Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 95 (2003)
Heft: 1-2

Artikel: Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten
Autor: Barben, Martin / Weingartner, Rolf / Spreafico, Manfred
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939432

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: 13.07.2025

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

Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten

■ *Martin Barben, Rolf Weingartner und Manfred Spreafico*

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) veröffentlicht in diesen Tagen den Bericht Nr. 4 aus der Serie «Berichte des BWG, Serie Wasser». Der Bericht trägt den Titel «Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten». Er stellt die in der Schweiz häufig zur Anwendung gelangenden Verfahren und Modelle dar, zeigt Strategien auf, welche Verfahren, Modelle bzw. Verfahrensgruppen in Abhängigkeit der Datenlage und der Fragestellung eingesetzt werden können, und diskutiert anhand von Fallbeispielen konkrete Anwendungen. Integrierende Bestandteile der Praxishilfe sind zwei Programmpakete, welche die Bestimmung der Hochwasserabflüsse in ungemessenen mittelgrossen sowie kleinen Einzugsgebieten unterstützen.

Als wichtige Ergänzung zur neuen Publikation führt das BWG am 24. und 25. April 2003 im Raum Huttwil/Sumiswald einen ersten Ausbildungskurs zur Hochwasserabschätzung durch.

Der Schwerpunkt der so genannten Praxishilfe liegt bei der Hochwasserabschätzung in Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen. Der vorliegende Artikel geht aus diesem Grund ausführlich auf diesen – für die Schweiz typischen – Fall ein.

Inhaltsübersicht der Praxishilfe

- Einleitung
- Methodenübersicht
- Grundlagen zu den Abflussbildungsprozessen
- Hochwasserabschätzung basierend auf Abflussmessungen
  Niederschlag-Abfluss-Modelle/Extremwertstatistik/Ausserordentliche und extreme Hochwasser
- Hochwasserabschätzung ohne Einbezug von Abflussmessungen
  Mittelgrosse Einzugsgebiete (10–500 km^2)/Kleine Einzugsgebiete (<10 km^2)/ Massstabsübergreifende Methoden (1–500 km^2)

Tabelle 1.

An der Praxishilfe beteiligte Personen und Institutionen

Die Realisierung des neuen BWG-Berichtes wurde von einer Expertengruppe begleitet, deren Mitglieder Text- und/oder Diskussionsbeiträge geliefert haben. Die Expertinnen und Experten stammen aus den Bereichen Bund, Kantone, Hochschulen und Praxis.

Spreafico M. (Leitung), Bundesamt für Wasser und Geologie
Barben M., Geografisches Institut Universität Bern
Burlando P., Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETHZ
Dändliker P., Kanton Solothurn
Hegg C., Eidg. Forschungsanstalt WSL
Hodel H.-P., Bundesamt für Wasser und Geologie
Hohl P., Canton Vaud
Jordan J.-P., Bundesamt für Wasser und Geologie
Kan C., Bundesamt für Wasser und Geologie
Musy A., Département de Génie Rural, EPFL
Niggli M., Département de Génie Rural, EPFL
Ryser A., Hunziker, Zarn und Partner
Scherrer S., Scherrer AG
Schilling M., Hunziker, Zarn und Partner
Vogt S., Eidg. Forschungsanstalt WSL
Weingartner R., Geografisches Institut, Universität Bern

Tabelle 2.

1. Die neue Praxishilfe zur Hochwasserabschätzung

1.1 Ausgangslage

Die unzähligen Hochwasserereignisse, von denen die Schweiz in den letzten Jahren betroffen war, zeigen, dass die Entscheidungsträger nach wie vor gefordert sind, einen optimalen Schutz des Lebensraumes zu gewährleisten. Die Anforderungen an die Hochwasserpraxis sind mit dem neuen Bundesgesetz über den Wasserbau vom 21. Juni 1991 sogar weiter gestiegen. Im Gegensatz zu früher, wo der 100-jährliche Abfluss im Mittelpunkt stand, werden mit der so genannten Differenzierung der Schutzziele auch Abschätzungen von Spitzenabflüssen mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden benötigt.

Die Hochwasserhydrologie in der Schweiz blickt auf eine reiche Vergangenheit mit Wurzeln im 19. Jahrhundert zurück. Im Laufe der Zeit wurde eine Vielzahl von Verfahren und Modellen erarbeitet, die es erlaubt, wichtige Hochwasserparameter, insbesondere die Hochwasserspitzenabflüsse, abzuschätzen. Diese hydrologischen Informationen sind wesentliche Grundlagen für die Hochwasserbemessung (vgl. Bild 1).

1.2 Wo liegen die Probleme?

Es ist naheliegend, dass in Anbetracht der unterschiedlichen Gegebenheiten bezüglich Schutzzielen sowie der verfügbaren zeitlichen und finanziellen Mittel für die Entscheidungsfindung kein Modell gefunden werden kann, welches für alle Fragestellungen das optimale Resultat liefert. Es stellt sich deshalb das Problem, welches Modell man in der Praxis für eine konkrete Fragestellung einsetzen soll. Kosten-Nutzen-Überlegungen spielen dabei eine grosse Rolle.

Bei der Modellwahl sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen:

- Für welche Zielsetzung wird die Hochwasserabschätzung benötigt?
- Welche Hochwasserparameter sollen mit welcher Genauigkeit abgeschätzt werden?
- Welche Messstationen und Messungen stehen im zu untersuchenden Einzugsgebiet zur Verfügung?

- Wie gross ist das Einzugsgebiet, und welche Informationen sind dazu vorhanden?
- Welche zeitlichen und finanziellen Mittel können für die Durchführung der Abschätzung eingesetzt werden?

1.3 Die neue Praxishilfe gibt Antworten auf diese Fragen

Das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) veröffentlicht in diesen Tagen den Bericht Nr. 4 aus der Serie «Berichte des BWG, Serie Wasser». Der neue Bericht trägt den Titel «Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten». Er ist in Zusammenarbeit mit der Gruppe für Hydrologie der Universität Bern und anderen hydrologischen Institutionen der Schweiz entstanden (vgl. Tabelle 2) und gibt Antworten auf die oben gestellten Fragen.

Die Praxishilfe

- stellt die in der Schweiz häufig zur Anwendung gelangenden Verfahren und Modelle dar, indem sie diese übersichtsmässig beschreibt: Zielgrösse (z.B. HQ_{50}, EHQ), Einsatzbereich, benötigte Input-Parameter, Modellstruktur, Hinweis auf Fehlermöglichkeiten, Probleme bei der Anwendung u.a.,
- zeigt Strategien auf, welche Verfahren, Modelle bzw. Verfahrensgruppen in Abhängigkeit der Datenlage und der Fragestellung eingesetzt werden können, und
- diskutiert anhand von Fallbeispielen konkrete Anwendungen.

Integrierende Bestandteile der Praxishilfe sind zwei Programmpakete, welche die Bestimmung der Hochwasserabflüsse in ungemessenen mittelgrossen sowie kleinen Einzugsgebieten unterstützen. Sie wurden von der Gruppe für Hydrologie des Geografischen Instituts der Uni Bern und von der Abteilung Wasser, Erd- und Felsbewegungen der Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt.

Der Schwerpunkt der Praxishilfe liegt bei der Hochwasserabschätzung in kleinen bis mittelgrossen Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen. In Kapitel 3 dieses Artikels wird ausführlich auf diesen – für die Schweiz typischen Fall – eingegangen. Zur Abrundung der Thematik Hochwasserabschätzung werden in der Praxishilfe aber auch Verfahren behandelt, die sich bevorzugt in Einzugsgebieten mit Abflussmessungen anwenden lassen. Bei der Hochwasserabschätzung ist die Beurteilung der relevanten Abflussbildungsprozesse eine wichtige Voraussetzung, weshalb die Publikation ein spezielles Kapitel zu den Grundlagen der Abflussbildungsprozesse enthält.

2. Entwicklung der Hochwasserabschätzung

Der Anfang der Hochwasserabschätzung an Stellen ohne Direktmessungen liegt in einer Zeit, als noch kaum Abfluss-, aber schon einige Niederschlagsdaten zur Verfügung standen. In der Periode von 1842 bis 1847 präsentierten irische Ingenieure um Thomas Mulvaney (1822–1892) erstmals eine Methode zur Abschätzung von Hochwasserspitzen (Dooge 1957, Biswas 1970). Die Methode gehört zum Typ Rational Formula, bei der die Niederschlagsintensität, welche von der Konzentrationszeit des Einzugsgebietes und der Wiederkehrperiode des zu bestimmenden Abflusses abhängt, mit dem Abflusskoeffizienten und der Einzugsgebietsfläche multipliziert wird.

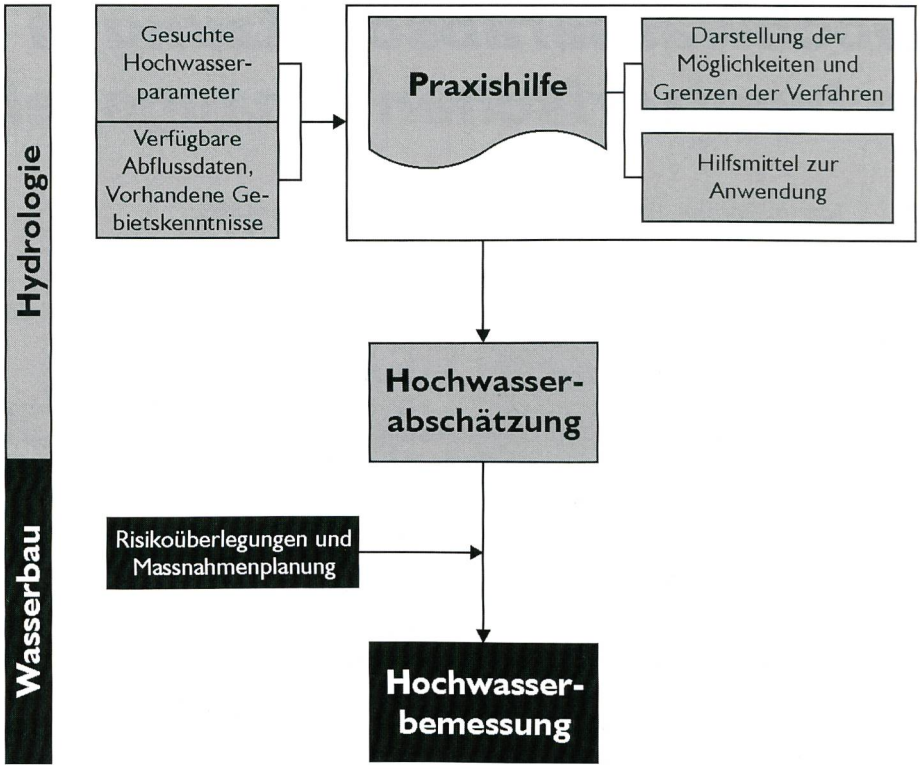

Bild 1. Die Praxishilfe liefert Grundlagen zur Hochwasserbemessung.

Um 1850 wurden in Mitteleuropa verschiedene hydrometrische Dienste gegründet, zu deren Aufgabe der Aufbau von Netzen von Wasserstandsmessstellen gehörte. Bis die ersten Abflussmessungen für die Entwicklung von Formeln zur Schätzung von Hochwasserabflüssen verwendet werden konnten, vergingen jedoch einige Jahre. In der Schweiz dauerte es beispielsweise über zehn Jahre, bis Lauterburg 1876 eine Übersicht über die Abflüsse in der Schweiz veröffentlichte. Seine Abschätzformel war weltweit eine der ersten, die mit so genannten Hüllkurven versuchten, einen Zusammenhang zwischen der Einzugsgebietsfläche und den maximalen Hochwasserspitzen herzustellen. Bei der Anwendung von Hüllkurven geht man davon aus, dass sich das Verhalten der gemessenen Einzugsgebiete einer Region (die für die Ableitung der Hüllkurven verwendet wurden) auf ungemessene übertragen lasse. Es gibt hier aber nicht nur die alten Formeln, zu denen auch die bekannten Verfahren von Hofbauer (1916) oder Melli (1924) gehören. In den letzten Jahren entstanden bedeutende Weiterentwicklungen, die auf dem Hüllkurvenansatz basieren.

Die Veröffentlichung erster Formeln für die Hochwasserabschätzung fällt mit einer sehr grossen Nachfrage nach Bemessungsgrössen zusammen. Dafür gab es zwei Ursachen: Einerseits wurden viele Flusskorrektionen in dieser Zeit projektiert und ausgeführt. Andererseits stand – als sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Elektrizität als neues Medium der Energieverteilung allmählich durchzusetzen begann – der Ausbau der Wasserkräfte unmittelbar bevor.

Als aus den hydrometrischen Messnetzen erste lange Messreihen für die Auswertung zur Verfügung standen, war die Extremwertanalyse, die sich mit kleinen Eintretenswahrscheinlichkeiten beschäftigt, bereits relativ weit entwickelt. Die Auswertung von Messreihen war jedoch eine aufwendige Angelegenheit. Heute ist die Anpassung von theoretischen Verteilungsfunktionen an empirische Verteilungen dank leistungsfähiger Standardsoftware mit nur geringem Aufwand verbunden. Da aber die objektiven Kriterien für die Auswahl der besten Verteilungsfunktion nach wie vor fehlen, ist die Extremwertanalyse immer noch komplex und erfordert statistisch und hydrologisch geschultes Fachpersonal.

Mit der Entwicklung der EDV-Systeme fallen nicht nur Analysen mit der Ex-

tremwertstatistik leichter. Dank der raschen Verfügbarkeit von hydrologisch relevanten, flächendeckenden Datensätzen gab es in den letzten Jahren und Jahrzehnten an allen Fronten der Hochwasserabschätzung enorme Fortschritte zu verzeichnen. Es wurden einerseits bestehende Ansätze mit neu verfügbaren Daten überarbeitet und teilweise erweitert, andererseits sind neue Methoden entstanden, die ohne den Einsatz von Computern schlicht nicht denkbar waren. Die EDV-Möglichkeiten erleichterten grundsätzlich auch den Einsatz deterministischer Modelle zur Hochwasserabschätzung. Deren Einsatz in Einzugsgebieten, welche über keine Abflussmessungen verfügen, ist aber nach wie vor sehr eingeschränkt.

Die verschiedenen Anwenderinnen und Anwender von Hochwasserabschätzmodellen stellen immer höhere Ansprüche an die ihnen zur Verfügung stehenden Berechnungswerkzeuge. Die einen möchten nicht nur die Hochwasserspitze, sondern die ganze Ganglinie oder die Fracht eines extremen Ereignisses kennen, die andern interessieren sich für die grössten Abflussereignisse, die überhaupt auftreten können (PMF). Mit Niederschlag-Abfluss-Modellen können viele dieser Fragen angegangen werden, einige bleiben aber immer noch offen.

Mit Bild 2 wird versucht, das weite Feld der Hochwasserabschätzung zu strukturieren. Die Gliederung der Methoden orientiert sich primär an der Verfügbarkeit der vorhandenen Abflussdaten und an den Gebietskenntnissen.

Liegen in einem Einzugsgebiet Abflussmessungen vor, können diese statistisch bearbeitet werden. So lassen sich aus den jährlichen Hochwasserspitzen beispielsweise mit Hilfe von empirischen und theoretischen Verteilungsfunktionen die Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit eines bestimmten Hochwasserabflusses berechnen.

Bei meist komplexeren Fragestellungen – also wenn es beispielsweise nicht mehr genügt, allein die Hochwasserspitze zu schätzen – kommen die Niederschlag-Abfluss-Modelle zum Einsatz. Sie bedürfen eines grossen zeitlichen Aufwandes (mehrere Wochen bis wenige Monate) und führen in der Regel zu umfassenderen und vielfach auch besseren Ergebnissen als die weniger komplexen Modelle der Regionalen Übertragung.

Für den Einsatz eines einfachen Modells zur Abschätzung in Einzugsgebieten ohne Direktmessungen – also eines Modells aus der Verfahrensgruppe «Regionale Übertragung» – sind die Ansprüche an die Datenlage gering und der zeitliche und finanzielle Aufwand bescheiden. Diese für die Praxis

Bild 2. Einordnung der Hochwasser-Abschätzverfahren.

günstigen Bedingungen müssen allerdings mit einer oftmals unbekannten Güte der Resultate «erkauft» werden. Aufgrund der grossen praktischen Bedeutung dieser Verfahren ist es wichtig, deren Einsatz so weit als möglich zu optimieren. Wie wir uns diese Optimierung vorstellen, wird in Kapitel 3 dargestellt.

3. Hochwasserabschätzung ohne Einbezug von Abflussmessungen

Die Erfahrungen in der Schweiz zeigen (Barben et al. 2002), dass es sinnvoll ist, bei der Hochwasserabschätzung zwischen mittelgrossen Einzugsgebieten (10–500 km^2) und kleinen Einzugsgebieten (<10 km^2) zu unterscheiden. Methoden für mittelgrosse Einzugsgebiete können nämlich nicht bedenkenlos auf kleine Einzugsgebiete übertragen werden, da die Abflussbildung und die Abflusskonzentration in kleinen Einzugsgebieten nicht von den gleichen Prozessen dominiert werden wie in grösseren Gebieten. Die kleinräumig wechselnden Verhältnisse, welche die Abflusscharakteristik von Kleineinzugsgebieten prägen, erfordern neben der Modellierung auch Geländearbeiten (Kartierungen). Bei mittelgrossen Gebieten können die entsprechenden Parameter hingegen meist flächendeckenden digitalen Datensätzen (Bodeneignungskarten, Bodennutzungskarten usw.) entnommen werden. Dies ist bei Kleineinzugsgebieten wegen des zu geringen Detaillierungsgrades der Datensätze oftmals problematisch. Bei Analysen in Kleineinzugsgebieten kommt erschwerend dazu, dass nur für sehr wenige Gebiete genügend lange Messreihen zur Verfügung stehen, um die Abschätzverfahren zu eichen.

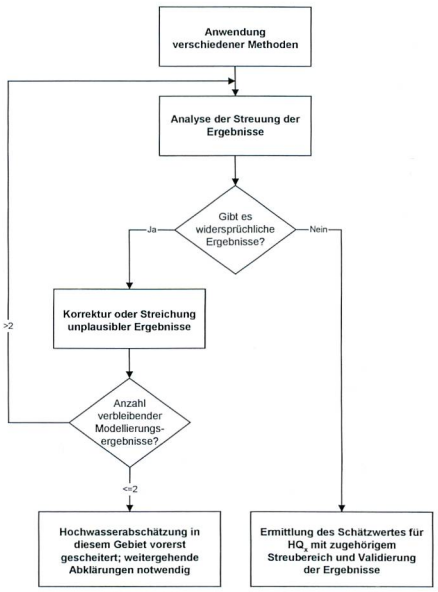

Bild 3. Hochwasserabschätzung in mittelgrossen Einzugsgebieten ohne Abflussmessung.

Die Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten wurde in einem Artikel von Hegg und Vogt (2002) bereits ausführlich beschrieben. Wir konzentrieren uns auf den folgenden Seiten auf die Hochwasserabschätzung in mittelgrossen Einzugsgebieten.

Wie wir bereits an anderer Stelle erwähnt haben, gibt es keine universelle Methode für die Hochwasserabschätzung, und es wird sie in absehbarer Zeit auch nicht geben. Dank der grossen Fortschritte der elektronischen Datenverarbeitung ist man heute aber nicht mehr gezwungen, sich auf eine einzige Methode zu beschränken. Man kann viele verschiedene Abschätzverfahren gleichzeitig anwenden und ihre Ergebnisse analysieren, was noch vor 20 Jahren aus Zeit- und Kostengründen in diesem Umfang nicht möglich war. So gelangt man heute zu einer breit abgestützten und damit insgesamt plausibleren Hochwasserabschätzung.

Dank der in der Praxishilfe integrierten Programmpakete verfügen wir heute über leistungsfähige Instrumente zur effizienten Abschätzung von Hochwassern. Trotzdem ist die Hochwasserabschätzung insgesamt nicht einfacher geworden. Im Gegenteil: Es braucht ein grosses Fachwissen, um die zur Verfügung stehenden Mittel optimal einzusetzen und um die Resultate richtig zu interpretieren. Früher lag der Schwerpunkt des Aufwandes bei der Rechenarbeit, und es blieb kaum Zeit, die ermittelten Ergebnisse in Frage zu stellen oder zu plausibilisieren. Heute ist der Berechnungsaufwand dank leistungsfähiger Computerprogramme minimal, und es bleibt mehr Zeit für vertiefende Analysen und für die Plausibilisierung der Resultate (vgl. 3.1 Software HQx_meso_CH).

Die Hochwasserabschätzung in mittelgrossen Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen kann – gemäss der im Folgenden vorgeschlagenen Strategie – in vier

Arbeitsschritte gegliedert werden (vgl. Bild 3):

1. Anwendung verschiedener geeigneter Methoden
2. Analyse der Streuung der Ergebnisse
3. Korrektur oder Streichung unplausibler Ergebnisse
4. Ermittlung des Schätzwertes für HQ_x mit zugehörigem Streubereich und Validierung der Ergebnisse

Mit diesem Vorgehen erhalten wir also sowohl einen Schätzwert als auch einen zugehörigen Streubereich. Dieser Streubereich kann als «Ersatz» für das Vertrauensintervall angesehen werden, welches im Zusammenhang mit wasserbaulichen Überlegungen sehr wichtig ist.

Bevor wir uns einem konkreten Beispiel zuwenden können, an dem wir die Funktionsweise der vorgeschlagenen Strategie aufzeigen werden, muss zuerst die neue Software HQx_meso_CH besprochen werden. Sie spielt beim ersten Arbeitsschritt eine zentrale Rolle.

3.1 Software HQx_meso_CH

Neun der in der Praxishilfe, für die ungemessenen Einzugsgebiete, beschriebenen Methoden wurden ins Programm HQx_meso_CH integriert (HQx: Hochwasser mit beliebiger Wiederkehrperiode x; meso: mesoskalige, d.h. mittelgrosse, Einzugsgebiete; CH: schweizerische Einzugsgebiete). Das Programm dient der Abschätzung von Hochwasserspitzenabflüssen in mittelgrossen (10 bis ca. 500 km^2) Einzugsgebieten der Schweiz.

HQx_meso_CH ist so konzipiert, dass keine weiteren Zusatzprogramme benötigt werden. Das Programm und alle benötigten Grunddatensätze befinden sich auf einer CD-ROM. Die Grunddatensätze wurden flächendeckend über die ganze Schweiz in einem 100-m-Raster aufbereitet.

Das Programm umfasst drei Module (vgl. Bild 4):

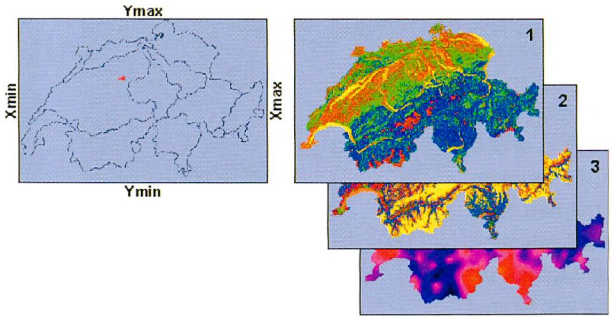

Bild 5. Datensätze in HQx_meso_CH. Links: Festlegen des Einzugsgebietes. Rechts: Modellparameter oder Parameter, die weiterverarbeitet werden.

1. Eingabe: Festlegen des zu berechnenden Einzugsgebietes (linke Spalte)
2. Berechnung: Anwendung verschiedener Hochwasser-Abschätzmodelle (mittlere Spalte)
3. Resultate: Erstellen der Protokolle zur Darstellung und Ausgabe der Daten (rechte Spalte)

Die Resultate der Hochwasserabschätzung mit den verschiedenen Modellen werden grafisch dargestellt (Balkendiagramm, vgl. Bild 7) und in einer Textdatei abgelegt. Zudem können die wichtigsten Modellparameter und die erwarteten Fehler in einer kleinmassstäblichen Karte abgefragt werden. Dies sind gute Hilfsmittel für die Interpretation der Ergebnisse.

HQx_meso_CH wurde in Borland Delphi, Professional, Version 3.0, programmiert und läuft unter Windows 95, 98, 2000, NT und XP. Die Delphi-Software wird für die Anwendung des Programms nicht benötigt. Die Anwenderinnen und Anwender werden mit integrierten Hilfefunktionen durch das Programm geführt, sodass sich auch Erstbenutzer schnell zurechtfinden.

Der Anwender braucht sich nicht darum zu kümmern, welche Datensätze für welche Modelle benötigt werden. HQx_meso_CH ermittelt die Parameter für das ausgewählte Einzugsgebiet aus den vorhandenen Datensätzen und führt die Berechnungen automatisch durch.

Alle räumlichen Datensätze in HQx_meso_CH haben die gleiche Ausdehnung (Xmin, Xmax, Ymin und Ymax in Landeskoordinaten) und dieselbe Auflösung (Hektarraster). Deshalb muss auch das Einzugsgebiet in Landeskoordinaten festgelegt werden. Es gibt drei Möglichkeiten, Einzugsgebiete zu definieren: Die Einzugsgebietsgrenzen werden am Bildschirm digitalisiert und in das Landeskoordinatensystem transformiert, das Einzugsgebiet wird vereinfachend als Ellipse betrachtet (mit der gleichen Lage und der gleichen Fläche) oder das Einzugsgebiet wird aus den Basisgebieten des «Hydrologischen Atlas der Schweiz» zusammengesetzt. In Bild 5 rechts sind beispielhaft drei Datensätze dargestellt, die in einzelnen oder mehreren Abschätzmodellen benötigt werden. HQx_meso_CH umfasst insgesamt knapp 30 Datensätze, welche sich in drei Kategorien gliedern:

1. Aus Gebietskennwerten abgeleitete Modellparameter (z.B. der c-Wert nach Kürsteiner)
2. Gebietskennwerte, aus denen Gebietsmittelwerte berechnet werden, welche dann direkt in Regressionsgleichungen einfliessen (z.B. die Landnutzung)
3. Weitere Daten, die vor ihrer Anwendung in Modellen noch weiterverarbeitet werden müssen (z.B. die Starkniederschläge aus dem «Hydrologischen Atlas der Schweiz», Tafel 2.4)

Die Philosophie von HQx_meso_CH kann am Beispiel des Modells GIUB'96 gut

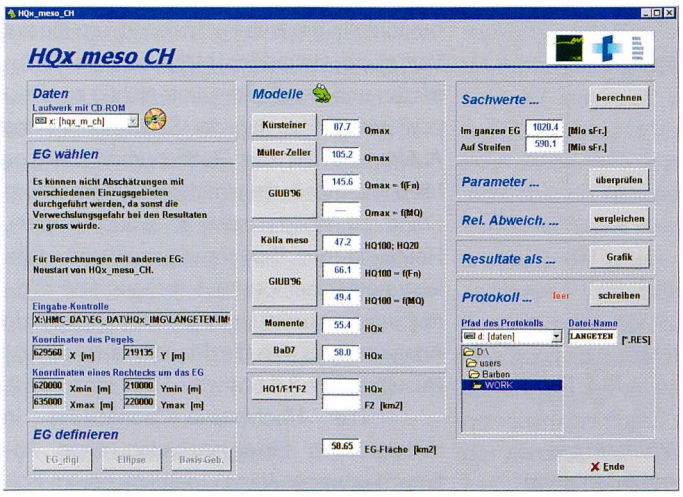

Bild 4. Hauptformular von HQx_meso_CH.

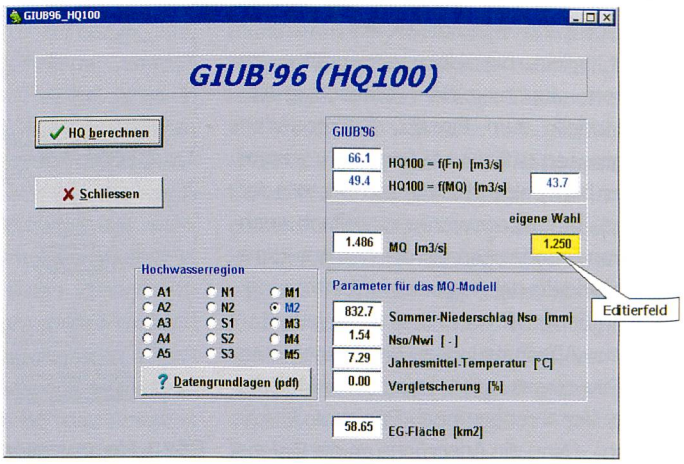

Bild 6. Hochwasserabschätzung mit dem Modell GIUB'96 (Weingartner 1999).

dargestellt werden (vgl. Bild 6). GIUB'96 umfasst zwei Ansätze für die Bestimmung der Hochwasserspitzen: einerseits den Ansatz mit $HQ_{100} = f(Fn)$ und andererseits den Ansatz mit $HQ_{100} = f(MQ)$. Der erste Ansatz bietet keinerlei Schwierigkeiten bei der Anwendung. Die Einzugsgebietsgrösse (Fn) wird vom Programm berechnet und je nach Lage des Einzugsgebietes in die entsprechende regional-differenzierte Funktion eingesetzt. Aufwendiger gestaltet sich die Arbeit mit dem zweiten Ansatz, bei dem der mittlere Jahresabfluss (MQ) als unabhängiger Modellparameter einfliesst. In einem Einzugsgebiet ohne Abflussmessungen ist MQ jedoch nicht bekannt. HQx_meso_CH beinhaltet deshalb ein MQ-Modell von Weingartner und Aschwanden (1992), das den mittleren Abfluss für beliebige Einzugsgebiete der Schweiz schätzt. Das Modell basiert auf den Eingabeparametern Sommerniederschlag, Verhältnis Sommer- zu Winterniederschlag, mittlere Jahrestemperatur und Vergletscherung. HQx_meso_CH verwendet standardmässig den mit diesem Ansatz bestimmten mittleren Jahresabfluss.

Falls aber bessere Angaben zum mittleren Jahresabfluss vorliegen, kann der Wert im Editierfeld angepasst werden. Die von HQx_meso_CH automatisch erhobenen Parameter sind also immer als Vorschläge zu verstehen. Falls vertrauenswürdigere Daten zur Verfügung stehen, können (und sollen!) diese manuell eingefügt werden.

Wenn die Resultate aller Modelle vorliegen, kann mit der Interpretation der Ergebnisse begonnen werden. HQx_meso_CH nimmt den Anwendern die Entscheidung über die Grösse der Hochwasserspitze nicht ab, sondern unterstützt sie lediglich mit effizienten Hilfsmitteln bei den verschiedenen Berechnungen.

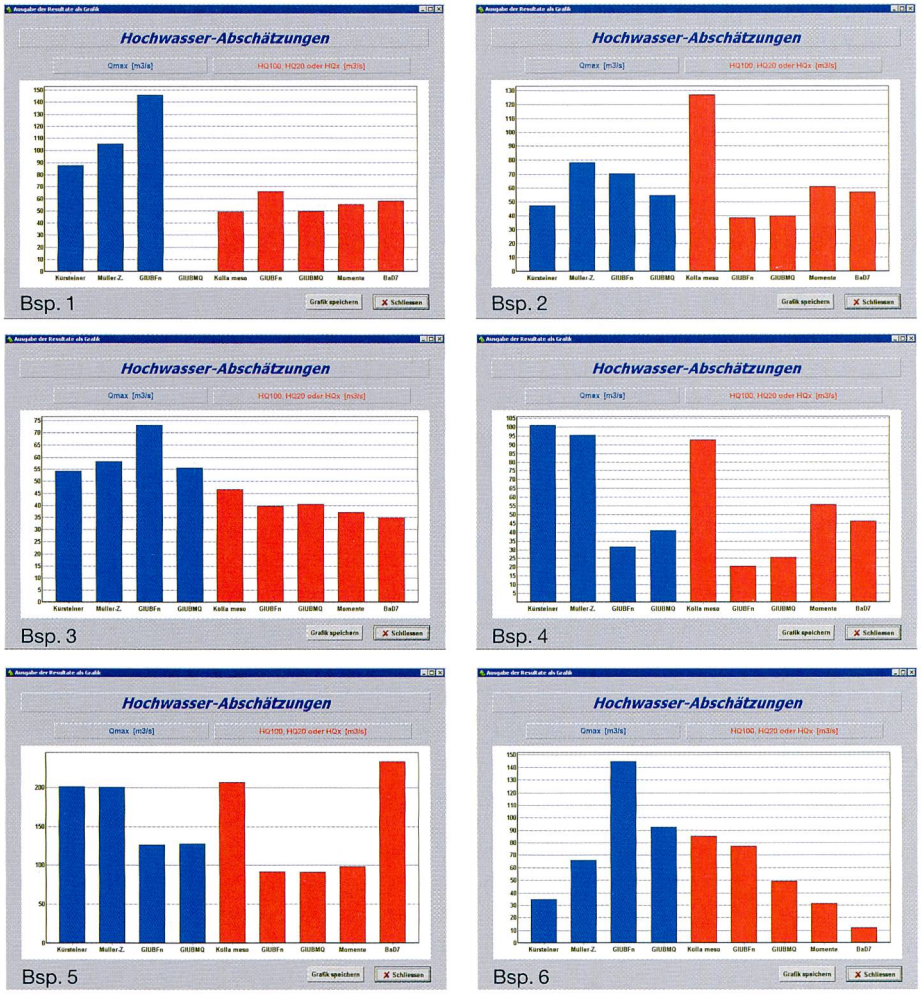

Bild 7. Hochwasserabschätzungen in verschiedenen Einzugsgebieten (Berechnung und Darstellung mit HQx_meso_CH).

3.2 Berechnungsablauf und Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden werden der Berechnungsablauf und die Interpretation der Ergebnisse gemäss der weiter vorne vorgeschlagenen Strategie erläutert (vgl. Bild 3).

Schritt 1: Anwendung verschiedener Modelle
Durch die Anwendung verschiedener Modelle soll ein möglichst breites Spektrum an Hochwasserabschätzungen bereitgestellt werden (vgl. Bild 7).

Schritt 2: Analyse der Streuung der Ergebnisse
Bei der Analyse der Streuung der Ergebnisse gibt es grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden, die anhand der Beispiele aus Bild 7 erläutert werden:

1. Die verschiedenen Abschätzungen liegen in einer vergleichbaren Grössenordnung (Beispiele 1 und 3): Sowohl die Ergebnisse der Zielgrösse Q_{max} (blaue Balken) als auch die Ergebnisse der Zielgrösse HQ_{100} bzw. HQ_x (rote Balken) liegen relativ nahe beieinander. Das Mittel der Q_{max}-Werte liegt über dem Mittel der HQ_x-Werte. In diesem Fall lässt sich der gesuchte Spitzenabfluss zuverlässig bestimmen (vgl. Schritt 4).
2. Die verschiedenen Abschätzungen weisen eine grosse Streuung auf (Beispiele 2, 4, 5 und 6): Die Ergebnisse innerhalb der Gruppe Q_{max} und/oder HQ_x liegen weit auseinander. Eventuell liegen auch einzelne Ergebnisse aus der HQ_x-Gruppe über den Werten der Q_{max}-Gruppe. Eine Abschätzung der Hochwasserkennwerte ist in diesem Fall problematisch, und die Ursachen für die widersprüchlichen Ergebnisse sind zu suchen (Schritt 3).

Schritt 3: Korrektur oder Streichung unplausibler Ergebnisse
In diesem Schritt werden die unplausibel scheinenden Resultate genauer unter die Lupe genommen. Man untersucht, weshalb einzelne Ergebnisse aus dem Rahmen fallen. Findet man die Ursachen des Modellversagens heraus, so kann man die entsprechenden Parameter anpassen und eine neue, verbesserte Hochwasserabschätzung machen. Falls die Ursachen für das Modellversagen nicht erkannt werden können, wird das entsprechende Modell nicht mehr weiter berücksichtigt. Damit erhält man eine bereinigte Palette von Abschätzungen, die wiederum ab Schritt 2 beurteilt wird, sofern noch genügend Ergebnisse vorliegen. Ist dies nicht der Fall, gilt die Abschätzung nach der hier propagierten Strategie vorerst als gescheitert und es sind weitergehende Analysen notwendig.

Die Gründe, wieso ein Modell versagen kann, sind vielfältig. Sie hängen vom Aufbau und den Eingabegrössen der einzelnen Verfahren und von der räumlichen Lage des Einzugsgebietes ab.

Schritt 4: Ermittlung des Schätzwertes für HQ_x mit zugehörigem Streubereich und Validierung der Ergebnisse
Schritt 4 wird nur erreicht, wenn mindestens drei plausible Ergebnisse vorliegen (vgl. Bild 3). Dann wird der gesuchte Hochwasserspitzenabfluss wie folgt abgeschätzt:

1. Der (gewichtete) Mittelwert aus den verbleibenden Ergebnissen führt zum Schätzwert für HQ_x.
2. Der Streubereich wird durch den grössten und den kleinsten Wert der verbleibenden Abschätzungen bestimmt. Dieser Streubereich ist aber nicht dem Vertrauensintervall einer Extremwertanalyse gleichzusetzen. Der Streubereich wird beispielsweise auch von den Unsicherheiten bei der Parameterwahl der einzelnen Modelle beeinflusst. Trotzdem ist es vernünftiger, diesen Streubereich im Sinne eines «nicht statistischen Vertrauensintervalls» zu verwenden als auf einen einzigen fixen Schätzwert zu setzen.
3. Validierung der Ergebnisse.

Bemerkungen zu 1: Als Schätzwert für HQ_x kann sowohl das arithmetische Mittel als auch ein gewichtetes Mittel verwendet werden. Die Festlegung der Gewichte wird den Anwenderinnen und Anwendern überlassen. So können Modelle, die im Einzelfall als «sehr gut» beurteilt werden, besonders gewichtet werden.

Bemerkungen zu 2: Die Obergrenze des Streubereiches für das HQ_x sollte nicht über dem Mittel der Q_{max}-Werte liegen, da sich daraus Widersprüche ergeben würden.

Bemerkungen zu 3: Zur Validierung der Ergebnisse bieten sich verschiedene Möglichkeiten an:

- Die Berücksichtigung der Hochwassergeschichte
- Vergleich der Ergebnisse mit der vorhandenen Abflusskapazität des Gerinnes
- Einbezug von Prozessüberlegungen

4. Ausblick

Der Aufwand für die Abschätzung einer Hochwasserspitze in einem mittelgrossen, schweizerischen Einzugsgebiet hat sich mit den hier vorgestellten Methoden und Strategien massiv verkleinert. Durch die Anwendung der neu verfügbaren Hilfsmittel kommt es zu einer deutlichen Verschiebung der Arbeit. Die zur Verfügung stehende Zeit muss nun nicht mehr für die Suche nach Datengrundlagen und für teilweise sehr aufwendige Berechnungen geopfert werden. Mit HQx_meso_CH gelangt man mühelos und sehr rasch zu Ergebnissen, und es bleibt daher mehr Zeit, sich mit den Eigenheiten der Modelle und des Einzugsgebietes auseinander zu setzen. Dadurch werden Abschätzungen in Zukunft insgesamt vertrauenswürdiger und qualitativ besser.

Die meisten der diskutierten Ansätze sind nur auf die Hochwasserspitze ausgerichtet. Damit ist eine entscheidende Lücke angesprochen. Hochwasserfrachten und -ganglinien werden in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Nur so ist es beispielsweise möglich, in Fragen des Geschiebetransports, der für die Beurteilung der Hochwasserverhältnisse einen wichtigen Faktor darstellt, einen entscheidenden Schritt weiterzukommen.

Im Weiteren sind nach wie vor – trotz der Software, die die Eidg. Forschungsanstalt WSL entwickelt hat (Hegg und Vogt 2002) – grosse Lücken bei der Hochwasserabschätzung in Kleinsteinzugsgebieten (<10 km²) vorhanden. Dies hängt einerseits mit der mangelhaften Datenlage zusammen: Für nur wenige Kleinstgebiete liegen in der Schweiz genügend lange Messreihen vor, um beispielsweise Abschätzverfahren zu eichen. Andererseits ist die Abschätzung von Hochwasserabflüssen in Kleinstgebieten besonders schwierig, weil hier die für die Güte der Abschätzung positiven Effekte der räumlichen Ausmittelungen weniger zum Tragen kommen. Eine gute Beurteilung der ablaufenden Prozesse ist damit noch wichtiger als in grösseren (mesoskaligen) Einzugsgebieten.

Die Hochwasserabschätzung wird sich also weiterentwickeln müssen. Neuere Ansätze sind zwar vorhanden, nur können sie – im Gegensatz zu den hier besprochenen Verfahren – noch nicht in der täglichen Praxis eingesetzt werden. Die Datenlage ist dabei sicherlich einer der limitierenden Faktoren.

Literatur

Barben, M., Hodel, H.-P., Kleeberg, H.-B., Spreafico, M., Weingartner, R. (2002): Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen – Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten. Bericht Nr. I-19 der KHR, Lelystad.

Biswas, A. (1970): History of Hydrology. North Holland Publishing Company, Amsterdam.

Dooge, J. (1957): The rational method for estimating flood peaks. Irish contribution to the technique. Engineering 184, 311–313.

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

Hegg, Ch., Vogt, S. (2002): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten. In: Wasser und Boden, 54/10.

Hofbauer, R. (1916): Eine neue Formel für die Ermittlung der grössten Hochwassermengen. In: Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, 38–40, Wien.

Kürsteiner, L. (1917): Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur. In: Schweizerische Bauzeitung, 1, 4–8, Zürich.

Lauterburg, R. (1876): Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Übersicht der aus Grösse und Beschaffenheit der Flussgebiete abgeleiteten schweizerischen Stromabflussmengen, gestützt auf die meteorologischen Beobachtungen der Schweiz, nebst Anleitung zur Behandlung dieser Aufgabe im Allgemeinen. Commissions Verlag Huber, Bern.

Melli, E. (1924): Die Dimensionierung städtischer Kanäle. In: Schweizerische Bauzeitung 12, 137–141, Zürich.

Weingartner, R., Aschwanden, H. (1992): Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.2, Bern.

Weingartner, R. (1999): Regionalhydrologische Analysen – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 37, Bern.

Bestellungen des Berichtes und der Software/Kursanmeldungen

Bericht Nr. 4, Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Bestellnummer: 804.504d, BBL, Vertrieb Publikationen, CH-3003 Bern
www.bbl.admin.ch/d/bundespublikationen

Formulare für die Softwarebestellung und die Kursanmeldung finden Sie unter www.bwg.admin.ch in der Rubrik Neuigkeiten/Ausbildungskurse

Anschrift der Verfasser

Dr. *Martin Barben,* Geografisches Institut der Universität Bern, CH-3012 Bern, barben@giub.unibe.ch und Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-3003 Bern-Ittigen, martin.barben@bwg.admin.ch

PD Dr. *Rolf Weingartner,* Geografisches Institut der Universität Bern, CH-3012 Bern, wein@giub.unibe.ch

Prof. Dr. *Manfred Spreafico,* Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-3003 Bern-Ittigen, manfred.spreafico@bwg.admin.ch