

## **Tafel 7.4 Schwebstoffkonzentrationen und -frachten in Fließgewässern**

### **Feststofftransport in Fließgewässern**

Die in Fließgewässern transportierten Feststoffe werden in drei verschiedene Arten eingeteilt: Geschiebe, Schwebstoff und Schwimmstoff. Als Geschiebe wird derjenige Feststoffanteil bezeichnet, welcher entlang der Gerinnesohle transportiert wird. Dabei handelt es sich meist um Flussbettmaterial. Das von der Strömung und der Turbulenz in Schwebelage gehaltene feinkörnige Material bildet den Schwebstoff. Schwimmstoffe haben im Vergleich zum Wasser definitionsgemäss eine gleiche oder kleinere Dichte und bestehen hauptsächlich aus organischem Material (vorwiegend Holz) oder Eis.

Als Feststoffquellen können die Erosion im Einzugsgebiet (Verwitterung, Bodenerosion), die Erosion des Flussbettes und die Resuspension von sedimentiertem Material im Flussbett betrachtet werden. Neben den hydraulischen Faktoren Gefälle, Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit wird der Feststofftransport stark durch Gebietsparameter wie z.B. Niederschlag, Wind, Temperatur, Bodenart, Vegetation, Bodennutzung und Geländegefälle geprägt. Die Kombination dieser unterschiedlichen Komponenten – das Erosionspotential – ist entscheidend, ob mengenmässig die Schwebstoffe oder das Geschiebe in einem Gewässer eine stärkere Rolle spielen. In einem Mittellandfluss mit schwachem Gefälle ist meist der Schwebstofftransport dominant, wogegen in steilen Wildbächen oftmals die Geschiebeführung den Grossteil der Feststofffracht liefert.

Anthropogen bedingt können auf gewissen Gewässerabschnitten die Schwebstoffkonzentrationen durch Einleitungen (Abwasser, Kieswaschanlagen) oder durch bauliche Arbeiten im oder am Gewässer erhöht werden.

Der Einfluss von Seen auf die Schwebstoffführung ist beachtlich. Einerseits sedimentiert in den Seen ein grosser Teil des eingetragenen Materials, andererseits entstehen durch die Planktonproduktion organische Schwebstoffe. Lebendes Plankton und toter organischer Detritus können neben den anorganischen Boden- und Gesteinspartikeln unterhalb der Seen einen beträchtlichen Teil der Schwebstoffe ausmachen.

Die Schwebstoffbeobachtung ist sowohl für den Gewässerschutz wie auch für die Gewässernutzung von Interesse. Von Bedeutung sind insbesondere folgende Themenkreise: Abtrag im Einzugsgebiet, Verlandung von Stauräumen und Seen, Stauraumpülungen, Kolmatierung von Gewässerabschnitten, Beeinflussung der Fischlaichentwicklung, Adsorption kolloidaler oder gelöster Wasserinhaltsstoffe, Verschleisserscheinungen an technischen Anlagen und Dimensionierung von Sandfängen bei Wasserfassungen.

### **Schwebstoffkonzentrationen**

Die Landeshydrologie und -geologie (LHG) erhebt seit 1962 an ausgewählten hydrometrischen Stationen die Schwebstoffkonzentrationen. Daneben werden von kantonalen Fachstellen und Hochschulinstitutionen regelmässig oder im Rahmen von Kampagnen Gewässeruntersuchungen durchgeführt, bei welchen zum Teil die Schwebstoffkonzentration gemessen wird. Die Karte basiert somit auf einer Auswahl Stationen verschiedenartiger Messnetze, bei denen aus den Jahren 1979 bis 1993 regelmässige Messdaten vorhanden sind. Die Datenquellen sind in der Tabelle zur Tafel 7.1 oder auf der vorliegenden Tafel in Tabelle 1 ersichtlich.

Die LHG erhebt zweimal pro Woche eine Stichprobe, wogegen die kantonalen Fachstellen dies meist nur einmal pro Monat tun. In den 15 berücksichtigten Jahren fallen somit pro LHG-Station rund 1500, pro kantonale Messstelle rund 180 Messwerte an. Deshalb wird bei der Darstellung zwischen diesen Messnetzen unterschieden. Im Jahre 1993 untersuchte die LHG zudem den Schwebstofftransport an 15 zusätzlichen Stationen. Zur Veranschaulichung der Unterschiede der

Ergebnisse (Summenhäufigkeiten) aus dem Einzeljahr 1993 im Vergleich zu den Werten der Periode 1979–1993 werden diese rund 100 Werte pro Station ebenfalls auf der Karte dargestellt. Wegen der grossen Wertestreuung musste zu diesem Zweck eine logarithmische Skala gewählt werden.

Die Erhebung der Schwebstoffkonzentrationen in Fließgewässern erfolgt in den meisten Fällen mittels einer Probenahme, sei dies manuell mit einem Schöpfergerät oder automatisch mit einem entsprechenden Probesammler, mit anschliessender Analyse im Labor. Keine quantitativen Aussagen können bisher mit indirekten Methoden wie Trübungsmessung oder Ultraschallanalyse gemacht werden. Eine im Zusammenhang mit Stauraumpülungen oft verwendete Methode ist der Feldeinsatz des Imhoff-Trichters, welcher mit dem Absetzprinzip relativ rasch Aussagen über die Schwebstoffbelastung in ml/l zulässt. Die Ergebnisse können aber bestenfalls nach einer Eichung mit dem im untersuchten Gewässer vorhandenen Feststoffmaterial als Annäherung in mg/l umgerechnet werden.

Die LHG verwendet zur Probenahme für Schwebstoffanalysen speziell entwickelte Entnahmegeräte [1]. Dabei wird bei einer Düsenöffnung von 4 mm Durchmesser 1 l Wasser in eine Kunststoffflasche gefüllt. Die Flasche wird per Post ins Labor der LHG gesandt, wo das Wasser mit einer den EDI-Richtlinien [2] entsprechenden Methode (Membranfilter 0.65 µm) analysiert wird.

Die Schwebstoffverteilung im Gewässerquerschnitt ist in natürlichen Flüssen inhomogen: Sie weist hauptsächlich in der Vertikalen einen Gradienten auf, aber auch im Querprofil können Unterschiede bestehen. Meist nimmt die Konzentration aus physikalischen Gründen gegen die Gerinnesohle hin zu. Dieser Gradient kann sich je nach Abflussmenge verändern. Mit Hilfe von Querprofilmessungen, z.B. mit dem Messwagen der LHG [1], kann allenfalls eine Beziehung zwischen einer oberflächennahen Konzentration und der Durchschnittskonzentration im ganzen Querschnitt hergestellt werden.

## Schwebstofffrachten

Sind die Wasserinhaltsstoffe im Gewässer homogen verteilt, lässt sich die Stoffführung [g/s] durch einfache Multiplikation der Konzentration mit dem Abfluss berechnen. Wegen der oben beschriebenen inhomogenen Schwebstoffverteilung sollte entweder an einer für den ganzen Querschnitt repräsentativen Stelle gemessen werden oder eine Beziehung vom Messpunkt-ergebnis zur Durchschnittskonzentration vorhanden sein.

Um die Stofffracht [t] über eine bestimmte Zeit (Tag, Monat oder Jahr) zu berechnen, muss die Stoffführung über die entsprechende Zeitspanne integriert werden. Bei Stichprobenmessungen ist diese Integration nur indirekt möglich, zum Beispiel über eine Beziehung zwischen der Stoffkonzentration ( $c$ ) und der Abflussmenge ( $Q$ ). Da die Abflussmenge bei den LHG-Stationen kontinuierlich aufgezeichnet wird, ist die Anwendung einer  $c/Q$ -Beziehung für die Frachtberechnung naheliegend. Bei der LHG werden die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen den Abfluss-Tagesmittelwerten in doppelt-logarithmischer Skalierung gegenübergestellt und je eine Korrelation für den ruhig fließenden Niedrigwasserbereich und für den zunehmend turbulenten Mittel- und Hochwasserbereich errechnet. Nach der Rücktransformation ergeben sich somit zwei exponentielle  $c/Q$ -Beziehungen für die unterschiedlichen Abflussmengen, mit deren Hilfe tägliche Frachten geschätzt und zu Monats- (Fig. 2) und Jahresfrachten (Fig. 1, Tab. 2) zusammengefasst werden.

Da diese  $c/Q$ -Beziehungen je nach Station eher tiefe Korrelationskoeffizienten aufweisen, ist die LHG bemüht, die Frachtberechnung mit entsprechenden Untersuchungen zu verbessern. So kommen zum Beispiel automatische Probesammler zum Einsatz, welche täglich eine Stichprobe erfassen. Die Ergebnisse aus diesen Messungen bei der Station an der Lutschine bei Gsteig (Nr. 2005) aus dem Jahr 1995 sind in Figur 3 dargestellt. Man erkennt, dass die Schwebstoffkonzentration zu Beginn von Hochwasserereignissen rasch ansteigen kann, dann aber im Vergleich zum Abfluss schneller wieder auf tiefere Werte sinkt. Dieser zeitliche Verlauf bildet in einer  $c/Q$ -Beziehung eher die Form einer Hysteresisschleife als diejenige einer Geraden. Die in Figur 4 aufgezeichneten Tagesfrachten (tägliche Konzentration multipliziert mit dem Tagesmittel

des Abflusses) machen deutlich, dass die Wintermonate mit Niederwasser kaum zur Schwebstoff-Jahresfracht beitragen. Demgegenüber kann an einem einzelnen Tag bereits ein Grossteil der Jahresfracht transportiert werden, in diesem Fall am 3.7.1995 rund 19 % des Jahres 1995. In Figur 2 sieht man bei der Station Bellinzona (Nr. 6007) eine extreme Monatsfracht im Oktober. Diese ergibt sich aus der Monatsfracht des Oktobers 1979, in welchem bei einem Hochwasserereignis scheinbar so viel Schwebstoff mobilisiert wurde, dass im Ticino eine mehr als sechsfache Durchschnittsjahresfracht entstand (siehe auch Tab. 2).

Fig. 3  
**Abfluss und Konzentrationen 1995 (tägliche Messungen)**  
**Débit et concentrations, 1995 (mesures journalières)**  
**Lütschine, Gsteig (Nr./N° 2005)**

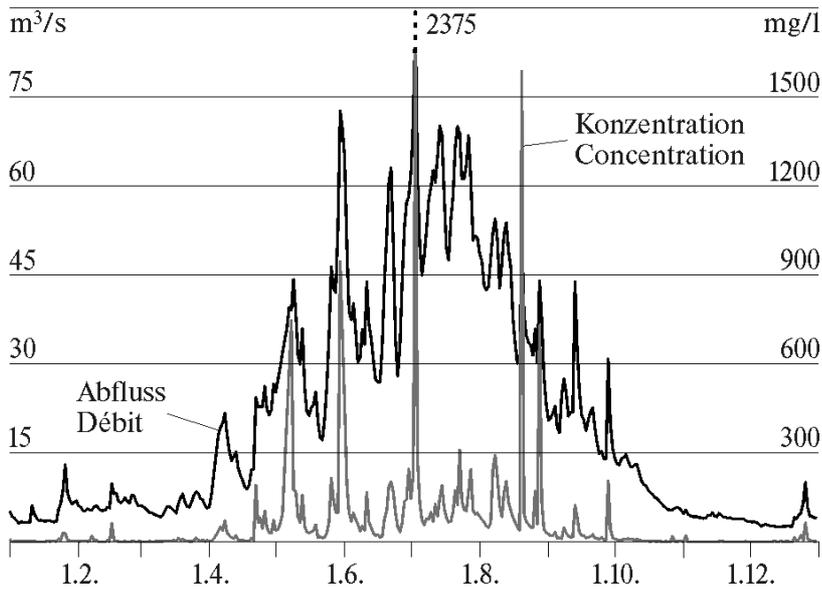
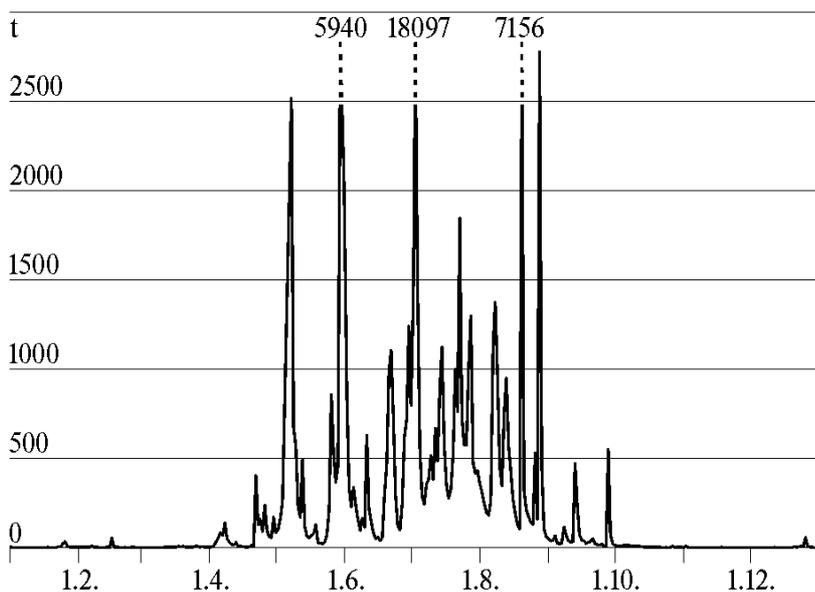


Fig. 4  
**Tagesfrachten 1995**  
**Charges journalières, 1995**  
**Lütschine, Gsteig (Nr./N° 2005)**



## Literatur

- [1] **GHO (1987):** Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten. Mitteilung der Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO), Nr. 2, Bern.
- [2] **Eidgenössisches Departement des Innern EDI (1983):** Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser und Oberflächenwasser – 2. Teil: Oberflächenwasser. Bern.