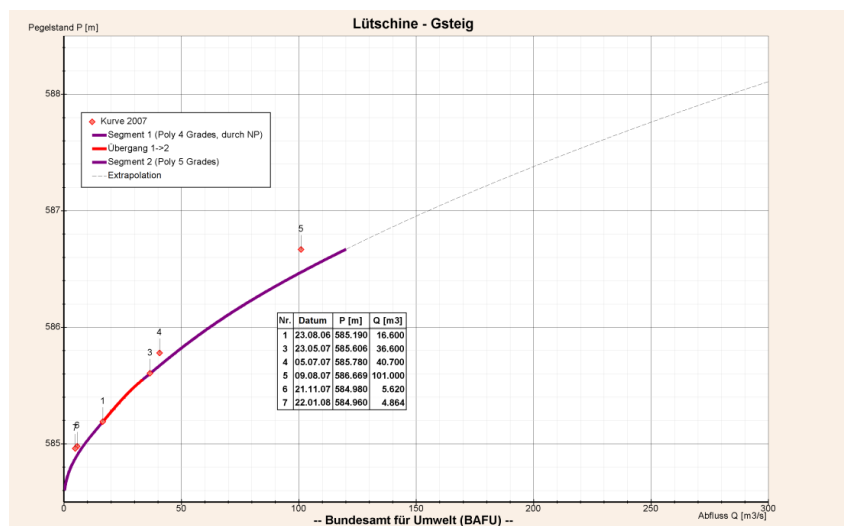


Abbildung 3: Pegelstand-Abflussbeziehung der Lutschine bei Gsteig.

Bei Hochwasserereignissen lassen sich nicht immer Abflussmessungen durchführen. Entweder man ist nicht rechtzeitig vor Ort oder die Kraft des Wassers lässt eine Messung nicht zu. Die PQ-Beziehung muss deshalb oft über den gemessenen Bereich bis zum maximal möglichen Wasserstand erweitert (extrapoliert) werden. Damit die Extremwerte möglichst realistisch sind, werden sofern möglich Zusatzinformationen erhoben, welche bei Rekonstruktion der Hochwasserganglinien helfen. Als Zusatzinformationen können die Beobachtung extremer Wasserstände, Bachbettveränderungen, eine berührungslose Messung der Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche, Film- und Fotodokumentationen dienen.

## **Provisorische und definitive Daten**

Das BAFU und einige Kantone betreiben umfangreiche Messnetze mit vielen hydrometrischen Messstationen. Diese Daten werden im Internet zur Verfügung gestellt und laufend aktualisiert. Es handelt sich dabei um provisorische Daten, die automatisch gemessen, berechnet und ins Internet gestellt werden. Sie sind weder kontrolliert noch plausibilisiert (gerade im Hochwasserfall hat die schnelle Datenvermittlung Vorrang). Der Benutzer ist deshalb gehalten, eine gewisse Vorsicht zu üben.

Während Hochwasserereignissen gibt es viele Ursachen, die zu falschen Abflusswerten führen können: Geräteausfall durch Stromausfall, Gerätestörung durch Schwemmgut oder Geschiebe, Auflandung oder Erosion im Bachbett, Verstopfen eines Durchlasses, Ausuferungen und Überflutungen. Trotzdem sind bei der Mehrzahl der Messstationen die meisten Messwerte korrekt, denn die Messstationen wurden auf die Erfassung qualitativ guter Daten während Hochwasserereignissen ausgelegt. Bei einem Hochwasser muss immer mit Messunsicherheiten gerechnet werden. Bei Extremsituationen sind Fehler von 20 - 30 % bei der Bestimmung der Abflussmengen in Betracht zu ziehen.

## **Hochwasserstatistik**

Liegen in einem Einzugsgebiet genügend lange Abflussmessreihen vor, können diese mit Hilfe der Extremwertstatistik ausgewertet werden. Beispielsweise kann aus den jährlichen Hochwasserspitzen anhand von empirischen und theoretischen Verteilungsfunktionen die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit eines Hochwasserabflusses bestimmt werden.

Beträgt der 30-jährliche Abfluss ( $HQ_{30}$ ) an einem Messstandort beispielsweise  $230 \text{ m}^3/\text{s}$ , dann tritt dieser Abfluss mit einer Wahrscheinlichkeit von 3.33% in einem Jahr auf. Es ist zu beachten: Ein  $HQ_{30}$  bedeutet nicht, dass ein Abfluss zwingend alle 30 Jahre einmal auftritt. Ein  $HQ_{30}$  kann z.B. innerhalb von 5 Jahren 3 Mal beobachtet werden und anschliessend 100 Jahre nicht mehr auftreten.

Auf der BAFU-Homepage werden für alle Abfluss-Messstationen folgende Kenngrössen ausgewiesen:  $HQ_2$ ,  $HQ_{10}$ ,  $HQ_{30}$ ,  $HQ_{100}$  und  $HQ_{300}$ . Je nach Extrapolationsmethode und Wahl der Verteilfunktion ergeben die Extrapolationen stark unterschiedliche Werte. Die Extrapolation über den gemessenen Zeitraum hinaus ist mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Grundsätzlich sind die Extremwertstatistiken umso zuverlässiger, je länger die Messperiode ist. Deshalb sind langjährige Messstationen für die Hochwasserstatistik wertvoll. Die Hochwasserstatistik kann jedoch Hochwasserschutzmassnahmen, Meliorationen oder Ableitungen, die in der Messperiode vorgenommen worden sind, sowie Einflüsse des Klimawandels nicht berücksichtigen. Treten extreme Abflussereignisse wie z.B. in 2005 in vielen Gebieten der Schweiz auf, wird die Hochwasserstatistik massiv verändert.