

EMPIRISCHE MODELLE ZUR GESCHIEBEFRACHTABSCHÄTZUNG

KALIBRIERUNG UND EINGRENZUNG UNTERSCHIEDLICHER MODELLE

EMPIRICAL MODELS FOR TOTAL BED LOAD ESTIMATION

CALIBRATION AND RANGE OF APPLICATION OF DIFFERENT MODELS

Warin Bertschi¹, Gabi Hunziker², Hans Kienholz¹

ZUSAMMENFASSUNG

Seit den frühen achtziger Jahren, wurden durch verschiedene Autoren empirische Modelle entwickelt, um die Geschiebefracht in Wildbächen bei Extremereignissen abschätzen zu können. Alle diese Modelle haben die Gemeinsamkeit, dass sie für spezifische Regionen entwickelt und angepasst wurden. Die Modelle können nur sehr schwer auf andere Gebiete übertragen werden, da keine Empfehlungen über die Parametereinstellungen für andere Gebiete gemacht werden. Die durchgeführte Studie hatte zum Ziel, Stärken und Schwächen vorhandener empirischer Geschiebeabschätzmodelle aufzuzeigen und wenn möglich auf schweizerische Verhältnisse anzupassen. Dazu wurden Empfehlungen über den Einsatzbereich und die Parameterwahl gemacht. Es konnte aufgezeigt werden, dass einfache Modelle wie dasjenige von Zeller oder Kronfellner-Kraus gleich gute Ergebnisse liefern wie komplexere Modelle mit mehr als zwei Inputparametern. Die Ergebnisse dieser Studie sollen Praktikern als Orientierungshilfe bei ihrer Feldarbeit dienen. Die Resultate sollten aber immer mit der nötigen Vorsicht und Zurückhaltung interpretiert und verwendet werden. Weiter bietet es für Personen in öffentlichen Ämtern (Fachstellen) eine Möglichkeit Geschiebeabschätzungen und Gutachten zu plausibilisieren.

Keywords: Wildbach, Geschiebeabschätzung, empirische Modelle

ABSTRACT

Since the early eighties, several empirical models for total bed load estimation during extreme events have been developed by different authors. All these models have in common that they were developed and tested on local conditions only. Therefore, they can hardly be transferred to other areas or regions because of lacking knowledge about parameter settings.

This study aims to adapt these empirical bed load estimation models for extreme events to Swiss conditions and to point out their different strengths and weaknesses. Recommendations for the application range as well as for the settings of the models will be made. It can be said,

1 University of Bern, Geographical Institute, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern, Switzerland (phone: +41-(0)31-6318859; fax: +41-(0)31-6318511; e-mail: bertschi@giub.unibe.ch, kienholz@giub.unibe.ch

2 Abteilungsleiterin Naturgefahren, Geo7 AG, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern, Switzerland (phone: +41-(0)31-3004433; fax: +41-(0)31-3027611; e-mail: gabi.hunziker@geo7.ch

that the simple models of Zeller and Kronfellner Kraus provide equally good adjustment results as more complex models (more than two parameters). The results of this study can serve practitioners as orientation guide for their fieldwork, but should be interpreted and used with the necessary care. Furthermore it could be a possibility for public authorities to control estimations or to check what type of mountain torrent it is.

Key words: mountain torrent, bed load estimation, empirical model

AUSGANGSLAGE

Im europäischen Raum werden seit den frühen 80er Jahren verschiedene empirische Modelle für die Abschätzung der Geschiebefracht in Wildbächen eingesetzt. Die Modelle sind alle in unterschiedlichen Regionen entwickelt und spezifisch angepasst worden. Dieser Umstand erschwert die Übertragung der Modelle auf andere Gebiete, da keine oder nur sehr pauschale Angaben über die entsprechenden Parametereinstellungen bekannt sind.

ZIELE

Die hier angewandte Methodik stellt keinen neuen Ansatz zur Bestimmung der Geschiebefracht (bei einem Ereignis gegebener Jährlichkeit im Schwemmkegelbereich zu erwartende Geschiebemenge [m^3]) an sich dar, sondern versucht, bestehende empirische Geschiebeabschätzmodelle ([Zeller, 1985], [Kronfellner-Kraus, 1982], [D'Agostino, 1996]) miteinander zu vergleichen und auf die Gegebenheiten in schweizerische Wildbäche anzupassen. Dabei sollen die Stärken und Schwächen der einzelnen Modelle aufgezeigt werden, die sich aus der Berücksichtigung unterschiedlicher Einzugsgebietsgrößen und Geologie ergeben.

Als Produkt dieser Arbeit liegt eine Empfehlung zur Parameterwahl, der Kalibrierung der Modelle sowie dem Anwendungsbereich der Modelle vor.

EMPIRISCHE MODELLE ZUR ABSCHÄTZUNG DER GESCHIEBEFRACHT

In der Untersuchung wurden folgende Modelle berücksichtigt:

Zeller

Das Modell nach [Zeller, 1985] besitzt neben einem wählbaren Koeffizienten nur einen variablen Parameter und stellt somit das einfachste Schätzverfahren dieser Untersuchung dar. Die ihr zugrunde liegenden Daten entstammen weitgehend den Messungen der Versuchseinrichtung Alptal (CH) (Einzugsgebietsgröße 0.75 km^2), welche von der EAFV³, bzw. heute der WSL⁴ unterhalten wird.

$$V = K * E^{0.78} \quad (1)$$

V	Geschiebefracht [m^3]
K	Koeffizient [] (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)
E	Einzugsgebietsgröße [km^2]

³ Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

⁴ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Für den wählbaren Koeffizienten gibt Zeller einen Einstellungsbereich von 17'000 ~ 27'000 vor.

Kronfellner-Kraus

Aufgrund der von [Kronfellner-Kraus, 1982] durchgeführten Analysen von grossen Feststofffrachten im österreichischen Alpenraum konnte ein Zusammenhang zwischen der Einzugsgebietsgrösse (als Mass für mögliche Hochwasserfrachten) und der in den Erosions- und Transportstrecken herrschenden Gefälleverhältnissen hergeleitet werden. Weiter wurde der Koeffizient K, welcher für die „torrentielle“ Wirksamkeit des Wildbaches zu definieren ist, eingefügt. Das Modell (2) wurde prinzipiell mit dem Ziel hergeleitet, mögliche extreme Feststofffrachten in Wildbächen ableiten zu können.

$$V = K * E * Jc \quad (2)$$

V	Feststofffracht [m ³]
K	Koeffizient [] (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)
E	Einzugsgebietsgröße [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]

Zu der Einstellung des Koeffizienten werden mehrere Vorschläge gemacht:

„Niedrige K-Werte (um 500) gelten für grosse, ausgeräumte, gut bewachsene Einzugsgebiete, hohe K-Werte (um 1500) für steile, kleine und mittlere Einzugsgebiete mit ausgedehnten Geschieberden und geringem oder anfälligem Bodenschutz.“ ([Kronfellner-Kraus, 1982])

Weiter wird ein rechnerischer Ansatz empfohlen welcher den K-Wert über die Einzugsgebietsgrösse ableitet ([Kronfellner-Kraus, 1982]):

$$K = 1750/e^{0.018 * E} \quad (3)$$

D'Agostino Nr. 1

Das Modell Nr. 1 nach [D'Agostino, 1996] verfügt neben einem frei wählbaren Koeffizienten über drei Inputparameter, welche zu erheben sind. Konzeptionell ist das Modell von D'Agostino demjenigen von [Kronfellner-Kraus, 1982] nachempfunden. Das Modell wurde aufgrund von 62 Ereignissen, welche im östlichen Trentino in den Jahren 1882 bis 1995 stattgefunden haben, entwickelt und angepasst. Die Grösse dieser Einzugsgebiete liegt zwischen 0.08 – 82.6 km².

$$V = 45 * E^{0.9} * Jc^{1.5} * IG \quad (4)$$

V	Volumen der transportierten Sedimente [m ³]
E	Einzugsgebietsgröße [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]
IG	Geologiefaktor []
45	Koeffizient (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)

Neben der Einzugsgebietsgröße und der durchschnittlichen Neigung des Hauptgerinnes, bezieht D'Agostino einen geologieabhängigen Parameter mit in das Modell ein. In den untersuchten Ereignissen konnten Zusammenhänge zur beitragenden Geologie festgestellt werden, weshalb ein geologieabhängiger Parameter (IG), der diesem Verhalten Rechnung tragen soll, definiert wurde (Tabelle 1).

Tab. 1: Übersicht über die Zuweisung der Geologiefaktoren

Tab. 1: Factors and corresponding geology

Geologiefaktor (IG)	Geologie
5	Moränenbedeckung, Schotter, Rutschungsmassen
4	Metamorphite wie Phyllite, Schiefer
3	klastische Gesteine wie Mergel, Sandsteine
2	Basaltuff, Brekzien, verwitterte Lavagesteine
1	Kalksteine
0	Porphyre, Granite, Diorite

D'Agostino Nr. 2

Das Modell Nr. 2 nach [D'Agostino, 1996] ist dem Modell D'Agostino Nr. 1 sehr ähnlich. Es wird einzig durch den Parameter Prozessfaktor ergänzt. Insgesamt werden drei Prozessarten unterschieden, diese können der Tabelle 2 entnommen werden. Die zugrundeliegenden Daten sind dieselben wie bei Modell Nr. 1.

$$V = 39 * E * Jc^{1.5} * IG * IT^{-0.3} \quad (5)$$

V	Volumen der transportierten Sedimente [m ³]
E	Einzugsgebietsgrösse [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]
IG	Geologiefaktor []
IT	Prozessfaktor []
39	Koeffizient (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)

Tab. 2: Übersicht über die Zuweisung der Prozessfaktoren

Tab. 2: Factors and corresponding processes

Prozessfaktor IT	Prozess
1	debris flow (Murgang)
2	debris flood (murgangähnlicher Geschiebetrieb)
3	bedload (normaler Geschiebetrieb)

DIE UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Für die Analysen wurden total 133 Wildbäche berücksichtigt und analysiert. Die meisten der untersuchten Wildbäche liegen im Berner Oberland und im Emmental (total 120). Weiter befinden sich neun Wildbäche im Kanton Wallis sowie vier im Kanton Tessin.

Die Auswahl der Wildbäche erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Verfügbarkeit von Feldabschätzungen (Geschiebefrachten)
- Geologie
- Größe des Einzugsgebietes

Insgesamt verteilen sich die 133 Untersuchungsobjekte auf die vier Geologiegruppen Kristallin (13), Kalk (41), Molasse (32) und Flysch (47).

DATENAUFBEREITUNG

Vergleichs- und Kalibrierwerte

Die weiter oben beschriebenen Modelle wurden ursprünglich alle zur Abschätzung von extremen Geschiebefrachten entwickelt. Entsprechend liefern sie bei ihrer Anwendung sehr große Geschiebefrachten. Um die Modelle auf schweizerische Wildbäche anpassen zu können, wurde eine Vergleichs- und Kalibrierreihe erstellt, an welcher die Modelle geeicht wurden.

Als Vergleichsgröße wurde die sogenannte 100 jährliche Geschiebemenge verwendet, welche gutachterlich bei Feldbegehungen abgeschätzt wurde (Feldabschätzung).

AUSWERTUNGSVERFAHREN

Gruppenbildung

Zur Verbesserung der Kalibrierungsmöglichkeiten, wurde innerhalb der Geologie-Gruppe „Kalk“ und „Flysch“ eine Unterteilung in „murfähige Wildbäche mit relevantem Rutschungseinfluss“ und „geschiebeführende Wildbäche“ vorgenommen.

In der Gruppe Kristallin konnte diese Unterteilung aufgrund der zu kleinen Stichprobe nicht gemacht werden. In der Gruppe „Molasse“ erwies sich der Einfluss von Rutschungen als zu wenig prozessrelevant.

Anpassungsverfahren

Wie bereits erwähnt, verfügt jedes Modell über einen Koeffizienten, über welchen die Modelle kalibriert werden können. Die Berechnung des Kalibrierwertes ergibt sich aus dem Vergleich der Resultate aus den Modellberechnungen mit den Feldabschätzungen.

Dies geschieht mittels eines iterativen Rechenvorgangs, über welchen der Einstellungskoeffizient des jeweiligen Modells solange verändert wird, bis die aufsummierte Differenz aus Feldabschätzung und Berechnung Null ergibt. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Modellwerte in die Kalibrierwerte eingemittelt werden.

Um die im Kapitel Resultate präsentierten Resultate besser nachvollziehen zu können, wird im Folgenden das Auswertungsverfahren beispielhaft näher erläutert.

Güte der Korrelation zwischen Abschätzung und Berechnung

Nachdem für jede Untersuchungsgruppe ein mittlerer Anpassungskoeffizient berechnet wurde, wird mittels der Korrelationsstärke zwischen Feldabschätzung (Kalibrierwerte) und Berechnung (Modelle mit angepassten Koeffizienten) die Anpassungsqualität überprüft (siehe

Abbildung 1). Je ähnlicher sich Berechnung und Feldabschätzung sind, desto stärker ist der lineare Zusammenhang ausgeprägt und desto besser vermag das Modell die Feldabschätzungen nachzuvollziehen.

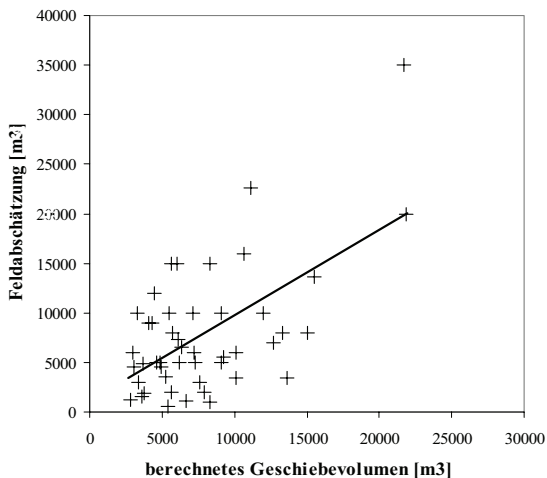


Abb. 1: Beispiel einer visuell gut ausgebildeten Korrelation zwischen Berechnung (Zeller) und Feldabschätzung der Geologiegruppe Flysch

Fig. 1: Example of a strong correlation between calculation (Zeller) and estimation (“Flysch” geology)

Relative Abweichungen zwischen Abschätzung und Berechnung

In Abbildung 2 verdeutlichen die mittleren relativen Differenzen wie groß die Abweichungen zwischen Feldabschätzung (Kalibrierwert) und Berechnung (Modelle mit angepassten Koeffizienten) sein können.

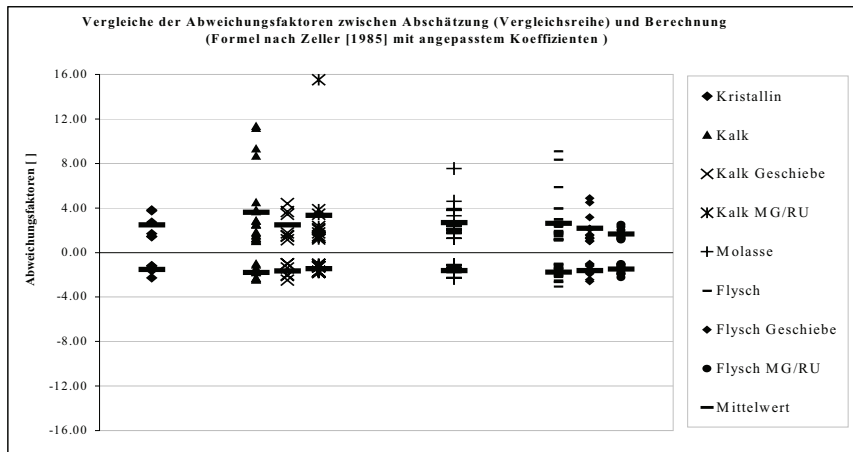


Abb. 2: Übersicht über die positiven bzw. negativen Differenzfaktoren bei Verwendung der Formel nach Zeller

Fig. 2: Overview of the positive and negative difference factors by using the Zeller formula

Die positiven Abweichungsfaktoren zeigen auf, um welchen Faktor die Berechnungswerte über den Feldabschätzungen liegen. Die negativen Faktoren verhalten sich entsprechend gegenläufig. Ein Faktor von +2 bedeutet beispielsweise, dass für einen spezifischen Wildbach die Berechnung doppelt so groß ausgefallen ist wie die Feldabschätzung (siehe Abbildung 2).

RESULTATE

Korrelationskoeffizient

Beim Vergleich der Korrelationskoeffizienten zwischen den im Feld abgeschätzten und berechneten Werten fällt auf, dass die Resultate der Modelle, einen ähnlichen Verlauf aufweisen. So weisen die Modelle in den Gruppen Kristallin, Kalk und Molasse vermehrt signifikant lineare Zusammenhänge auf. Gegenteiliges ist in der Gruppe Kalk Geschiebe oder in den Flysch Gruppen zu erkennen. Weiter kann festgestellt werden, dass die Modelle von Zeller und Kronfellner-Kraus relativ konstant gute Anpassungsergebnisse liefern und die Modelle von D'Agostino weniger häufig signifikante Resultate liefern. Augenfällig ist auch, dass sich die beiden Modelle von D'Agostino fast identisch verhalten (siehe Abbildung 3).

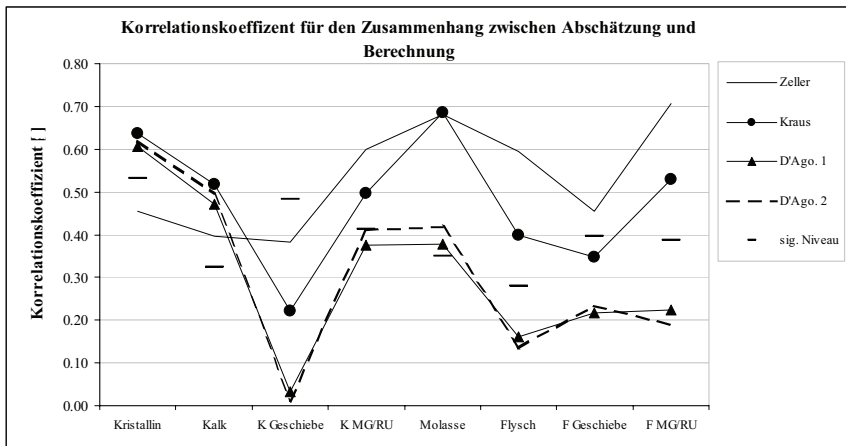


Abb. 3: Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Feldabschätzung und Berechnung pro Geologiegruppe

Fig. 3: Correlation between field estimation and calculation for each geology

Abweichungsfaktoren

Die Abweichungsfaktoren zeigen auf, um welchen Faktor die Berechnungen im Durchschnitt über bzw. unter den Feldabschätzungen zu liegen kommen.

Im Mittel über alle Gruppen gesehen weist das Modell von Zeller die geringsten positiven und negativen Abweichungsfaktoren auf. Es stellt damit im Schnitt die beste Anpassung der Berechnungen an die Feldabschätzungen dar (siehe Abbildung 4).

Die mit dem Modell von Kronfellner-Kraus berechneten relativen, mittleren Abweichungen bilden im Schnitt über alle Gruppen gesehen die zweithöchsten negativen Werte aus. Sie liegen somit gleich hinter der Methode Zeller.

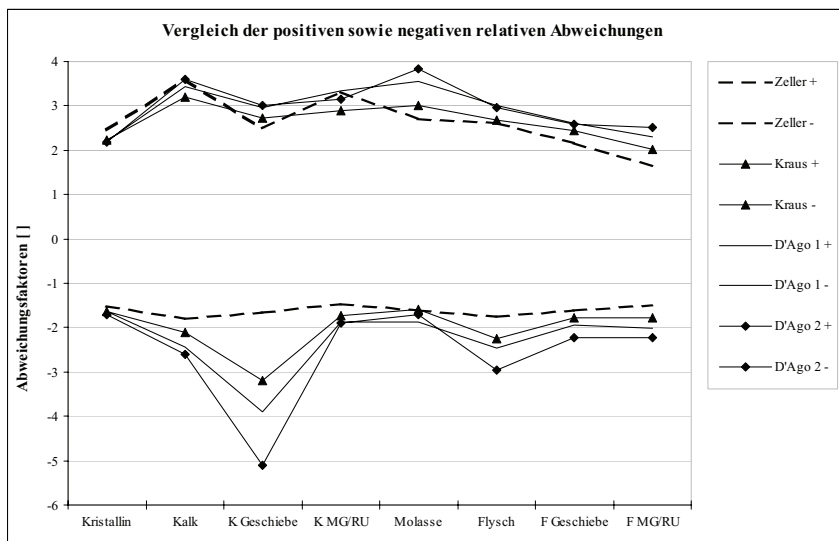


Abb. 4: Vergleich der positiven und negativen relativen mittleren Abweichungen zwischen Feldabschätzung und Berechnung

Fig. 4: Comparison of positive and negativ-relativ-mean differences between field estimation and calculation

In Tabelle 4 sind die berechneten Koeffizienten aufgeführt, welche zur Anpassung der Modelle jeweils verwendet wurden.

Tab. 3: Übersicht über die berechneten Koeffizienten

Tab. 5: Overview of the calculated values

Gruppe	Koeffizient Zeller	Koeffizient Kronfellner-Kraus	Koeffizient D'Agostino I	Koeffizient D'Agostino II
Kristallin	5745	110	42	36
Kalk	3301	87	17	12
Kalk Geschiebe	1304	54	12	12
Kalk MG/RU	4515	103	18	17
Molasse	2174	183	21	26
Flysch	3412	104	6	5
Flysch normal	1841	54	3	3
Flysch MG/RU	4699	149	8	8

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Analyse der Modelle [Zeller, 1985], [Kronfellner-Kraus, 1982] und [D'Agostino, 1996] hat aufgezeigt, dass die zur Abschätzung von seltenen bzw. extremen Geschiebefrachten entwickelten Modelle, für die Berechnung von 100-jährlichen Geschiebefrachten dem schweizerischen Alpen- bzw. Voralpenraum angepasst werden können. Jedes Modell ist so flexibel, dass es auf jeweilige geologiespezifische Geschiebevolumenniveau eingestellt werden kann.

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass im Durchschnitt über alle Gruppen die Modelle von Zeller bzw. Kronfellner-Kraus die besten Anpassungsergebnisse liefern. Diese Modelle verfügen über einen bzw. zwei zu definierende Inputparameter. Betrachtet man aber die Resultate der einzelnen Geologiegruppen, kann festgestellt werden, dass auch Modelle mit mehr als zwei Inputparametern in der Lage sind, gute Ergebnisse zu liefern.

Daraus kann geschlossen werden, dass im Prinzip jedes Modell für einzelne Geologiegruppen in der Lage ist, ein gutes Anpassungsergebnis zu liefern. Der Schluss, dass ein Modell, welches viele Inputparameter berücksichtigt und entsprechend mehr Informationen beinhaltet, auch bessere Ergebnisse liefert, kann nicht bestätigt werden. Vielmehr ist eine geologiespezifische Betrachtung angebracht.

In den Gruppen Kalk und Flysch, in denen eine Unterteilung in Subgruppen aufgrund der Datenlage möglich war, verringern sich die Abweichungsfaktoren teilweise. Das heißt, dass mit prozessspezifischen Kenntnissen eine verbesserte Berechnung möglich ist.

Ob aufgrund der hier untersuchten empirischen Modelle und der vorgeschlagenen Koeffizienteneinstellungen eine verbesserte Geschiebeabschätzung möglich ist, lässt sich nur zum Teil beantworten. Beim Betrachten der Abweichungsfaktoren kann festgestellt werden, dass diese je nach Geologie im Schnitt bei einem Wert von 2 bis 3 oder -1.5 bis -2.5 liegen. Bei Verwendung der hier vorgeschlagenen Einstellungen ist eher mit einer Über- als einer Unterschätzung zu rechnen. Die errechneten mittleren Abweichungsfaktoren machen deutlich, dass mit z.T. großen Abweichungen zwischen Abschätzung und Berechnung zu rechnen ist, was ein vorsichtiges Verwenden dieser Modelle voraussetzt.

FAZIT

Die sich in einem Wildbach abspielenden Prozesse lassen sich nur stark vereinfacht in einem Modell abbilden und nicht alle beeinflussenden Faktoren können erfasst und berücksichtigt werden.

Die Geschiebevolumen-Berechnung mit empirischen Modellen macht deutlich, dass trotz den vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten der Modelle grosse Abweichungen zu den im Feld abgeschätzten Geschiebevolumen festgestellt werden können.

Trotzdem können die Ergebnisse dieser Modellberechnungen bei der Beurteilung eines Wildbaches als Orientierungshilfe dienen, müssen aber mit der nötigen Sorgfalt und der Berücksichtigung weiterer Informationen interpretiert und verwendet werden.

LITERATUR

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

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

Zeller, J., (1985): „Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten“, wasser, energie, luft, Vol. 77, Nr. 7/8, 246-251.