

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 24

Artikel: Geschiebetransport in Wildbächen: Messung mittels eines neuartigen Sensors
Autor: Bänziger, Robert / Burch, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-85961>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geschiebetransport in Wildbächen

Messung mittels eines neuartigen Sensors

Schwer voraussehbarer Geschiebetransport mit oft katastrophalen Folgen gehört zu den Risiken, mit denen sich der Mensch auseinandersetzen muss. Messungen mittels eines neuartigen Sensors und erste Interpretationen der Ergebnisse bilden den Inhalt eines Forschungsprojektes der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft sowie der nachfolgenden Ausführungen.

Geschiebetransport in Wildbächen

Es gehört zum Charakter von Wildbächen, dass sie in unregelmässigen Abständen kleinere oder auch grössere

VON ROBERT BÄNZIGER UND
HANS BURCH,
BIRMENSdorf

Geschiebemengen zu Tal befördern. Nicht selten richten sie dabei grosse, manchmal auch katastrophale Schäden an. Seit jeher versucht sich der Mensch gegen solche Naturgewalten zu schützen, sei es durch geschickte Anordnung seiner Infrastruktur oder durch den Verbau solcher Bäche. Das dazu erforderliche Wissen stammt einerseits aus der Erfahrung, muss aber andererseits durch die Forschung zur Verfügung gestellt werden. Katastrophale Ereignisse, wie sie sich etwa 1987 im ganzen Alpenraum oder 1990 im Einzugsgebiet von Gürbe und Sense ereigneten, zeigen uns, dass wir den Problembereich der Wildbäche noch lange nicht «im Griff» haben.

In den letzten 20 Jahren wurde die Erforschung grosser Massenverlagerungen in Wildbächen intensiv vorangetrieben. Trotz vielen neuen Erkenntnissen [1, 2] in jüngster Zeit ist jedoch das diesbezügliche Wissen noch immer ungenügend. Während verschiedene Zusammenhänge im Labor erkannt wurden, weiss man über das Verhalten der Bäche «draussen» relativ wenig. Die Übertragung der im Labor gefundenen Erkenntnisse auf die Verhältnisse in der Natur ist immer noch mit grossen Schwierigkeiten verbunden [3] und teilweise gar nicht möglich. Es ist deshalb unerlässlich, neben der Arbeit im Labor und Büro auch die Natur genauer zu beobachten.

Ein Wildbach wird genau beobachtet

Im Erlenbach, einem voralpinen Wildbach im Alptal (SZ), betreibt die eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) eine Messanlage (Bild 1). Das Einzugsgebiet des Erlenbachs liegt vollständig im Flysch und weist bei einer Grösse von rund 0,7 km² eine mittlere Neigung von 30% auf. Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 1655 m ü.M., der niedrigste auf 1110 m ü.M. Der durchschnittliche Niederschlag beträgt 2300 mm/Jahr. Kontinuierlich gemessen und registriert werden vom Abfluss die Menge, chemische und physikalische Parameter, ferner ausgewählte meteorologische Daten. Zwei- bis dreimal jährlich wird die Grösse des Geschiebehaufens im Sammler vermessen. Vereinzelt wird auch die Korngrößenverteilung und Dichte des im Sammler und im Bachbett liegenden Materials erhoben.

Seit Herbst 1986 ist die Messstation zusätzlich mit Sensoren ausgerüstet, die Informationen über den momentanen Geschiebetransport liefern und auf die im folgenden näher eingegangen wird.

Funktionsweise der Messanlage

Das Herzstück eines Geschiebesensors ist ein piezoelektrischer Kristall. Dieser ist an der Unterseite einer Stahlplatte angebracht, die in eine Schwelle eingebaut ist. Rollt bei einem Hochwasser ein Geschiebeblock über diese Abdeckplatte, so übertragen sich die Schläge des Steines von der Stahlplatte auf diesen Kristall. Dadurch verformt er sich. Durch die Verformung wird im Kristall eine (sehr kleine) Spannung induziert. Diese wird auf den Stromkreis, an den der Kristall angeschlossen ist, abgegeben. Die Spannung wird verstärkt und

gemessen. Aus ihrer Grösse kann auf die Intensität des Schlages geschlossen werden. Ist der Schlag stark genug, so wird ein Impuls zur Registriereinheit in der Messhütte geschickt. Werden innerhalb einer Minute mehr als eine festgesetzte minimale Anzahl Impulse registriert, so wird diese Zahl zusammen mit einem Satz weiterer Daten (Zeit, Datum, Abflussmenge, Niederschlagsintensität) abgespeichert. In der Schwelle sind in verschiedenen Höhen insgesamt neun solcher Geschiebesensoren eingebaut (Bild 2).

Datenaufbereitung

Bevor die gesammelten Daten verwendet werden können, müssen sie aufbereitet werden. Es gilt, diejenigen Aufzeichnungen, welche durch spielende Kinder, Hagelschlag, Überschallknall, Feuerwerk etc. ausgelöst wurden, herauszufiltern und aus der Datensammlung zu entfernen – eine nicht immer einfache Arbeit. Ist diese geleistet, besitzt man eine Sammlung von Angaben über geschiebeführende Hochwasserereignisse. Im jetzigen Zeitpunkt umfasst diese Sammlung Daten von 190 Ereignissen, die sich zwischen dem 20. Oktober 1986 und dem 21. November 1990 abgespielt haben.

Einige Auswertungen

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt ist auf eine Dauer von mehreren Jahrzehnten ausgelegt. Bei den im folgenden vorgestellten Ergebnissen handelt es sich deshalb nicht um endgültige Resultate der Arbeit, sondern lediglich um eine Auswahl erster Ergebnisse im Sinne eines Zwischenberichtes.

Beobachtungen an einem Einzelereignis

Bild 3 zeigt die graphische Darstellung der Aufzeichnung eines Ereignisses. Es werden hier nur der Reinwasserabfluss sowie die Impulse eines einzelnen Sensors dargestellt. Man erkennt, dass der Sensor bei einem Abfluss von rund 450 l/s aktiv wurde. Dieser Abfluss (Abfluss bei Geschiebetransferbeginn) wird im folgenden «Grenzabfluss» genannt. Interessant ist, dass der Sensor am Ende des Ereignisses die Aktivität einstellt, obschon noch wesentlich mehr Wasser fliesst (rund 800 l/s) als zu Beginn. Dies ist in der Regel so.

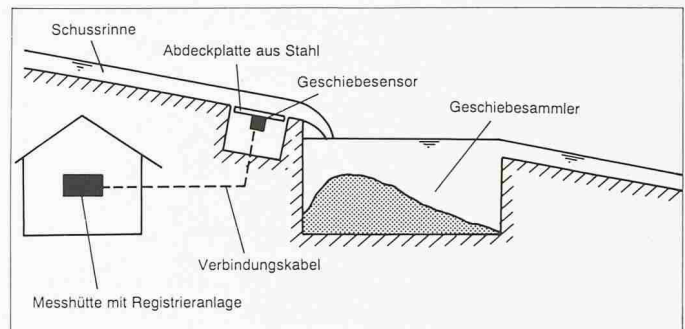
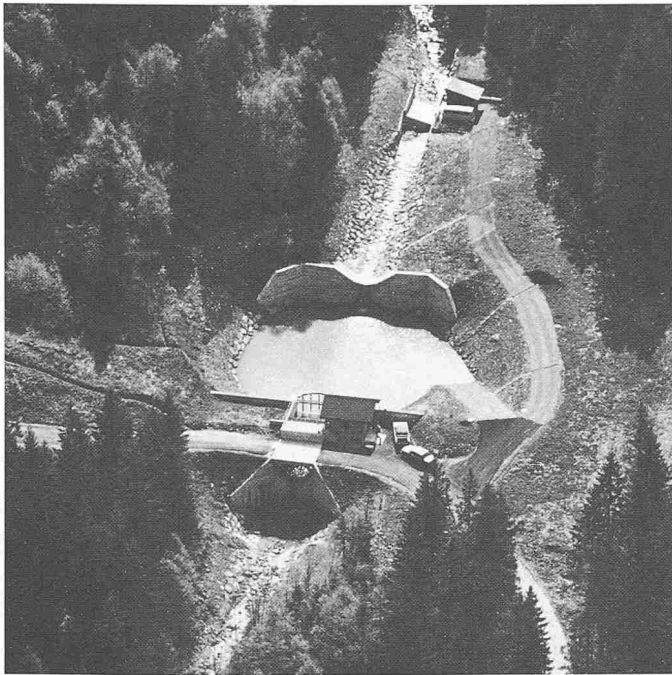


Bild 2. Prinzip des Aufbaus der Geschiebesensoranlage.

Bild 1. Messanlage Erlenbach. Der Erlenbach fliesst im Bild von oben nach unten zuerst an einer Messstation vorbei, dann eine Schussrinne hinunter über eine Schwelle in den Geschiebesammler. In dieser Schwelle sind die Sensoren eingebaut. Vom Geschiebesammler fliesst er durch die Rechen hindurch in ein Beruhigungsbecken und von dort über ein Messwehr wieder in sein Bett.

Bei einzelnen Ereignissen kann aber auch ein entgegengesetztes Verhalten (Grenzabfluss ist grösser als Abfluss bei Ereignisende) beobachtet werden. Eine weitere Beobachtung ist, dass entgegen der ersten Vermutung die Maxima der Impulsaufzeichnungen zeitlich nicht mit den Maxima des Reinwasserabflusses zusammenfallen. Im vorliegenden Beispiel liegt das Maximum der Impulszahlen vor der Abflussspitze, bei anderen Ereignissen verhält es sich umgekehrt. Weiter sind die grossen Fluktuationen der Geschiebesensoraufzeichnungen beachtenswert. Das Geschiebe scheint also auch bei ausgebildetem Geschiebetrieb wesentlich instationärer abzufließen als das transportierende Wasser.

Impulszahl und Reinwasserabfluss

Die traditionellen Geschiebetriebe-rechnungsverfahren gehen von der Vorstellung aus, dass ein bestimmter Wasserabfluss unter gegebenen Randbedingungen (Gerinnegeometrie, Geschiebekennwerte) eine bestimmte Menge Geschiebe zu transportieren vermag. Das Resultat einer entsprechenden Berechnung ist also jeweils eine Geschiebetransportkapazität. Entsprechend der Vorstellung frisst sich der Bach solange in sein Bett ein, bis Transportkapazität und effektiv transportiertes Geschiebe mengenmässig übereinstimmen. In diesem Gleichgewichtszustand transportiert ein Bach bei einem bestimmten Abfluss (und sichergestelltem Geschiebenachschub) also eine ganz bestimmte Menge Geschiebe. In unserem Fall ist zu erwarten, dass dann auch eine ganz bestimmte Anzahl Sensorimpulse (pro Zeitein-

heit) registriert werden. Zu einem bestimmten Wasserabfluss gehörte demnach eine bestimmte Sensorimpuls-summe pro Zeit.

Leider kann bei keinem einzigen aller bisher erfassten Hochwasser eine solche einfache Beziehung gefunden werden. Vielmehr erhält man beim Auftragen der Sensorimpulse gegen die zugehörigen Abflüsse weit gestreute Punktwolken (Beispiel siehe Bild 4). Dies kann zweierlei bedeuten: Der Erlenbach ist auch bei Hochwasser nicht in der Lage, seinen «Geschiebehunger» durch Erosion seines (kohäsiven) Sohlenmaterials oder seiner Flanken zu stillen. Und/oder: Die Vorstellung, dass voll

ausgebildeter Geschiebetrieb auch in steilen Wildbächen stationär verläuft, ist nicht richtig.

Impulszahl und Geschiebefracht

Bisher wurde angenommen, dass die Zahl der registrierten Impulse ein Mass für die abgeflossene Geschiebemenge sei. Diese Hypothese lässt sich anhand des vorliegenden Datenmaterials nur teilweise stützen. Die im Sammler abgelagerte Geschiebefracht wird ja periodisch gemessen. Vergleicht man nun die Summe der während einer solchen Periode registrierten Sensorimpulse mit der Menge des in derselben Zeit gesammelten Geschiebes, so stellt man fest,

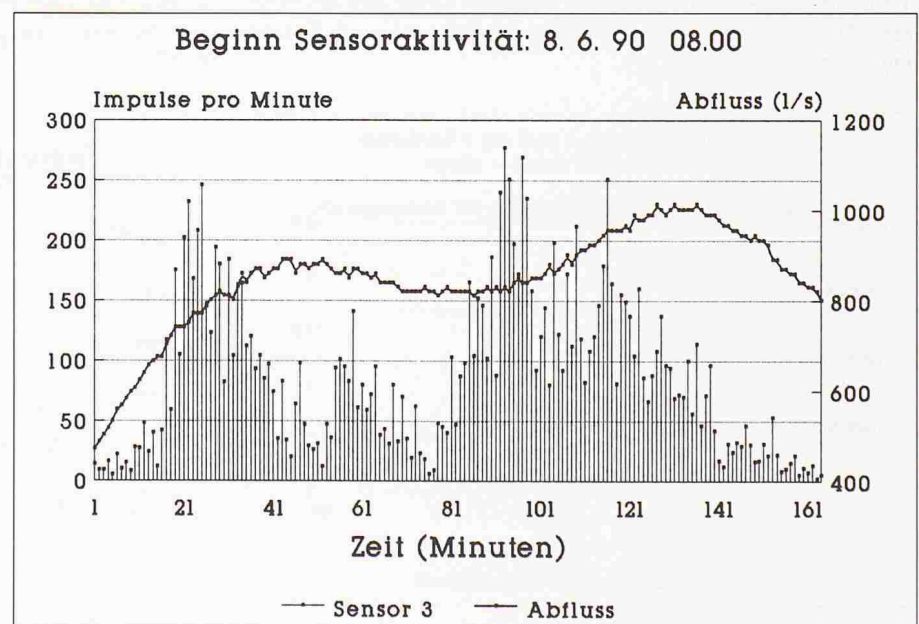


Bild 3. Beispiel eines Ereignisses. Man erkennt, dass die Maxima der Sensoraufzeichnungen nicht mit denjenigen des Abflusses zusammenfallen. Der Abfluss bei Beginn der Sensoraktivität weist eine völlig andere Grösse auf als bei Ereignisende. Die Impulszahlen fluktuieren stark, viel stärker als der Reinwasserabfluss.

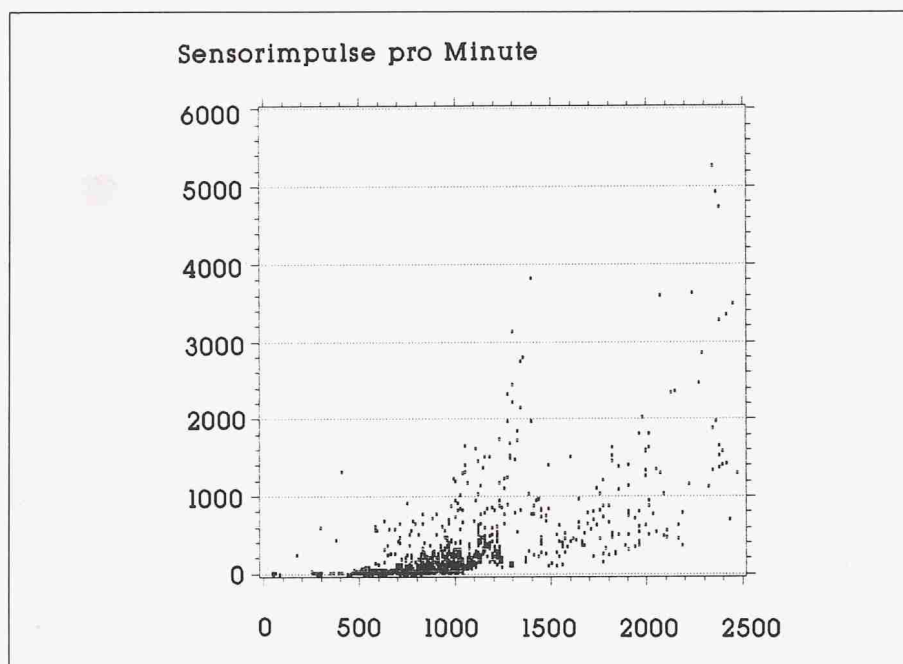


Bild 4. Der Streubereich der Impulszahlen bei gegebenem Reinwasserabfluss ist enorm gross. Anhand diese Beispiels (Zusammenfassung der Daten von 4 Ereignissen aus dem Sommer 1990) wird dies deutlich. Man erkennt, dass beispielsweise bei einem Abfluss von etwa $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ während einer Minute etwa 750 Impulse, während einer anderen 5300 Impulse registriert wurden.

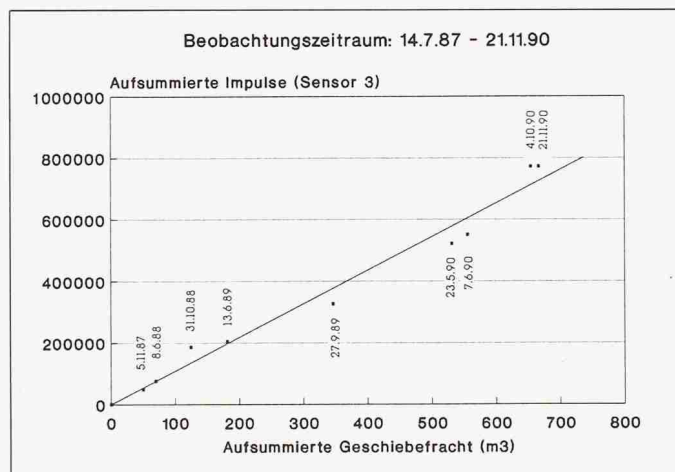


Bild 5. Für die Periode vom 14. Juli 1987 bis 21. November 1990 mit ihren relativ kleinen Hochwassern ergibt sich ein linearer Zusammenhang zwischen Geschiebefracht und Sensorimpulsen.

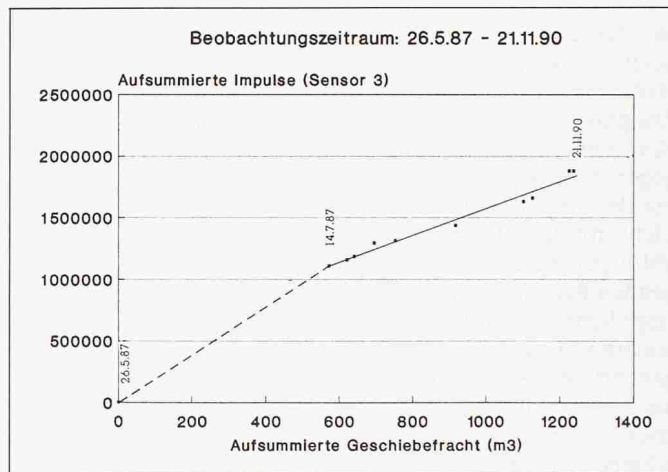


Bild 6. Wird die Periode erweitert, so fällt ein grösseres Hochwasser in den Auswertez Zeitraum. Dieses steuert übermässig viele Impulse bei, was einen Knick in der Doppelsummenkurve bewirkt.

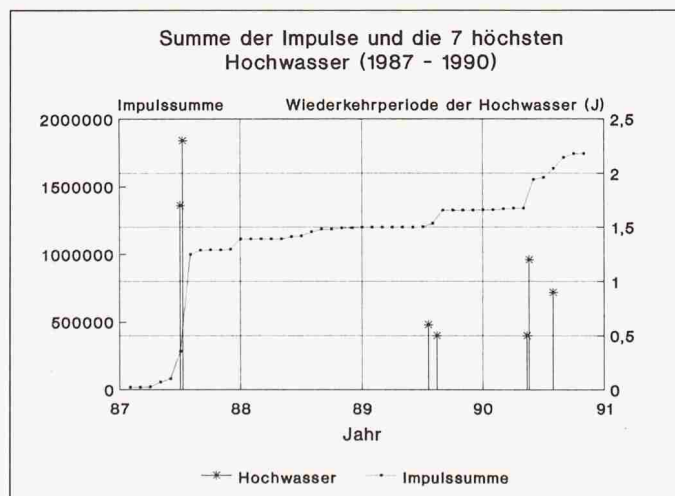


Bild 7. 48% aller registrierten Sensorimpulse wurden von 3,7% der Ereignisse – den 7 Hochwassern mit den höchsten Abflussspitzen – ausgelöst.

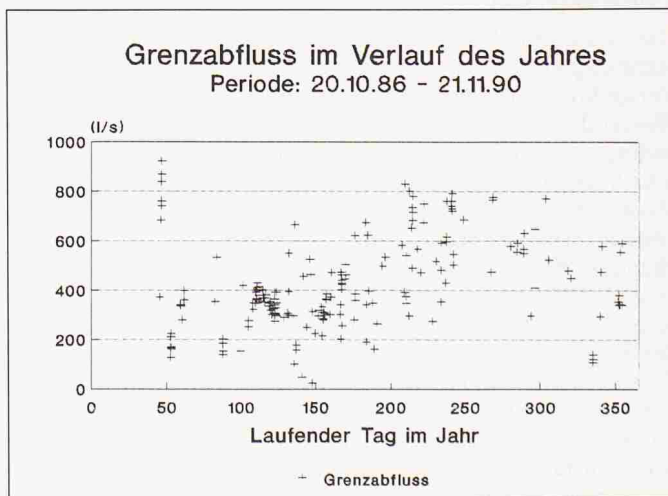


Bild 8. Der Reinwasserabfluss bei Geschiebetriebsbeginn (Grenzabfluss) ist im Sommer durchschnittlich höher als im Winter. Die hohen Werte Ende Februar (Tag 50) widerspiegeln als Besonderheit das Verhalten bei gefrorener Bachsohle während winterlicher Hochwasser («Eisregen»).

Literatur

- [1] Smart, G. M. und Jäggi, M. N. R., 1983: Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitteilung Nr. 64 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich, 191 S.
- [2] Rickenmann D., 1990: Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. Mitteilung Nr. 103 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich, 249 S.
- [3] Bänziger R., 1987: Anwendung des Berechnungsverfahrens Smart/Jäggi auf die Versuchseinzugsgebiete der EAFV. Interner Bericht G5, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Birmensdorf, 70 S.
- [4] Günter A., 1971: Die kritische mittlere Sohlschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlschubspannungsschwankungen. Mitteilung Nr. 3 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich, 69 S.

dass diese Verhältnis relativ konstant ist. Eine bestimmte Menge Geschiebe verursachte also in der betrachteten Periode beim Überqueren der Sensoren immer etwa gleich viele Impulse. Im Bild 5 ist dieser Sachverhalt für die Periode vom 14. Juli 1987 bis zum 21. November 1990 dargestellt, wobei sowohl Geschiebemenge als auch Impulszahlen fortlaufend aufsummiert wurden. Die Messpunkte liegen erfreulich nahe der Regressionsgeraden ($r^2 = 0,98$). Die Sensorimpulse scheinen also direkt und linear von der transportierten Geschiebemenge abzuhängen. Allerdings war das höchste in dieser Zeit gemessene Hochwasser relativ unbedeutend. Es hatte eine Wiederkehrperiode (Jährlichkeit) von rund 1,2 Jahren.

Anfangs Juli 1987 ereignete sich ein Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von etwa 2,3 Jahren, also ein deutlich grösseres Ereignis. Dieses Ereignis führte zu einer – im Verhältnis zur Fracht – übermässig grossen Anzahl registrierter Sensorimpulse. Während der ganzen bisherigen Betriebsdauer der Messanlage waren die Sensoren rund 230 Stunden aktiv gewesen. Allein am 9. Juli 1987 wurden aber in nur rund 2,5 Stunden (1,2% der total aktiven Zeit) rund 25% aller bisher registrierten Impulse aufgenommen. Dieses Hochwasser verändert das Bild der eben erhaltenen «Eichgeraden» massiv (Bild 6). Das transportierte Geschiebe erzeugt während eines relativ grossen Hochwassers also überproportional viele Sensorimpulse.

Hier zeigt sich übrigens ein Grundproblem, das sich bei der Beobachtung von Extremereignissen in der Natur ergibt: Ihrem Charakter entsprechend sind diese sehr selten. Will man über sie Daten (und Erkenntnisse) sammeln, so werden die dazu notwendigen Beobachtungsdauern sehr lange. Im vorliegenden Themenbereich betragen sie mehrere Dezennien. Gibt man sich mit kürzeren Beobachtungsdauern zufrieden, so setzt man sich unweigerlich der Gefahr von Fehlschlüssen aus.

Immerhin kann aufgrund der vorliegenden Daten bereits gesagt werden, dass die registrierten Impulszahlen und die transportierte Geschiebemenge in einem Zusammenhang stehen, der bei kleinen Hochwassern mit Jährlichkeiten unter 1 relativ einfach, bei grösseren jedoch noch unbekannt ist.

Zeitpunkt der Geschiebestösse

Im Verlauf der rund 4 Jahre Beobachtungsdauer hat der Erlenbach im Sammler insgesamt rund 1420 m³ Geschiebe abgelagert. Dies entspricht einem Gebietsabtrag von rund 0,5 mm/Jahr, was relativ viel ist. Dieser Abtrag erfolgte natürlich zeitlich nicht regelmässig. Vielmehr sind es die Hochwasser mit den höchsten Spitzen, die den massgebenden Anteil des Geschiebes zu Tal fördern. Im Bild 7 sind neben dem Zeitpunkt und der Grösse der 7 höchsten Hochwasser der Periode die aufsummierten Sensorimpulse aufgetragen. Obschon in diesem Zeitraum 190 geschiebeführende Ereignisse registriert wurden, stammen 48% aller Impulse von den 7 höchsten Hochwassern, 41% von den drei höchsten. Die Hochwasserspitzen scheinen also einen grossen Einfluss auf die Geschiebefracht zu haben.

Grenzabfluss – Aufreissen der Deckschicht

In Fliessgewässern – auch in Wildbächen – bildet sich auf der Sohle eine Abpflasterung, die verhindert, dass dauernd Geschiebetrieb herrscht. Im aufsteigenden Ast eines Hochwassers wird diese Abpflasterung aufgerissen, und es setzt Geschiebetrieb ein. Das Phänomen ist für Flüsse und Bäche untersucht, und der Zeitpunkt des Aufreissens der Deckschicht kann zum Beispiel nach Günter [4] berechnet werden. Wendet man diese Methode auf den steilen Erlenbach an, so berechnet man ein Aufreissen der Deckschicht und Einsetzen von Geschiebetrieb bei einem Abfluss von rund 100–250 l/s.

Interessant ist nun der Vergleich dieser Zahlen mit den gemessenen Werten:

Der Grenzabfluss (Abfluss bei Einsetzen von Geschiebetrieb) wird ja von unserer Anlage gemessen. Er schwankt allerdings in weiten Bereichen, nämlich zwischen etwa 50 l/s und 900 l/s (Bild 8). Obwohl die Streuung gross ist, erkennt man, dass der Grenzabfluss im Frühjahr niedrig ist, während des Jahres stetig steigt und im Spätsommer ein Maximum erreicht, um dann gegen den Winter wieder abzufallen. Eine spezielle Situation herrscht im Winter, wenn bei Minustemperaturen starke Regen fallen und das abfliessende Wasser erst bei hohen Abflüssen in der Lage ist, Geschiebe aus der gefrorenen Bachsohle zu lösen und mitzureissen. Die hoch liegenden Punkte Ende Februar (rund um den fünfzigsten Tag) sind darauf zurückzuführen.

Die Frage, woher diese saisonale Variabilität rührt, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden.

Folgerungen

Aufgrund der heute vorliegenden Daten können folgende Aussagen gemacht werden:

□ Die verwendeten Geschiebesensoren eignen sich zum Messen von Geschiebetransport in Wildbächen. Ein funktionaler Zusammenhang zwischen den Sensoraufzeichnungen und der Geschiebetransportrate konnte im Testgebiet für kleinere Ereignisse (Jährlichkeit < 1) gefunden werden.

□ Die Geschiebetransportrate ist auch bei relativ stationärem Reinwasserabfluss grossen Fluktuationen unterworfen. Möglicherweise erfolgt der Feststofftransport schubweise. Er scheint eher von Geschiebeangebot als von der Transportkapazität abhängig zu sein.

□ Der Grenzabfluss (Abfluss bei Einsetzen des Geschiebetriebes) ist im Erlenbach keine konstante Grösse. Er variiert mit der Jahreszeit. Bis jetzt konnte keine Erklärung dieses Verhaltens gefunden werden.

□ Um gesicherte Aussagen über Extremereignisse machen zu können, müssen jahrzehntelange Messreihen vorliegen. Die Erforschung des Feststofftransportregimes von Wildbächen erfordert deshalb Geduld und einen langen Atem.

Adresse des Verfassers: R. Bänziger, dipl. Kultur-Ing. ETH, und H. Burch, dipl. Kultur-Ing. ETH, c/o Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 8903 Birmensdorf.