

# Analyse und Evaluierung von gebräuchlichen empirischen Ansätzen zur Hochwasserabschätzung in Wildbächen

K. HAGEN<sup>1</sup>, E. GANAHL<sup>2</sup>, J. HÜBL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen*

*Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Wien*

<sup>2</sup>*Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien*

**Kurzfassung.** Um die Auswahl aus der Fülle der bestehenden Rechen- und Modellierungsansätze zur Abschätzung von Abflussspitzen in Wildbacheinzugsgebieten zu erleichtern, werden in einem ersten Schritt einfache und derzeit gebräuchliche Ansätze praxisorientiert evaluiert. Basis bildet die Analyse der Originalliteratur, der Vergleich mit langjährigen Messreihen aus ausgewählten Testgebieten und die Erfahrungen der Praktiker. Analyse und Ergebnisse werden für jeden Ansatz in kompakter und systematischer Form dargestellt. Eingangsparameter werden hinsichtlich ihrer Eignung, des notwendigen Erhebungsaufwandes und der Bedeutung im Ansatz untersucht, um einen optimierten Ressourceneinsatz zu ermöglichen.

**Schlüsselworte:** Wildbach, Hochwasser, Hydrologie, Faustformel, Modellierung

**Abstract.** [Analysis and Evaluation of Commonly Used Empirical Approaches for Flood Assessment in Torrents.] In order to facilitate the assessment of peak flows in torrent catchments, we have evaluated commonly used and simple approaches for practical application. The study is based on the analysis of original literature, the comparison with measuring series over many years and the experience of practitioners. Analyses and results are presented in a compact and systematic manner. Input parameters are examined for suitability, necessary effort and importance in the approach, in order to guarantee the best possible use of our resources.

**Keywords:** Torrent, flood, hydrology, empirical formula, modeling

---

## 1. Einleitung

Die Planung von Schutzmaßnahmen, Gutachtertätigkeiten und die Gefahrenzonenplanung erfordern im Bereich der Wildbachverbauung die Ermittlung von Bemessungsabflüssen. Neben (meist nicht verfügbaren) Abflussmessungen und Ereignisanalysen werden dazu auch Formeln und Modellierungen herangezogen. Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts wurde begonnen, empirische Formeln Wildbäche zu entwickeln. Statistische und regionalspezi-

fische Ansätze kamen ab Mitte des 20. Jahrhunderts dazu und ab Ende des 20. Jahrhunderts setzte eine lebhaftere Entwicklung im Bereich EDV-gestützter deterministischer Modelle ein.

Die empirischen, aber auch die deterministischen Ansätze wurden überwiegend auf Basis von Beobachtungen in Flusseinzugsgebieten entwickelt und meist danach für die Anwendung in Wildbacheinzugsgebieten adaptiert.

Für den Praktiker stellt sich zunehmend die Frage, welche der unterschiedlichen Ansätze im Spannungsfeld knapper Ressourcen und steigender

Qualitätsansprüche geeignet sind, die geforderten Informationen zu liefern. Unklar ist oft auch, wie sich Unschärfen von Eingangsparametern auf die Qualität (Streubreite) der Ergebnisse bei den einzelnen Ansätzen auswirken bzw. welchen Qualitätsgewinn ein erweiterter Erhebungsaufwand bringen kann.

Um dem bestehenden Informationsdefizit entgegen zu wirken, befassten sich in den letzten Jahren bereits einige Arbeiten mit diesem Thema (z.B. für die Schweiz: Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Spreafico et al. 2003). In Österreich ist diesbezüglich das ETALP (Erosion, Transport in Alpinen Systemen) Kompendium (2004) zu nennen, das die vorliegende Arbeit besonders hinsichtlich einfacher, derzeit (noch) gebräuchlicher Ansätze unter besonderer Betonung der systematischen Bewertung ergänzen soll. Die Arbeit stützt sich dabei auf drei Informationsquellen:

- Beschreibung der Datengrundlagen, auf deren Basis die Ansätze entwickelt wurden,
- langjährige Messreihen ausgewählter Testgebiete für eine (eingeschränkte) systematische Evaluierung von Parametern und Ergebnissen,
- Erfahrungen von Praktikern.

## 2. Ziele

Die Arbeit verfolgt primär das Ziel, dem Praktiker im Bereich der Wildbachverbauung eine möglichst objektive, systematische und nachvollziehbare Hilfe für Wahl und Einsatz von Verfahren zur Ermittlung von Spitzenabflussereignissen anzubieten. Dieses übergeordnete Ziel gliedert sich in Teilziele:

1. Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Verfahren und Ansätze unter Beachtung von **Aufwand und Ergebnisqualität**. Die einzelnen Ansätze sollen hinsichtlich folgender Entscheidungskriterien systematisch darstellen:
  - Art und Qualität der Datengrundlagen, auf deren Basis die Ansätze entwickelt wurden mit dem Ziel, gebietspezifische Einschränkungen (z.B. Einzugsgebietsgröße) abzuleiten, regionale Eignungen zu erkennen und darzustellen.
  - Vergleich des notwendigen Aufwandes (Ressourcen, Gebietsinformationen, Know-how) der einzelnen Ansätze.
  - Einschätzung der zu erwartenden Ergebnisse hinsichtlich der Art der Aussage und voraus-

sichtlicher Qualität auf Basis eines systematischen, nachvollziehbaren Bewertungsansatzes.

2. Unterstützung bei der **Anwendung** von Ansätzen und der **Ergebnisinterpretation**. Systematisch dargestellt werden sollen die
  - Formel- und Modellierungsgrundlagen (Originalliteratur) um das Verständnis für die Anwendung und die Ergebnisinterpretation zu vertiefen. Insbesondere bei älteren Ansätzen sind die zugrunde gelegten Szenarien und Ausgangsdaten meist unbekannt und die errechneten Werte für Hochwasserspitzen hinsichtlich ihrer Jährlichkeit nicht eindeutig interpretierbar.
  - Aussagekraft und Eignung von (Eingangs-) Parametern hinsichtlich Sensivität (Robustheit), Zuverlässigkeit und Nachvollziehbarkeit um ihre Bedeutung für den einzelnen Ansatz zu zeigen und die Anwendung zu unterstützen (optimierter Ressourceneinsatz).

## 3. Anwendung

Der sinnvolle Einsatz von Formeln und Modellen setzt die grundsätzliche Erreichbarkeit der gesetzten Ziele mit den gewählten Methoden und vorhandenen Mitteln voraus. Die Anforderungen an Art und Qualität der Ergebnisse müssen vorab mit den erforderlichen materiellen bzw. personellen Ressourcen abgewogen werden, um die Auswahl eines geeigneten Verfahrens zu ermöglichen. Besonders die „anspruchsvolleren“ Modellansätze bringen nicht nur Ergebnisse für die Planungs- und Gutachtertätigkeit, sondern können den Praktiker bei der Abschätzung von Abfluss- und Erosionsprozessen auch indirekt unterstützen. So sind Berechnungsergebnisse, die deutlich hinter den Beobachtungen zurück bleiben, oft ein Hinweis auf ausgeprägte, wildbachspezifische Prozesse (z.B. überdurchschnittlicher Geschiebetransport).

Die Auswahl einer oder mehrerer geeigneter Ansätze nach regionalspezifischen Kriterien kann erfolgen, wenn die Frage nach der grundsätzlichen Anwendbarkeit des Ansatzes in der betreffenden Region bzw. unter den gegebenen Rahmenbedingungen beantwortet ist. Die Entscheidung für die Anwendung eines Ansatzes richtet sich primär nach der zu erwartenden **Qualität** der Ergebnisse und dem damit verbundenen **Aufwand**. Diese Entschei-

**Tabelle 1:**  
**Grundlagen der Verfahren - Überblick**

Grundlagen			
Ergebnis	Aussagekraft	Anwendung	Einzugsgebiet (km <sup>2</sup> )
HHQ (größter Hochwasserabfluss)	Richtwerte (Hüllkurven)	Abschätzung	größer als ... km <sup>2</sup>
HQ (Hochwasserabfluss ohne Jährlichkeit)	Abflusskennwerte	Bemessung	kleiner als ...km <sup>2</sup>
HQ <sub>n</sub> (Hochwasserabfluss mit der Jährlichkeit <sub>n</sub> )	keine Angaben	Prognose  keine Angaben	von ... bis ...km <sup>2</sup>  keine Angaben

dungskriterien werden in der vorliegenden Arbeit durchgehend und transparent bewertet.

Die Anwendung bzw. Anpassung der einzelnen Verfahren erfordert stets die Überprüfung der Rechenergebnisse vor Ort anhand von Ereignisdokumentationen, Chroniken und stummen Zeugen (vgl. Abbildung 4). Alle in diesem Rahmen vorgestellten Berechnungsverfahren geben definitionsgemäß die Abflussspitzen von ungestörten Abflüssen nach extremen Niederschlägen wieder. Allfällige auf andere Ursachen zurückzuführende höhere Abflussspitzen wie z.B. durch Verkläuserung müssen natürlich aufgrund gänzlich verschiedener Prozessabläufe gesondert und „in situ“ beurteilt werden. Tatsächlich scheint jedoch in vielen Ansätzen durch die gewählte Datenbasis ein „versteckter“ Zuschlag für prozessbedingte, höhere Abflussspitzen enthalten zu sein.

#### 4. Methodik

Die Darstellung der einzelnen Rechen- und Modellansätze basiert auf folgenden Grundlagen:

- der Analyse der Originalliteratur,
- der Nachrechnung in Testgebieten und
- den Erfahrungen der Praxis.

Die unterschiedlichen Informationsquellen erfordern verschiedene methodische Vorgangsweisen.

##### 4.1 Analyse der Originalliteratur

Bei der Analyse der Modelle werden die Datengrundlagen und die Methoden der empirischen Ansätze anhand der Originalliteratur aufgezeigt, auch um Hinweise auf die zu Grunde liegende Topographie, Gebietsgrößen etc. zu identifizieren. Die einzelnen

Modellparameter sowie die Ergebnisse der Ansätze werden beurteilt. Es soll gezeigt werden, wie genau sie definiert und als wie zuverlässig ihre Anwendung aus diesem Blickwinkel heraus eingeschätzt werden kann.

Da die Verfahren für bestimmte Anwendungsbereiche und Einzugsgebietsgrößen entwickelt wurden, ist die Beschreibung der verwendeten Datensätze von großer Bedeutung. Alleine eine unterschiedlich erhobene Datenbasis kann in ein und demselben Gebiet zu recht verschiedenen Modellannahmen führen. Auch die Charakterisierung der herangezogenen Untersuchungsgebiete (z.B. Region, Größe, Topographie, Klima, Geologie, Vegetation), in denen die Ansätze entwickelt wurden, ist zwar von großer Bedeutung, sie geht aber aus der Originalliteratur vielfach nicht klar hervor. Die möglichen Einsatzbereiche der Formeln können daher auf diese Weise nur insoweit eingegrenzt bzw. beurteilt werden, als diesbezügliche Angaben verfügbar waren.

Die systematische Darstellung der grundlegenden Informationen zu jedem Ansatz zeigt Tabelle 1.

##### 4.1.1 Ermittlung der Parameter

Die verschiedenen Ansätze setzen sich aus einem oder mehreren Parametern zusammen. Bei einigen Formeln ist die Einzugsgebietsfläche der einzige Parameter (Einzelparameter). Die Parameter können aber auch aus einer Kombination von mehreren Gebietskenngrößen wie Höhenlage, Vegetation oder Neigung bestimmt sein. Generelle Definitionen wie sie z.B. bei Parametern der Formeln von Iszkowski (1886) oder Lauterburg (1887) vorliegen, erlauben nur eine pauschale Schätzung. In diesem Fall spricht man von einem empirischen Schätzparameter (Mischparameter).

##### 4.1.2 Parameter-Kategorien

- **Inputparameter** beschreiben die von „außen“ auf das Wildbachsystem einwirkenden Größen (Niederschlag).

- **Modellparameter** erfassen die Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet. Enthalten sind in jedem Ansatz zumindest einfache topografische Informationen (Einzugsgebietsfläche, Pauschaldifferenzierungen für bestimmte Regionen (Hochgebirge - Mittelgebirge - Hügelland). Hydrologisch relevante Informationen gehen über die Parameter Bodentypen/-arten oder die Vegetationsbedeckung in viele Formeln und alle Modellansätze ein. Der Oberflächen- und Gerinneabfluss wird teilweise über hydraulische Parameter wie den Rauigkeiten nach Strickler berücksichtigt.
- **Output(parameter)** sind die Ergebnisse der einzelnen Verfahren wie z.B. Abflusskennwerte ( $HQ_n$ ). Beim Laufzeitverfahren ist die Fließzeit das Ergebnis, mit dem (iterativ) andere Parameter (Niederschlagsdauer und Niederschlagsintensität) angepasst werden.  
Zu den Abflusskennwerten gibt es meist keine konkreten Angaben hinsichtlich des Geschiebeanteiles. Deshalb können höhere Geschiebeanteile, wie sie in Wildbächen meist vorkommen, nur unterstellt werden, wenn es Hinweise dazu in der Literatur gibt. Melli (1924) geht z.B. bei der Dimensionierung von Kanälen von einem geringen Geschiebeanteil aus, der bereits im Ansatz inkludiert ist.

#### 4.1.3 Grundlagen-Informationen

Zur Ermittlung eines Parameters werden oft Daten verschiedener Quellen benötigt. Bei Erhebungen im Gelände bieten sich als Datengrundlage nach wie vor diverse Karten an. Die Erhebung topografischer Parameter (z.B.  $A_E$ , I, SH) erfolgt aber zunehmend mit Geoinformationssystemen.

- Niederschlags- und Abflussmessungen stehen von den einzelnen Einzugsgebieten meist nicht zur Verfügung und müssten zudem mit großem Aufwand kontrolliert und ausgewertet werden, bevor sie in einem Modell verwendet werden können.
- Im Hydrologischen Atlas Österreichs (BMLFUW 2003) sind Abschätzungen konvektiver Starkniederschläge verschiedener Jährlichkeiten und Dauerstufen flächendeckend vorhanden.
- Beobachtungen und Felderhebungen sind für die Bestimmung der Infiltrationswerte (CN Werte) und Rauigkeiten der Böden erforderlich. Die Angaben in der Literatur divergieren teilweise stark und sind unvollständig - so gibt es z. B. für Schipisten keine CN-Werte.

#### 4.1.4 Erhebungskriterien

Die präzise Definition der Parameter ist Voraussetzung für die korrekte Erhebung. Es ist daher wichtig, dass die Parameter eindeutig und verständlich beschrieben sind, da sich die Bedeutung von Begriffen mit der Zeit ändern kann. Zahlreiche Formeln wurden vor Jahrzehnten entwickelt, darauf basierende Weiterentwicklungen definieren z.B. gleich benannte Parameter anders; man denke nur an den Begriff der Konzentrationszeit (vgl. Kapitel 6.1.3 Konzentrationszeit und Laufzeitverfahren).

Die objektive, nachvollziehbare und homogene Erhebung und Ermittlung von Parametern erfordert eine entsprechende Beschreibung der Erhebungsmethoden bzw. Datengrundlagen. Der Kartenmaßstab ist z.B. für die Erhebung der Gerinnetichte von Bedeutung (vgl. Ansatz nach Koella [1986]).

Der Erhebungsaufwand zur Bestimmung der benötigten Modellparameter ist ein wesentliches Kriterium, ob Verfahren zur Anwendung kommen. Neuere Modellansätze stellen in dieser Hinsicht meist hohe Anforderungen. Teilweise sind abgefragte Gebietsinformationen mit dem derzeitigen Stand des Wissens trotz hohem Aufwand nicht oder nicht in ausreichender Genauigkeit ermittelbar. Eine hohe Komplexität von zu erhebenden bzw. abzuschätzenden Parametern erschwert dem Praktiker die Anwendung entsprechender Modelle bzw. es wird die erwartete Ergebnisqualität häufig nicht erreicht.

#### 4.1.5 Qualitätskriterien

Der Aussagewert eines Parameters kann danach beurteilt werden, wie genau er erfasst und wie hoch der Aussagewert des Parameters innerhalb des Ansatzes ist. Gebietsinformationen fließen als Parameter unterschiedlicher Form, Gewichtung und Bestimmbarkeit in die Formelansätze ein. Die Einzugsgebietsfläche kann z.B. mittels Höhenschichtlinien kartographisch einfach und relativ genau ermittelt werden. Als einziger Parameter innerhalb eines Formelansatzes ist der Aussagewert der Einzugsgebietsfläche aber gering, da weder die Niederschlags- noch die Abflussverhältnisse des Einzugsgebietes berücksichtigt sind.

#### 4.1.6 Bewertung der Parameter

Die Bewertung der präzisen Definition eines Parameters erfolgt über die Datengrundlagen. Der Parameter gilt erst dann als präzise definiert, wenn die Datengrundlagen für die Erhebung eines Parameters definitionsgemäß vorhanden sind bzw. ermittelt werden können.