Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 102 (2010)
Heft: 1

Artikel: Monitoring von Feststofffrachten in schweizerischen Wildbächen
Autor: Grasso, A. / Jakob, A. / Spreafico, M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941641

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: 10.07.2025

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

Monitoring von Feststofffrachten in schweizerischen Wildbächen

A. Grasso, A. Jakob, M. Spreafico, D. Bérod

Zusammenfassung

Seit über 20 Jahren betreibt die Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt BAFU zusammen mit kantonalen Fachstellen und eidgenössischen Forschungsanstalten ein Feststoffmonitoring in schweizerischen Wildbächen. Die Daten zeigen starke Variationen der Feststofffrachten in gewissen Abhängigkeiten der morphometrischen und geologischen Parameter des Einzugsgebietes. Die Analysen der Monitoringdaten zeigen, welche Zusammenhänge zwischen den Feststofffrachten eines Einzugsgebietes und der Fläche, Neigung, Form, Höhenlage und Geologie des Einzugsgebietes bestehen. Die erhobenen Daten weisen darauf hin, dass in hochgelegenen Gebieten mit Schnee, Eis und Permafrost die maximalen spezifischen Feststofffrachten wesentlich kleiner als in tiefer gelegenen Einzugsgebieten sind. Neben dem bei kalter Witterung zurückgehaltenen Starkniederschlag durch die Speicherung als Schnee dürfte dies auf die Stabilisierung des Bodens durch Permafrost, dem höheren Felsanteil und die Gletscherbedeckung zurückzuführen sein. Das Feststoffmonitoring, als Teil des Naturgefahren-Managements, soll langfristig gewährleistet werden.

Résumé

Depuis plus de vingt ans, la division hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) assure le monitoring du transport solide des torrents en Suisse, en collaboration étroite avec les spécialistes cantonaux et les Instituts de recherche nationaux. Les données montrent de fortes variations dépendant de certains paramètres morphologiques et géologiques des bassins versants. L'analyse des observations montre quelles relations existent entre les volumes solides spécifiques transportés d'un bassin versant et la surface, la pente, la forme, l'altitude et la géologie de ce dernier. Les données mesurées indiquent en outre que les bassins de haute altitude génèrent un volume solide spécifique transporté plus faible. Les raisons en sont notamment que les fortes précipitations hivernales sont stockées sous forme de neige et que ces bassins contiennent une forte proportion de roches et que la couverture glacière peut être importante et que leurs sols sont stabilisés par le permafrost.

Le monitoring du transport solide des torrents, en tant que contribution à la gestion des dangers naturels, doit être garanti à long terme.

1. Einleitung

Die Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt BAFU ist das Kompetenzzentrum für das Monitoring der oberflächigen und unterirdischen Gewässer von nationaler Bedeutung. Das Monitoring von in Gewässern transportierten Feststoffen und die Zurverfügungstellung von Grundlagendaten für die Forschung, die Kantone und weitere Institutionen ist eine der Kernaufgaben der Abteilung Hydrologie.

Dieser Artikel soll mit der Gegenüberstellung einerseits der geologischen und morphometrischen Parameter der Einzugsgebiete und andererseits der gemessenen maximalen von Wildbächen transportierten Feststoffjahresfrachten die Schwierigkeiten der Abschätzung der Feststofffrachten als Teil der Naturgefahren aufzeigen.

Ein Wildbach ist ein oberirdisches Gewässer mit zumindest streckenweise grossem Gefälle (>10°) und mit verhältnismässig kleinem Einzugsgebiet (<20 km^2). Die Wasserführung des Wildbaches kann sprunghaft oder bei lang anhaltenden Niederschlägen in Abhängigkeit zur Bodensättigung und zum Wasserfluss im Boden auch nur allmählich ansteigen. Durch Erosion der Sohle und Ufer sowie durch Eintrag von Feststoffen von Einhängen und Runsen werden im Wildbach grosse Feststoffmassen transportiert. In Abhängigkeit von der Wasserführung geschieht dies sprungweise oder fliessend. Der Transport erfolgt auf Grund der Hydraulik als Feststofftransport oder als Murgang. Murgänge sind sehr komplexe Prozesse, die nicht Teil des hier präsentierten langjährigen Feststoffmonitorings sind. Die Menge der mobilisierbaren Feststoffe hängt unter anderem von den Eigenschaften des Einzugsgebietes ab, nämlich von der Lithologie, der Neigung, dem Klima, der Vegetation, der Bodennutzung, der Lage und der Verfügbarkeit von Feststoffen. Die massgebenden Prozesse für den Feststoffhaushalt in einem Wildbachsystem sind die Abflussbildung, die Feststoffaufbereitung, die Feststofflieferung aus dem Gerinnehang, die Feststoffmobilisierung im Gerinne selbst, der Feststofftransport im Gerinne sowie die Feststoffumlagerung und -ablagerung. Für den Feststoffhaushalt eines Gerinneabschnittes sind nach Gertsch (2009) die folgenden Einflussfaktoren massgebend:

- Lokale Standortfaktoren wie beispielsweise Neigung, Lockermaterialangebot und Abflussangebot,
- Bedingungen oberhalb des betrachteten Gerinneabschnittes wie Transportprozess oberhalb, Gerinneneigungsänderungen, Einmündung von Seitengerinnen, Aufbau von hohen Fliessgeschwindigkeiten mit grosser Erosionskraft,

Negativfaktoren wie z.B. Anriss im auftauenden Permafrost oder in der Bastionsmoräne, konzentrierter Ausbruch von Kluftwasser, Durchbruch einer Verklausung, usw. Diese Negativfaktoren führen auch beim Überschreiten eines Schwellenwertes im System zu besonders hohen Erosionsleistungen der Mobilisierung, des Transports und der Ablagerung von Feststoffen sind sehr unterschiedlich. *Bild 1* zeigt die verschiedenen Komponenten des Systems und die Prozesse zum Geschiebehaushalt in Einzugsgebieten.

Diese Abläufe sind noch nicht genügend bekannt. Auf qualitativer Ebene können sie mehr oder weniger gut beschrieben werden, während auf der quantitativen Ebene immer noch grosse Unsicherheiten bestehen. Bei der Entscheidfindung beim Schutz vor Naturgefahren im Zusammenhang mit dem Feststofftransport der Wildbäche ist die Kenntnis der mobilisierbaren Volumen jedoch von grundlegender Bedeutung.

Das Feststoffvolumen eines Hochwasserereignisses kann einerseits grob mit Hilfe von empirischen Modellen [Kronfellner-Kraus, 1982], [Zeller, 1985], [D'Agostino, 1996], [Tropeano & Turconi 1999], anderseits mit speziell entwickelten detaillierten Abschätzungsverfahren basierend auf Feldaufnahmen und Transportabschätzungen bestimmt werden [Lehmann et al. 1996], [Gertsch 2009].

Auf langjährige qualitative Messungen von Feststofffrachten konnte bisher erst wenig zurückgegriffen werden. Der Grund liegt in den technischen Schwierigkeiten bei der Messung der Feststofffrachten. Zur Kalibrierung braucht es spezielle Messsysteme (z.B. Hydrophone), die entsprechend aufwändig sind. Das Feststoffmonitoring der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL im Illgraben (VS) kostet beispielsweise nebst grossen personellen Ressourcen mehrere hunderttausend Franken.

2. Das Feststoffmonitoring

Nach den verheerenden Hochwassern des Sommers 1987, die in der Schweiz grosse Schäden hinterliessen, wurde auf Antrag der Gruppe für operationelle Hydrologie (GHO) bei der Abteilung Hydrologie des BAFU eine Datenbank, in welcher Beobachtungen über den Feststofftransport in schweizerischen Wildbacheinzugsgebieten gespeichert werden, eingerichtet. Diese Datenbank DB-SOLID ist das Resultat der Zusammenarbeit zwischen BAFU, kantonalen Fachstellen (Kantone Aargau, Bern, Graubünden, Nidwalden, Obwalden, St. Gallen, Schwyz, Tessin, Uri, Waadt, Wallis) und eidgenössischen Forschungsanstalten (VAW, WSL). Die Ziele der DB-SOLID und die Auswahlkriterien der Messstationen wurden von der GHO [GHO 1984 und 1987] folgendermassen definiert.

Das Monitoringprogramm soll: mit einem festgelegten Messnetz

- die langfristige Erfassung der Feststofffrachten gewährleisten;
- die Beobachtung der Feststofffrachten koordinieren;
- die Methoden zur Ermittlung und Verwendung der Daten vereinheitlichen.

Die Auswahlkriterien der Messstandorte für ein repräsentatives Messnetz sind:

- die Einzugsgebiete decken die wesentlichsten geologischen Formationen der Schweiz ab;
- die Einzugsgebiete gehören den typischen Klimaregionen der Schweiz an;
- die Einzugsgebiete sind hinsichtlich Niederschlag und Abfluss typisch für Gewitterregime, Dauerregenregime sowie Schnee- Gletscherschmelzregime;
- die Grösse der Einzugsgebiete sollen kleiner als 20 km^2 sein (wenige Ausnahmen möglich). Die Formen variieren zwischen langgestreckt und kesselförmig.
- die Bäche umfassen das ganze Bachspektrum: (mit/ohne Murgänge, mit schwacher bis starker Gerinneerosion, stabile bis instabile Böschungen, mit runsen-, Lawinen- und Rutschungsablagerungen im Bachbett, mit schwacher bis sehr starker Geschiebeführung usw.).

In der Datenbank SOLID sind die Daten von 103 Einzugsgebieten registriert *(Bild 2)*. Die Feststofffrachten werden dem BAFU von kantonalen Fachstellen und Forschungsanstalten geliefert. Sie entsprechen der in den Einzugsgebieten produzierten und von Fliessgewässern bis zu einem Geschiebesammler transportierten Feststoffvolumen. Die im Geschiebesammler abgelagerten Mengen werden mit direkten (Zählung oder Wägung der Lastwagen, die nötig sind, um den Geschiebesammler zu leeren) oder indirekten (Vermessung oder fotogrammetrische Datenaufnahme) Methoden geschätzt. Neben der abgelagerten Feststoffmenge übermitteln die datenerhebenden Stellen auch noch weitere Informationen:

- Messintervall (jährlich oder mehrjährlich);

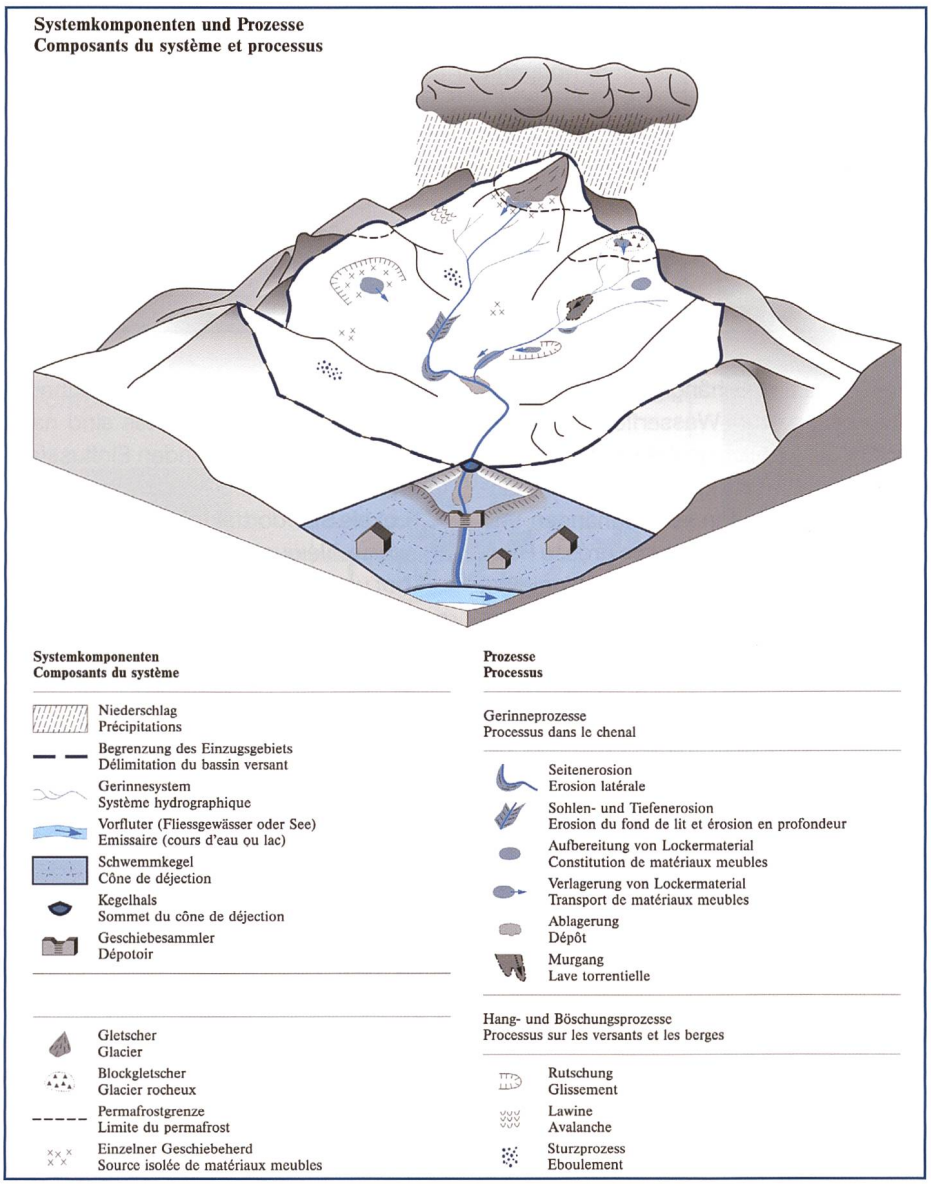

Bild 1. Einzugsgebiet mit Systemkomponenten und Prozessen zum Geschiebehaushalt (aus Grasso et al. 2010 HADES 7.8).

- Art der Ablagerung im Geschiebesammler (Einzelereignis oder mehrere Geschiebeschübe):
- auslösende Faktoren (Unwetter, Dauerregen):
- Zusammensetzung des abgelagerten Materials (Geschiebe, Schwebstoffe oder Holz/Geschwemmsel);
- Transportprozess (Geschiebetransport oder Murgang).

Die Datenbank SOLID enthält zusätzlich allgemeine Informationen zu den Geschiebesammlern, der Geologie und der Morphometrie der Einzugsgebiete und der Fliessgewässer sowie Informationen über die Bodennutzung, die Bodendeckung, das Klima und die Wiederkehrperiode der extremen Punktregen [Geiger et al. (1992) HADES 2.4; Jensen et al (1997) HADES 2.4.2].

Das von der GHO initiierte Geschiebemessnetz ist weltweit das einzige grossräumig und langzeitlich angelegte Messnetz für Feststofffrachten. Nach mehr als 20 Jahren Messbetrieb lassen sich mit Auswertungen der DB-SOLID Tendenzen und Aussagen formulieren, die über den Einfluss von geologischen und morphometrischen Parameter in den Einzugsgebieten auf die gemessenen Feststofffrachten Aufschluss geben.

3. Zusammenhang zwischen den Feststofffrachten und Einflussfaktoren der Einzugsgebiete

Den erhobenen maximalen spezifischen Jahresfrachten, die in den Geschiebesammlern abgelagert wurden, werden die morphometrischen und geologischen Parameter der jeweiligen Einzugsgebiete gegenübergestellt. Die maximale spezifische Jahresfracht kann je nach Konstellation das Resultat eines Einzelereignisses (z.B. eines Murganges) sein. Die morphometrischen Parameter wurden aus dem digitalen Gewässernetz 1:25 000 (dgn2599) entnommen. Umfassendere Auswertungen wurden für die Tafel 7.8 des Hydrologischen Atlas der Schweiz HADES (Grasso et al., 2010) gemacht. Darin sind ergänzend die mittleren spezifischen Jahresfrachten und die maximalen jährlichen spezifischen Frachten einzelner Ereignisse dargestellt.

Die Korrelationen zwischen spezifischen maximalen Jahresfrachten und typischen morphometrischen Parametern der Einzugsgebiete werden im Folgenden dargestellt.

Aus *Bild 3* wird ersichtlich, dass die maximale spezifische Jahresfracht mit zu-

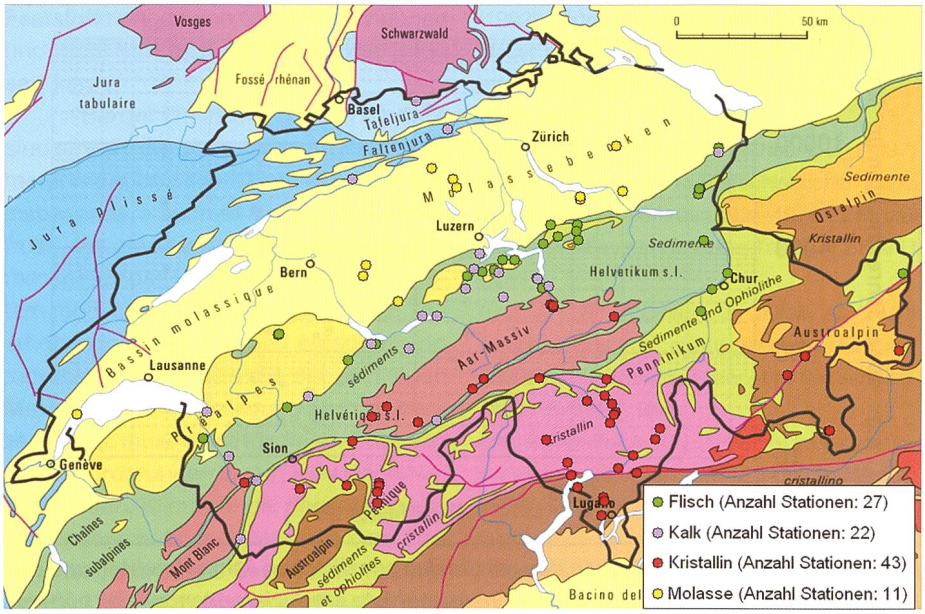

Bild 2. Messnetz für die Geschiebefrachten der Datenbank SOLID.

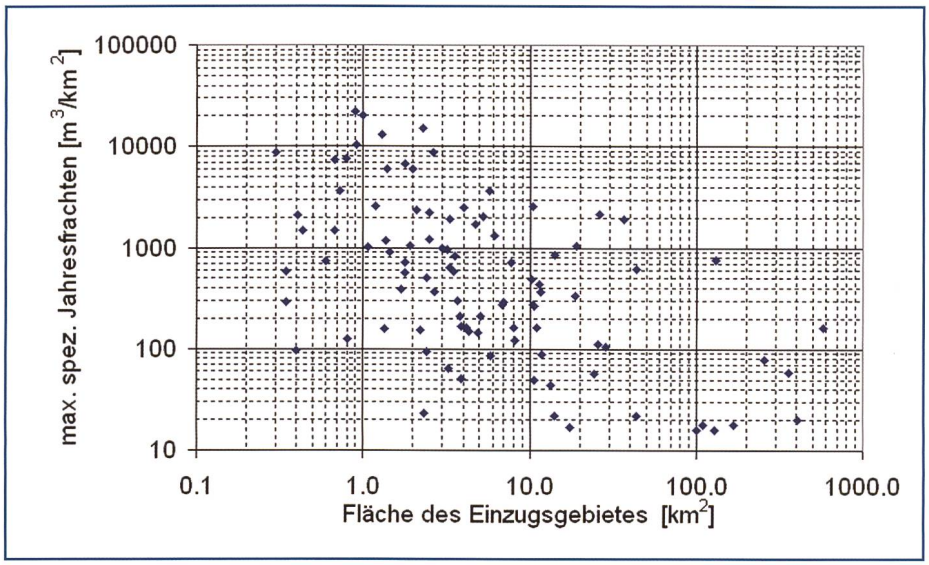

Bild 3. Zusammenhang zwischen den maximalen spezifischen Jahresfrachten und der Fläche des entsprechenden Einzugsgebietes. Mit zunehmender Einzugsgebietsfläche nimmt die maximale jährliche spezifische Kubatur tendenziell ab.

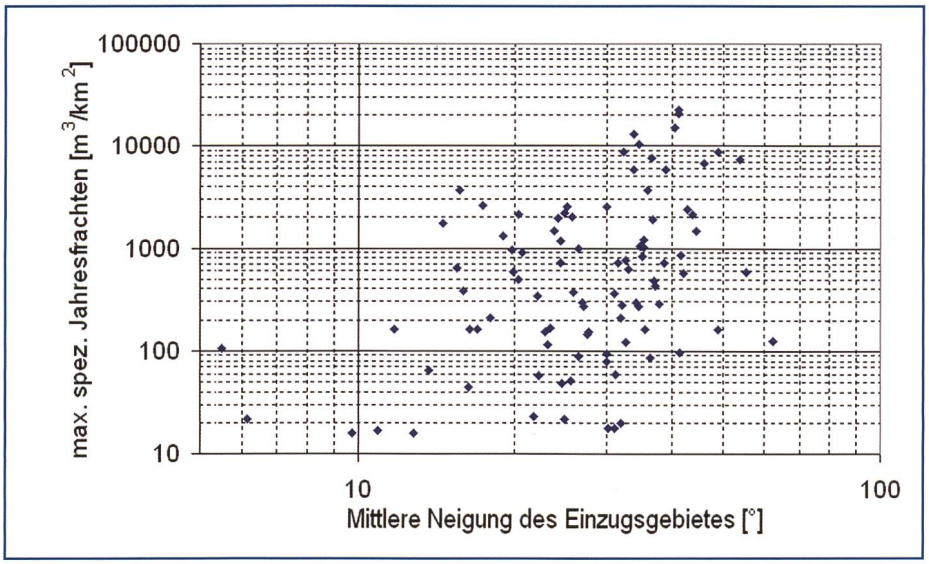

Bild 4. Zusammenhang zwischen der maximalen spezifischen Jahresfracht und der mittleren Neigung des jeweiligen Einzugsgebietes. Mit zunehmender mittlerer Neigung des Einzugsgebietes wächst die maximale spezifische Jahresfracht.

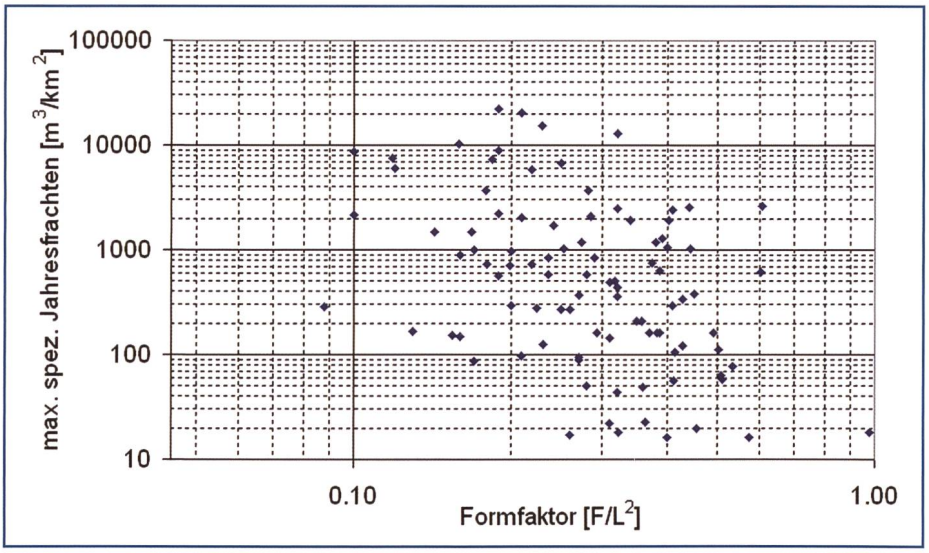

Bild 5. Zusammenhang zwischen den maximalen spezifischen Jahresfrachten und der Form des Einzugsgebietes. Längliche Einzugsgebiete produzieren tendenziell höhere maximale spezifische Jahresfrachten.

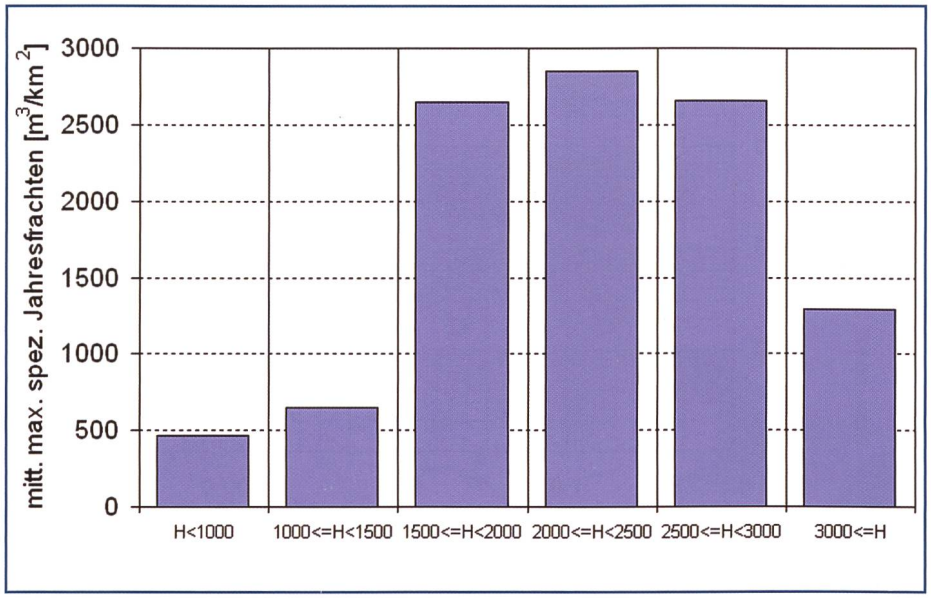

Bild 6. Die maximalen spezifischen Jahresfrachten, klassiert nach der Maximalhöhe der Einzugsgebiete.

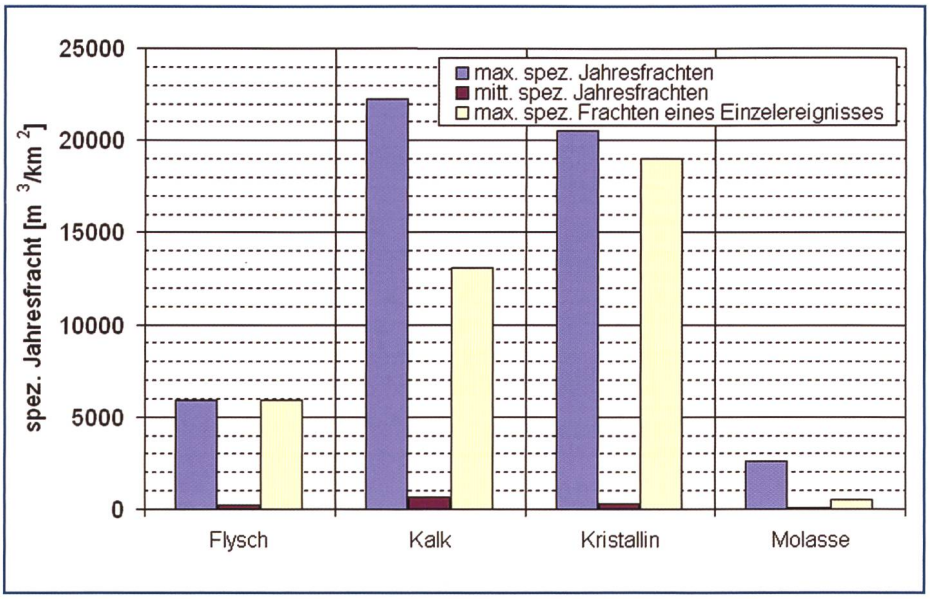

Bild 7. Die mittleren und maximalen spezifischen Jahresfrachten aus Einzelereignissen sind nach vier geologischen Klassen der Einzugsgebiete geordnet.

nehmender Einzugsgebietsfläche tendenziell abnimmt. In den grossen Einzugsgebieten sind die spezifischen Jahresfrachten geringer als in den kleinen Gebieten, da ihre mittlere Neigung im Allgemeinen kleiner ist.

Bild 4 zeigt die positive Korrelation zwischen der mittleren Neigung des Einzugsgebietes und der maximalen spezifischen Jahresfracht. Einzugsgebiete mit höheren mittleren Neigungen produzieren auch höhere maximale spezifische Jahresfrachten.

Auch die Form des Einzugsgebietes spielt eine Rolle *(Bild 5)*. Der Formfaktor berechnet sich aus der Fläche *F* und der Länge *L* des Einzugsgebietes mit der Formel F/L^2 und zeigt, ob das Einzugsgebiet eine runde ($F/L^2=1$) oder längliche ($F/L^2<1$) Form hat.

In länglichen Einzugsgebieten sind die maximalen spezifischen Jahresfrachten tendenziell höher. Der Grund liegt vermutlich darin, dass sich in solchen Einzugsgebieten der Abfluss eher auf ein Gerinne konzentriert, was zu einer grösseren Transportkraft führt.

In *Bild 6* wurden die Einzugsgebiete nach ihrer maximalen Höhenlage in Klassen aufgeteilt. Dabei ist zu beobachten, dass bei zunehmender Maximalhöhe der Einzugsgebiete bis etwa 2500 m ü.M. der Mittelwert der maximalen spezifischen Jahresfracht der Klassen zunimmt. Dies ist hauptsächlich damit zu erklären, dass mit zunehmender Maximalhöhe auch die mittlere Neigung ansteigt und, wie bereits in *Bild 4* aufgezeigt, die spezifische Fracht zunimmt. Ab einer Maximalhöhe der Einzugsgebiete von mehr als 2500 m ü.M nehmen die spezifischen Frachten wieder ab.

Diese Abminderung der spezifischen Jahresfracht mit der Höhe kann mutmasslich mit klimatischen und geologischen Faktoren erklärt werden, nämlich durch

- die Zwischenspeicherung des Niederschlags als Schnee bei einem Starkniederschlagsereignis in höheren Lagen;
- das Vorhandensein von grösseren Anteilen von anstehendem Fels, Gletscher und Permafrost im Hochgebirge und somit kein verfügbares Lochermaterial;
- die teils inneralpine Lage, wo die Niederschlagssummen im Vergleich zu den tiefer gelegenen Voralpen kleiner sind, z.B. in Staulagen.

Zurzeit bestehen jedoch keine direkten Vergleichsmessungen oder -daten, mit denen obige These erhärtet werden kann.

Je nach geografischer Ausrichtung

ist der Boden in der Schweiz oberhalb von 2300–2400 m ü.M. ständig gefroren (Permafrost) [Baumgartner, H.-J. 2007]. Der Permafrost ist für die Stabilisierung und für den Schutz der Böden vor Witterungseinflüssen von grosser Bedeutung. Es ist zu erwarten, dass auf Grund des von der globalen Erwärmung verursachten Rückzugs der Gletscher und dem Auftauen des Permafrostes und damit verbunden die Freigabe von mobilisierbarem Lockermaterial eine Zunahme der Feststofffrachten in solchen Einzugsgebieten hervorgehen wird.

Bild 7 zeigt die mittleren und maximalen spezifischen Jahresfrachten und die von Einzelereignissen produzierten Maximalfrachten in Zusammenhang mit den vier wichtigsten Lithologien (Flysch, Kalk, Kristallin, Molasse). Die mittlere spezifische Jahresfracht jeder lithologischen Klasse ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Summe der spezifischen Frachten der jeweiligen Klasse und der Summe der entsprechenden Beobachtungsjahre. Die maximale spezifische Jahresfracht jeder lithologischen Klasse entspricht der höchsten beobachteten Fracht der jeweiligen Klasse. Das Gleiche gilt für die spezifische Maximalfracht eines Einzelereignisses.

Die geologischen Klassen Kalk und Kristallin produzieren in den Schweiz die höchsten spezifischen Frachten. Dies lässt sich jedoch nicht nur mit der Lithologie der Einzugsgebiete dieser beiden Klassen erklären, sondern auch mit ihrer in der Regel höheren mittleren Hangneigung.

4. Schlussfolgerungen

Viele empirische Verfahren für die Feststofffrachtenabschätzung berücksichtigen nur wenige typische Parameter des Einzugsgebietes (z.B. Neigung des Wasserlaufs, Grösse und Geologie des Einzugsgebietes) [Bertschi et al. 2008]. Die Ergebnisse des Feststoffmonitorings bestätigen, dass sich auch weitere typische Parameter des Einzugsgebietes wie Form und Neigung und das Vorhandensein von Permafrost auf die Produktion und den Transport von Feststoffen auswirken können. Sie zeigen aber auch auf, dass die Zusammenhänge sehr komplex und von allen Parametern abhängig sind. Zukünftige Analysen mit multivariaten Statistischen Auswertungen müssen zudem auch die Ungenauigkeiten der Erhebungsmethoden berücksichtigen. Die Ansprüche an die Genauigkeit können nicht mit anderen hydrologischen Bereichen verglichen werden. Die Erfahrung zeigt, dass zurzeit bei Feststoffmengen von Grössenordnungen und nicht von exakten Zahlen die Rede sein kann.

Bei der Entwicklung neuer Modelle sind sowohl die oben präsentierten Parameter wie auch weitere Umweltparameter, insbesondere auch in Bezug auf Permafrost, mit einzubeziehen. Dabei sind die massgebenden Prozesse im Wildbachsystem möglichst genau zu beschreiben, die erhobenen Daten müssen entsprechend repräsentativ sein. Da mit der bisherigen Methodik eine Modellierung an ihre Grenzen stösst, muss diese für die kommenden Herausforderungen in den Bereichen Naturgefahren, Klimawandel und integralem Gewässerschutz angepasst werden. Das langfristig betriebene Geschiebemessnetz mit der DB-SOLID bieten hierfür eine gute Grundlage, die es zu nutzen gilt.

Dank

Wir danken den Fachstellen der Kantone Aargau, Bern, Graubunden, Nidwalden, Obwalden, St. Gallen, Schwyz, Tessin, Uri, Waadt und Wallis sowie den Forschungsanstalten VAW, WSL für ihre Unterstützung und Zusammenarbeit mit dem BAFU bei der Entwicklung, dem Unterhalt und insbesondere der Datenlieferung in die Datenbank SOLID. Weiter danken wir den Frauen Dr. E. Gertsch und Dr. J. Dobmann und Herrn Dr. Ch. Lehmann für ihre wertvollen Hinweise und die massgebliche Mithilfe beim Zusammentragen der Einzugsgebietsinformationen für die DB SOLID.

Literatur

Baumgartner, H.-J. (2007): Ganze Berghänge in Bewegung. UMWELT 2/2007: 18–20. ISSN 1424-7186

Bertschi, W., Hunziker, G., Kienholz, H., (2008): Empirische Modelle zur Geschiebefrachtenabschätzung – Kalibrierung und Eingrenzung unterschiedlicher Modelle. Interpraevent 2008–Conference Proceeding, Vol.1

D'Agostino, V., Cerato, M., Coali, R., (1996): «Il transporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino orientale». Interpraevent 1996, Tagungspublikation, Band 1, 377–386.

Gertsch, E. (2009): Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen – Ereignisanalysen und Entwicklung eines Abschätzverfahrens. Diss. Geographisches Institut der Universität Bern.

GHO (1984): Feststoffbeobachtung in schweizerischen Gewässern – Schlussbericht der Arbeitsgruppe für Feststoffbeobachtung. Bern.

GHO (1987): Die mengenmässige Erfassung von Schwebstoffen und Geschiebefrachten. Mitteilung der Arbeitsgruppe für operationelle Hydrologie (GHO), Nr. 2, Bern.

Geiger, H., Röthlisberger, G., Stehlia., Zeller, J., (1992): Extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901–1970. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz; Tafel 2.4 BAFU, Bern

Jensen, H., Lang, H., Rinderknecht, J., (1997): Extreme Punktregen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901–1970. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz; Tafel 2.4.2 BAFU, Bern

Grasso, D.A., Dobmann, J., Jakob, A., (2010): Geschiebefrachten in ausgewählten Einzugsgebieten. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz; Tafel 7.8. BAFU, Bern.

Kronfellner-Kraus, G., (1982): «Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen». Österreichische Wasserwirtschaft, 34, ½, 12–21.

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.

Tropeano, D. & Turconi L., (1999): Valutazione del potenziale detritico in piccoli bacini delle Alpi Occidentali e Centrali, CNR-IRPI /GNDCI, Pubbl. n. 2058 Linea 1, pp. 151, ottobre 1999.

Zeller, J., (1985): «Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten», Wasser Energie Luft, Vol. 77, Nr. 7/8, 246–251.

Anschrift des Verfasser

Dr. *Alessandro Grasso*, Federal Office for the Environment FOEN, Hydrology Division
CH-3003 Bern-Ittigen
Tel. +41 31 324 76 69
alessandrop.grasso@bafu.admin.ch