

Tafel 7.8 Geschiebefrachten in ausgewählten Einzugsgebieten

Einleitung

Ob natürlich oder vom Menschen geprägt, Fließgewässer verändern die Topografie ihres Betts, indem sie es eintiefen, Partikel transportieren (auch schwerere als Wasser) und indem sie Material deponieren. Es ist von grosser wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Bedeutung, dieses Phänomen, «Feststofftransport» genannt, zu verstehen. In einem Gewässer kann Material auf zwei Arten transportiert werden: als Schwebstoff (vgl. Tafel 7.4) oder als Geschiebe.

Das transportierte Material stammt aus dem Einzugsgebiet, das durch atmosphärische Einflüsse erodiert wird (Wind, Niederschläge, Temperatur), aus dem Bett des Gewässers selbst und aus Material, das schon einmal sedimentiert war und remobilisiert wurde. Die Menge an Feststoffen, die für den Transport in Frage kommt, hängt von den Eigenheiten des Einzugsgebiets wie etwa der Lithologie, der Hangneigung, dem Klima, der Vegetation, der Landnutzung oder der Exposition ab sowie vom Angebot an Feststoffen. Die Transportkraft des Gewässers hängt ab von hydraulischen Faktoren wie der Wassertiefe, der Fliessgeschwindigkeit und der Gerinneneigung, aber auch von der Rauigkeit des Betts und der Menge des bereits mobilisierten Materials. Feststofftransport erfolgt hauptsächlich während Hochwasserereignissen.

In Wildbächen, vor allem wenn sie kleine Einzugsgebiete mit grossem Gefälle entwässern, kann der Feststofftransport in sehr unterschiedlicher Weise ablaufen, besonders bei Starkniederschlägen oder bei plötzlichem Wassereintrag. Man unterscheidet dann zwischen Geschiebetrieb und Murgang: Beim Geschiebetrieb bewegt sich das Geschiebe langsamer als das Wasser und die Schwebstoffe. Im Gegensatz dazu fliesst ein Murgang (eine Mischung aus Wasser und sehr heterogenem festen Material) gleich schnell wie das Wasser, oft in mehreren Schüben. Zusätzlich zum Gesteinsschutt kann auch anderes Material mitgerissen werden. Besonders in bewaldeten Einzugsgebieten kann Holz einen grossen Anteil am Geschiebe ausmachen.

Geschiebeereignisse in Wildbächen und Gebirgsflüssen sind sehr komplex und schwer beherrschbar. Die räumlichen und zeitlichen Interaktionen zwischen dem Abfluss und den Vorgängen der Mobilisation, des Transports und der Sedimentation variieren während eines Ereignisses stark. Diese Vorgänge werden noch nicht genügend verstanden. Qualitativ kann man sie ziemlich gut beschreiben, aber es bestehen grosse Unsicherheiten in quantitativer Hinsicht. Wenn es aber darum geht, Schutzmassnahmen gegen die Naturgefahren im Zusammenhang mit Geschiebetransporten zu dimensionieren, dann sind quantitative Kenntnisse über die mobilisierbaren Geschiebemengen unverzichtbar. Das Schema (Fig. 1) und die Photodokumentation (Fig. 2) zeigen die Systemkomponenten und Prozesse, die in einem Einzugsgebiet eine Rolle spielen.

Die vorliegende Tafel bietet einerseits einen landesweiten Überblick über die spezifischen Geschiebefrachten, die in den ausgewiesenen Einzugsgebieten anfallen und bis zu den Geschiebesammlern transportiert werden. Andererseits enthält die Tafel Beispiele für das Verhältnis zwischen der spezifischen Geschiebefracht und gewissen lithologischen und morphometrischen Parametern der Einzugsgebiete. Für eine detailliertere Analyse dieser Einzugsgebiete werden jedoch weitere Daten benötigt, z.B. Erhebungen im Feld [1,4]. Für andere Einzugsgebiete, zu denen keine nähere Angaben vorliegen, die aber aus morphometrischer und lithologischer Sicht mit den Gebieten in der Datenbank «Solid» vergleichbar sind, zeigen die hier abgeschätzten Frachten die Grössenordnung der potentiell mobilisierbaren Geschiebemengen.

Datenbank «Solid»

Im Anschluss an die verheerenden Ereignisse vom Sommer 1987, die in der Schweiz grosse Schäden zur Folge hatten, schlug die Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO) den Aufbau einer nationalen Datenbank zu den Geschiebefrachten der Wildbäche und Gebirgsflüsse vor. Diese Datenbank, «Solid» genannt, wurde vom Bund, den Kantonen und von einzelnen Forschungsinstitutionen aufgebaut und wird heute von der Abteilung Hydrologie im Bundesamt für

Umwelt (BAFU) betrieben. Die Zielsetzungen der Datenbank und die Auswahlkriterien der Messstationen wurden durch die GHO festgelegt [2,3]. Aktuell sind 103 Stationen verzeichnet, wobei in der Schweiz insgesamt mehrere Hundert Geschiebesammler existieren. Die Daten werden durch die Kantone und die Forschungsinstitutionen geliefert. Sie umfassen die Geschiebefrachten, die im Einzugsgebiet anfallen und durch die Gewässer bis zu einem Sammler transportiert werden. Das Volumen im Sammler wird entweder auf direktem Weg bestimmt (Zählung oder Wägung der für die Entleerung benötigten LKW-Ladungen), oder auf indirektem Weg mittels topografischer und photogrammetrischer Erhebung. Zusätzlich werden auch weitere Angaben geliefert wie:

- das Messintervall (jährlich oder mehrjährig);
- die Art der Ereignisse (Einzelereignis oder mehrere Ereignisse);
- die Art der Ereignisauslösung (Gewitter, Dauerregen);
- die Zusammensetzung der Feststoffe (Geschiebe, Schwebstoffe, Holz);
- Angaben zur Transportdynamik (Geschiebetrieb oder Murgang).

← **Formatiert:** Nummerierung und Aufzählungszeichen

Die Datenbank «Solid» umfasst daneben auch allgemeine Angaben über die Geschiebesammler, über Geologie und Morphometrie von Einzugsgebiet und Gewässer sowie über die Bodenbedeckung, die Landnutzung, das Klima und zur Wiederkehrperiode von Starkniederschlägen.

Die Abteilung Hydrologie des BAFU startete 2003 ein Projekt zur detaillierten Beschreibung der Einzugsgebiete in der Datenbank «Solid». Um eine Klassierung und einen Vergleich der Gebiete zu ermöglichen, wird mittels Feldbeobachtungen für jedes Einzugsgebiet das maximale Volumen abgeschätzt, das potentiell mobilisiert werden kann. Für die Analyse und das Verständnis des Geschiebetransports in Wildbächen sind diese Erhebungen von grosser Bedeutung und bilden eine wichtige Ergänzung zu den Volumenmessungen.

Analyse und Abschätzung der Geschiebefracht

Die mittlere und maximale spezifische Jahresfracht sowie die spezifische maximale Fracht, die bei einem einzelnen Ereignis auftreten, werden für jedes der dargestellten Einzugsgebiete abgeschätzt. Die mittlere spezifische Fracht jedes Einzugsgebiets wird berechnet aus der Summe der gemessenen Volumina, dividiert durch die Anzahl der entsprechenden Beobachtungsjahre. Die Beobachtungsperioden sind meist unregelmässig, häufig auch unterbrochen (vgl. Tab. 2). Es kommt vor, dass das Material, das z.B. nach einem Jahr im Geschiebesammler gemessen wird, auf ein einziges Ereignis zurückgeht (z.B. Murgang) und damit gerade der spezifischen jährlichen Fracht des Gebiets entspricht. In einigen Einzugsgebieten wird das Geschiebe in mehreren Sammlern aufgefangen (BE-08, GR-01, SG-03, SG-04, SG-06). Dies wurde bei der Berechnung der spezifischen Frachten dieser Gebiete berücksichtigt.

Mit der Datenbank «Solid» ist es auch möglich, die Geschiebefrachten in Beziehung zu setzen mit den klimatologischen (Fig. 3), geologischen (Fig. 3, 4, 5 und 6) und morphometrischen Parametern (Fig. 4 und 5) der jeweiligen Einzugsgebiete. Figur 4 zeigt, dass die maximale spezifische Jahresfracht abnimmt, wenn die Fläche des Einzugsgebiets zunimmt. Dazu ein Beispiel: Die Fläche des Einzugsgebiets BE-01 beträgt 0.3 km² bei einer spezifischen maximalen Fracht 8667 m³/km²; das Gebiet TI-16 umfasst 317 km² bei einer spezifischen maximalen Fracht von 9 m³/km². Dies zeigt auch Figur 5: Bei gleicher Unterschreitungshäufigkeit ist die spezifische jährliche Fracht umso geringer, je grösser die Fläche der Einzugsgebiete wird. Die grossen Einzugsgebiete produzieren geringere spezifische Geschiebefrachten als die kleineren, weil sie in der Regel ein geringeres mittleres Gefälle aufweisen. Sie enthalten daher auch vermehrt Abschnitte mit so geringem Gefälle, dass Geschiebe vorübergehend abgelagert wird, bevor es den Sammler erreicht, was zu einer Abnahme der spezifischen Frachten führt.

Figur 5 setzt die spezifischen Geschiebefrachten der Einzugsgebiete in Beziehung zu vier geologischen und morphometrischen Parametern. Zunächst wurden die Gebiete nach vorherrschender Lithologie, Fläche, mittlerem Gefälle und Formfaktor klassiert. Danach wurden die

Unterschreitungshäufigkeiten der einzelnen Gebietsklassen untersucht. Für die gleiche Unterschreitungshäufigkeit (z.B. 50%) zeigen diejenigen Gebiete höhere spezifische Frachten, die kleinere Flächen, stärkeres mittleres Gefälle oder eine länglichere Form aufweisen. Zum Vergleich: AG-02 mit einem Gefälle des Hauptgerinnes von 10.9° zeigt eine maximale spezifische Jahresfracht von 17 m³/km², gegenüber TI-16 mit einem mittleren Gefälle von 55.4° und einer maximalen spezifischen Jahresfracht von 585 m³/km². Oder VS-11, das bei einem Formfaktor von 0.12 eine maximale spezifische Jahresfracht von 5912 m³/km² aufweist, gegenüber TI-13 mit einem Formfaktor von 0.98 und einer maximalen spezifischen Jahresfracht von 18 m³/km². Demgegenüber ist kein Zusammenhang zwischen der Unterschreitungshäufigkeit und den spezifischen jährlichen Frachten ersichtlich, wenn die Klassierung nach der Lithologie betrachtet wird. Die durch die Gewässer transportierten Geschiebefrachten werden also nach Figur 5 hauptsächlich durch die morphometrischen Parameter bestimmt (Fläche, Gefälle und Form des Einzugsgebiets).

Figur 6 zeigt die mittleren und maximalen spezifischen Jahresfrachten sowie die maximalen Frachten aus Einzelereignissen für die vier Hauptgeologietypen Molasse, Kalk, Flysch und Kristallin. Die mittlere spezifische Jahresfracht ergibt sich aus der Summe der spezifischen Frachten, die in den Geschiebesammlern der jeweiligen Kategorie erhoben wurden, dividiert durch die Anzahl der entsprechenden Beobachtungsjahre. Die maximale spezifische Jahresfracht entspricht der grössten Geschiebemenge, die in einem Sammler der entsprechenden Kategorie über ein Jahr beobachtet wurde. Das Gleiche gilt für die spezifische maximale Fracht eines Einzelereignisses. Die höchsten spezifischen Frachten wurden für die Kategorien «Kalk» und «Kristallin» geschätzt, nicht nur wegen der Geologie dieser Einzugsgebiete, sondern auch weil sie allgemein stärkere Hangneigungen aufweisen.

Tabelle 1 zeigt für die «Solid» Messstationen die geografischen Koordinaten sowie die geologischen und morphometrischen Parameter ihrer Einzugsgebiete und Gewässer. Mit diesen Parametern können empirische Modelle für die Abschätzung von Feststofffrachten aufgebaut werden, die durch die Wildbäche und Gebirgsflüsse mobilisiert werden könnten. Die morphometrischen Parameter wurden aus dem digitalen Gewässernetz 1:25 000 (dgn2599) abgeleitet. Allerdings sind in diesem Gewässernetz nur perennierende Gewässer erfasst. Wenn ein Geschiebesammler nur durch ein temporäres Gewässer gespiesen wird, dann ist die in der Tabelle ausgewiesene Hauptgerinnelänge gleich Null, und gewisse morphometrische Parameter verlieren ihre Aussagekraft. Dies ist zum Beispiel bei der Station Pöschrüti–Seedorf (UR-03) der Fall.

Die Tabelle liefert zudem Informationen über die Landnutzung in den Einzugsgebieten gemäss der «Schweizerischen Arealstatistik» des Bundesamtes für Statistik (BFS), sowie zu den Wiederkehrperioden von regionalen Starkniederschlägen (vgl. Tafeln 2.4 und 2.4²). Da in grossen Einzugsgebieten (ab ca. 25 km²) die Niederschläge nicht mehr als räumlich gleichverteilt betrachtet werden können, wurden die entsprechenden Starkniederschläge mit einem regionalen Abminderungsfaktor reduziert (vgl. Tafel 2.5). Die in Tabelle 1 ausgewiesenen regionalen Starkniederschläge sind spezifisch für dieses Projekt errechnet worden und daher nur mit Vorsicht für andere Anwendungen zu verwenden.

Literatur

- [1] **Gertsch, E. (2009):** Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen – Ereignisanalysen und Entwicklung eines Abschätzverfahrens. Diss. Geographisches Institut der Universität Bern.
- [2] **GHO (1984):** Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern – Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung. Bern.
- [3] **GHO (1987):** Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten. Mitteilung der Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO), Nr. 2, Bern.
- [4] **Lehmann, C., Spreafico, M., Naef, O. (1996):** Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen, Teil I und II. Mitteilung der Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO), Nr. 4, Bern.