

Hochwasserschätzmethoden in der Praxis

Neue Faktenblätter und ein Leitfaden zur Anwendung

Michael Rinderer, Catherine Berger, Florian Lustenberger, Massimiliano Zappa, Christian Schuler

Zusammenfassung

Für die Hochwasserabschätzung in der Praxis haben sich in der Schweiz einfache Schätzmethoden etabliert. Mit den Software-Produkten *HAKESCH* und *HQx_meso_CH* stehen Werkzeuge zur schnellen Hochwasserabschätzung mit vorhandenen Methoden zur Verfügung. Dennoch gibt es Unklarheiten bei der konkreten Anwendung und grosse Unsicherheiten bei den berechneten Hochwasserabflussspitzen.

Im Auftrag des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich hat die geo7 AG einheitliche Faktenblätter zu den Schätzmethoden und einen Leitfaden zur Plausibilisierung der Ergebnisse erarbeitet. Die Faktenblätter fassen pro Methode die wichtigsten Informationen zur Gültigkeit, Parametrisierung, Güte und Sensitivität der Ergebnisse grafisch anschaulich und übersichtlich auf je einer DIN A4 Seite zusammen. Der Leitfaden unterstützt in der Form eines Entscheidungsbaums die nachvollziehbare Ableitung eines robusten Mittelwerts der Hochwasserspitze aus den Einzelergebnissen der Schätzmethoden und bietet eine Hilfestellung zur Plausibilisierung der Ergebnisse. Die Faktenblätter und der Leitfaden richten sich an Fachpersonen mit Vorkenntnissen.

Eine Analyse zeigte ausserdem, dass nur fünf der heute verwendeten Methoden zur Hochwasserabschätzung (*Kölla*, *Kölla_meso*, *Taubmann*, *Modifiziertes Fließzeitverfahren*, *Clark-WSL*) die Veränderung der Starkniederschläge durch den Klimawandel berücksichtigen können. Die Berücksichtigung des Klimawandels wird jedoch bei der Hochwasserabschätzung zunehmend wichtiger.

Résumé

Des méthodes d'estimation simples ont été établies en Suisse pour l'évaluation des crues dans la pratique. Avec les logiciels *HAKESCH* et *HQx_meso_CH*, des outils sont disponibles pour une évaluation rapide des crues en utilisant les méthodes existantes. Néanmoins, il existe des imprécisions dans l'application concrète et des incertitudes majeures dans les calculs des pointes de débit de crue.

Sur mandat de l'Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air (AWEL) du canton de Zurich, geo7 AG a élaboré des fiches d'information uniformes sur les méthodes d'estimation ainsi qu'un guide permettant de vérifier la plausibilité des résultats. Les fiches d'information résument pour chaque méthode, de manière graphique et claire sur une page DIN A4, les informations les plus importantes sur la validité, le paramétrage, la qualité et la sensibilité des résultats. Sous la forme d'un arbre de décision, le guide facilite de manière compréhensible le calcul d'une valeur moyenne robuste de la pointe de crue à partir des résultats individuels des méthodes d'estimation et offre une aide pour vérifier la plausibilité des résultats. Les fiches d'information et le guide s'adressent à des spécialistes ayant des connaissances préalables.

Une analyse a également montré que seules cinq des méthodes d'estimation des crues utilisées aujourd'hui (*Kölla*, *Kölla_meso*, *Taubmann*, *méthode du temps d'écoulement modifié*, *Clark-WSL*) peuvent prendre en compte la modification des fortes précipitations due au changement climatique. Cependant, la prise en compte du changement climatique devient de plus en plus importante dans l'estimation des crues.

Einleitung

Bei der gutachterlichen Ermittlung von Hochwasserabflussspitzen für Einzugsgebiete ohne Abflussmessungen hat sich in der Ingenieurpraxis in der Schweiz die Verwendung einfacher Schätzformeln etabliert. Diese Methoden ermöglichen es, anhand einfach zu ermittelnden Einzugsgebietseigenschaften und in einigen Fällen auch Niederschlagsangaben, in kurzer Zeit einen Schätzwert für einen Abflusswert zu berechnen.

Das ehemalige Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), heute ein Teil des Bundesamts für Umwelt (BAFU), stellte bereits 2003 generelle Informationen zur Hochwasserabschätzung und zu den Me-

thoden im Speziellen zusammen (*BWG*, 2003). *Barben* (2003) ordnete daraufhin die Güte der Methoden für die Anwendung in mesoskaligen Einzugsgebieten der Schweiz ein. *Dobmann* (2009) und *Hemund et al.* (2011) führten Vergleichsrechnungen in ausgewählten Einzugsgebieten der Schweiz kleiner 20 km², bzw. kleiner 5 km², mit allen Methoden durch. Die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) entwickelte eine anwenderfreundliche Software, *HAKESCH* (Hochwasser Abschätzung in Kleinen Einzugsgebieten der SCHweiz), zur Verwendung der gängigen Hochwasserschätzmethoden (*BWG*, 2003). Das BAFU setzte in Zusammenarbeit mit der Universität Bern *HQx_meso_CH* um (*HQx*: Hochwasser mit beliebiger Wieder-

kehrperiode; *meso*: mesoskalige Einzugsgebiete; *CH*: schweizerische Einzugsgebiete; *Barben*, 2003). In jüngerer Zeit wurden auch von einzelnen Ingenieurbüros webbasierte Applikationen entwickelt (z. B. www.ganglinie.ch, www.geoflow.ch). Alle Produkte sind frei verfügbar und finden bis heute Anwendung, vor allem in Ingenieurbüros.

Trotz der vorhandenen Fachliteratur und Hilfsmittel werden die Schätzmethoden in der Praxis nicht einheitlich angewendet. Die gutachterliche Fachkompetenz nimmt bei der Hochwasserabschätzung immer eine wichtige Rolle ein, dennoch sind die getroffenen Annahmen oft nicht ausreichend begründet und dokumentiert. Die Folge sind inkonsistente Hoch-



wasserschätzwerte (Wermelinger, 2020). Die unterschiedliche Anwendung betrifft die Auswahl der Schätzmethode, die Wahl der Parameter und die Vorgehensweise bei der Mittelung der verschiedenen Schätzwerte zu einem repräsentativen Endresultat. Eine mögliche Ursache für die uneinheitliche Festlegung von Schätzwerten für Hochwasserabflüsse ist, dass die Informationen über die Schätzmethode und die Bestimmung einer repräsentativen Hochwasserabflussspitze nicht adäquat miteinbezogen werden. Im Praxisalltag fehlt manchmal die Zeit, die vorhandenen Informationen in der Literatur mit der nötigen Tiefe zu sichten oder nachzuschlagen. Weiter fehlten bislang einfache Plausibilisierungshilfen für die kritische Beurteilung der Berechnungsergebnisse.

Die Hochwasserschätzmethoden werden häufig für die Erstellung von Gefahrenkarten und teilweise auch bei Hochwasser-schutzprojekten eingesetzt. Mit diesen Anwendungen werden somit Entscheidungen und/oder Investitionen für die nächsten Jahrzehnte getroffen. Für diese Zeitspanne werden jedoch Veränderungen der mittleren Niederschläge sowie der Starkniederschläge durch den Klimawandel projiziert (CH2018, 2018). Es stellt sich somit die Frage, ob mit den gängigen Methoden eine Berücksichtigung des Klimawandels möglich ist.

Um die in der Schweiz gängigen Hochwasserschätzmethoden für die Praxis besser nutzbar zu machen, hat die geo7 AG im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) einheitliche Faktenblätter für die Schätzmethoden und einen Leitfaden zur Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserspitzenabflusses erarbeitet. Dabei wird grundsätzlich das Vorgehen gemäss BWG (2003) verfolgt. Zusätzlich bietet der Leitfaden Hilfestellungen zur Plausibilisierung anhand dokumentierter Hochwasserereignisse. Weiter wurde beurteilt, welche Methoden die Veränderungen der Starkniederschläge, die wir bereits heute in aktualisierten Extremwerten (HADES, 2022) feststellen und welche für die Zukunft aufgrund des Klimawandels projiziert werden (CH2018, 2018), berücksichtigen können. Die Arbeiten sind Teil des Forschungsprogramms «Klimawandel und Risikoanalyse» beim Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Kanton Zürich, in welchem ein methodisches Vorgehen zur Berücksichtigung des Klimawandels in den Risikokarten erarbeitet wird.

Hochwasserspitzen

In der Fachterminologie beschreibt HQ_x eine Abflussspitze für ein Hochwasser der Jährlichkeit x . HQ_x ist also ein Hochwasserereignis, das im Durchschnitt alle x Jahre auftritt. HQ_{max} beschreibt die Hochwasserspitze eines aussergewöhnlich grossen Hochwasserereignisses, welches in der Regel deutlich höher als ein HQ_{100} ist.

Faktenblätter

Für jede in der Schweiz häufig verwendete Methode der Hochwasserabschätzung (Tabelle 1) wurde ein Faktenblatt erarbeitet.

Dabei wurden alle relevanten Informationen zur Anwendung und Parametrisierung einer Schätzmethode sowie alle nötigen Nachschlagetabellen, Diagramme, Karten etc. für die Wahl der Methoden-Parameter auf jeweils einer DIN A4 Seite zusammengefasst. Zudem wurden Hinweise zur Güte der Resultate oder der Sensitivität einzelner Methodenparameter angegeben. Mit diesen Faktenblättern kann sich eine Fachperson in kurzer Zeit einen Überblick über die wichtigsten Hintergrundinformationen verschaffen oder sich diese wieder in Erinnerung rufen.

Jedes Faktenblatt ist einheitlich gegliedert (Bild 1): Im Themenblock **Merkmale** ist die jeweilige Methode hinsichtlich Gültigkeitsbereich, berechnetem Ergebnis (HQ_{100} ,

Hochwasserschätzmethoden in der Praxis

Aufbau der Faktenblätter

Merkmale der Methode

- Gültigkeitsbereich** der Methode bzgl. Einzugsgebietsfläche (z. B. meso primär für mesoskalige Einzugsgebiete)
- Einschränkungen** und Angabe zur **Jährlichkeit**
- Ergebnisse** entweder HQ_{100} , HQ_{100} oder HQ_{100}
- Typ der Methode** (siehe Glossar)
- Können **Veränderungen im Niederschlag** z. B. durch den Klimawandel **berücksichtigt** werden?
- Liste an Software-Produkten**

Güte der Resultate

- Wenn möglich, ist die Tendenz zu **Überschätzung**, **Neutralität** oder **Unterschätzung** der Methode im Vergleich zu Referenzdaten aus Barben (2003) beschrieben.
- Alternativ ist die **Sensitivität** von Eingangsgrossen der Methode als Diagramm dargestellt (z.B. Änderung HQ_{100} bei 10 % mehr Niederschlag).

Resultat

- Rechts oben wird vermerkt, ob die Methode ein HQ_{max} , HQ_{100} , HQ_x etc. liefert.

Parameter

- Eingangsparameter** (inkl. Einheiten) Besonders sensitive Parameter sind in **blaugrün** markiert. Die übrigen Parameter haben ebenfalls einen Einfluss auf das Ergebnis: Ihre Sensitivität ist abhängig vom jeweiligen Einzugsgebiet.

Weiterführende Informationen

- Hier sind **weiterführende Informationen**, **Nachschlagetabellen**, **Entscheidungsdiagramme**, **Tipps** und **Hinweise** für die **korrekte Anwendung** angeführt. Ist besondere Vorsicht geboten, wird dies mit gekennzeichnet.

Quellen

- Hier sind Dokumente für die vertiefte Einarbeitung in die Methode und **zitierte Literatur** aufgelistet.

Methode: GIUB'96

Merkmale:

- Einzugsgebiete: 10 bis 500 km²
- Einschränkungen: Vorsicht bei Einzugsgebieten mit einer Fläche nahe der unteren bzw. oberen Gültigkeit (für Details siehe Weingartner, 1999)
- Jährlichkeit: 100 Jahre; im Fall HQ_{100} deutlich grösser als das HQ_{100}
- Ergebnis: HQ_{100} , HQ_{100} [m³/s]
- Methodik: Regionale Regression (HQ_{100}) bzw. regionale Hillkurve (HQ_{100})
- Klimawandel: Kann nicht berücksichtigt werden
- Werkzeuge: HQ_x meso_CH, www.ganglinie.ch

Güte der Resultate:

Fazit: Im Vergleich zu den HQ_{100} Referenzwerten in Barben (2003) gute Ergebnisse. In der Praxis bekannt für eher tiefe HQ_{100} Ergebnisse.

Parameter:

- empirische Parameter (a, b) [-]
- Einzugsgebietsfläche (F) [km²] oder
- Mittlerer Jahresabfluss (MQ) [m³/s]

Weiterführende Informationen:

- Tipps: Liegt ein Einzugsgebiet nahe einer Grenze zweier Hochwasserregionen sollten Berechnungen mit a und b von beiden Hochwasserregionen durchgeführt werden.
- Die GIUB'96 Methode ähnelt der von Kürsteiner. Durch die Bildung von Regionen und einem grösseren Datensatz konnten aber die Ergebnisse deutlich verbessert werden (Datensatz: 700 Ereignisse im Zeitraum 1859 bis 1991).

Quellen:

- Barben M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Geographica Bernensia 671, Geographisches Institut der Universität Bern, Bern.
- BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Bericht des BWG, Serie Wasser Nr. 4, Bern.
- Kan C. (1995): Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde 169, Bern.
- Weingartner R. (1999): Regionalhydrologische Analysen – Grundlagen und Anwendungen. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz 37, Bern.

Bild 1: Einheitliche Gliederung aller Faktenblätter, die einen raschen Überblick über die wichtigsten Informationen (Merkmale, Parameter, Diagramme, Tabellen, Quellen etc.) zu jeder Methode bieten.

Name der Methode	Jahr	Einzugsgebietsgrösse [km ²]	Methodik	Berücksichtigung Klimawandel möglich?
Kürsteiner	1917	5 – 500	Hüllkurve	nein
Müller-Zeller	1943	2 – 500	Hüllkurve	nein
Kölla	2002*	0,5 – 100	Fliesszeitverfahren	ja, vereinfacht über veränderte Niederschläge
Kölla_meso	1986	10 – 500		
GIUB'96	1999	10 – 500	Regionale Regression (HQ_{100}) bzw. regionale Hüllkurve (HQ_{max})	nein
Momente	1994	10 – 200	Regionalisierung	nein
BaD7	2001	10 – 200	Regionalisierung	nein
Müller modifiziert	2002*	> 1	Hüllkurve	nein
Taubmann	2002*	0,5 – 300	Fliesszeitverfahren	ja, vereinfacht über veränderte Niederschläge
Modifiziertes Fliesszeitverfahren	2002*	getestet < 5	Fliesszeitverfahren	ja, vereinfacht über veränderte Niederschläge
Clark-WSL	2002	< 1 – ca. 5	Isochronenansatz	ja, vereinfacht über veränderte Niederschläge

Tabelle 1: Übersicht über die in den Faktenblättern beschriebenen Methoden zur Hochwasserabschätzung. Aufgeführt sind der Name der jeweiligen Methode, das Erscheinungsjahr der Methode, die für die Anwendung geeignete Einzugsgebietsgrösse, die verwendete Methodik sowie die Information, ob eine Berücksichtigung des Klimawandels möglich ist (siehe Kapitel Berücksichtigung des Klimawandels). Die mit einem * gekennzeichneten Jahreszahlen repräsentieren Methoden, die bereits älter sind (1947 – 1986), jedoch 2002 angepasst wurden (BWG, 2003).

HQ_{max} , HQ_x), Jährlichkeit, Art der Methode, Softwareprodukten etc. beschrieben. Im zweiten Themenblock ist die Güte der Resultate oder die Sensitivität von ausgewählten Methoden-Parametern dargestellt (Barben, 2003; Dobmann, 2009). Im dritten Themenblock sind die Eingangsparameter aufgelistet und, sofern bekannt, wird auf besonders sensitive Parameter hingewiesen. Etwaige Tabellen, Grafiken und Karten sind zur Unterstützung bei der Wahl der Parameter direkt auf dem Faktenblatt bereitgestellt. Zum Schluss sind weiterführende Informationen und die zitierten sowie ergänzenden Quellen aufgelistet.

Leitfaden

Aus den Einzelergebnissen der unterschiedlichen Schätzmethode muss eine repräsentative Hochwasserspitze gemittelt werden. Das BWG veröffentlichte dazu Vorschläge (BWG, 2003), die aber in der Praxis nicht immer einheitlich angewendet und ungenügend dokumentiert werden. Auch fehlen einfache Möglichkeiten zur Plausibilisierung der Schätzwerte. Der erarbeitete Leitfaden zur Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserspitzenabflusses ermöglicht ein systematisches Vorgehen bei der Bestimmung eines robusten Resultats aus den verschiedenen Ergebnissen der einzelnen Schätzmethode. Er stützt sich grundsätzlich auf die Vorschläge des BWG (2003).

Der Leitfaden besteht aus einem neu entwickelten Entscheidungsbaum (Bild 2), mit welchem die Fachperson in acht Schritten durch den Arbeitsablauf geführt wird. Ein Fragenkatalog (Bild 3) hilft bei der kritischen Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Schätzmethode. Neu entwickelt

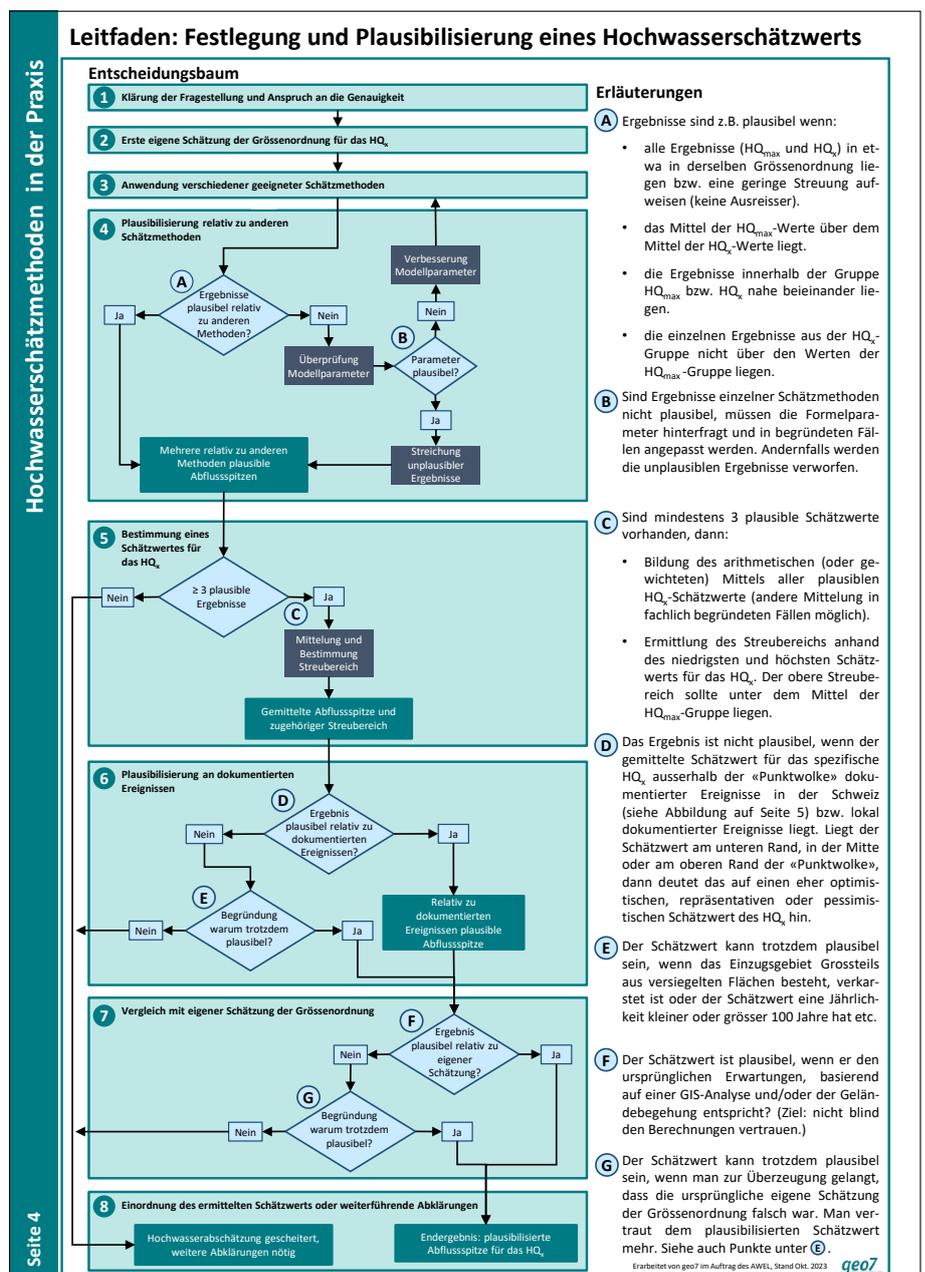


Bild 2: Entscheidungsbaum des Leitfadens zur Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserschätzwerts.

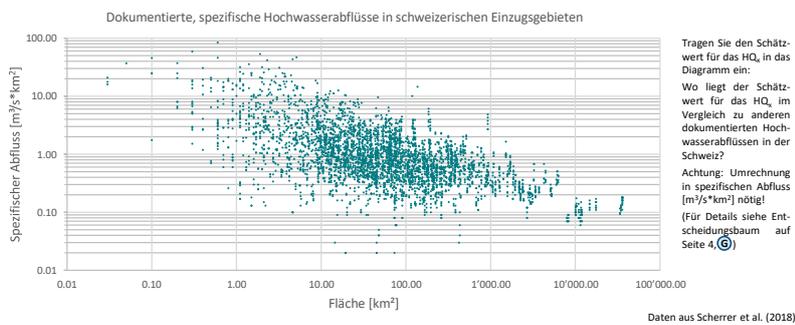
Leitfaden: Festlegung und Plausibilisierung eines Hochwasserschätzwerts

Erläuterungen zu den Bearbeitungsschritten

(siehe auch Entscheidungsbaum auf Seite 4)

- 1 **Klärung der Fragestellung und Anspruch an die Genauigkeit**
 - Ist die Anwendung der Schätzmethoden geeignet für meine Fragestellung?
 - Habe ich Messdaten, die eine zuverlässige Extremwertstatistik erlauben würden (für ein HQ_{100} : min. 30 Jahre mit zuverlässigen Daten)?
 - Benötige ich für meine Fragestellung eine Abflussganglinie und/oder eine Wasserfracht? Wenn ja, dann ist eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung die beste Wahl. Alternativ muss aus dem Schätzwert des HQ_{100} eine Dreiecksganglinie konstruiert werden.
- 2 **Erste eigene Schätzung der Grössenordnung für das HQ_{100}**
 - Welche Grössenordnung für ein HQ_{100} erwarte ich aufgrund der gesicherten Grundlagen, der GIS-Analyse und/oder dem Eindruck vom Gebiet und Gerinne bei der Begehung vor Ort?
- 3 **Anwendung verschiedener geeigneter Schätzmethoden**
 - Welche der Schätzmethoden sind für mein Einzugsgebiet geeignet?
 - Weist mein Einzugsgebiet Eigenschaften auf, die eine Anwendung gewisser Schätzmethoden einschränkt? (siehe Angaben auf den jeweiligen Faktenblättern).
- 4 **Plausibilisierung relativ zu anderen Schätzmethoden**
 - Sind die Ergebnisse der einzelnen Schätzmethoden in sich und untereinander plausibel?
- 5 **Bestimmung eines Schätzwerts für das HQ_{100}**
 - Habe ich genügend plausible Hochwasserabschätzungen unterschiedlicher Methoden, um einen verlässlichen Schätzwert durch Mittelung zu bestimmen?
 - Wie gross ist der zugehörige Streubereich, der ein «Ersatz» für das Vertrauensintervall und damit der Güte meines Schätzwertes ist?
- 6 **Plausibilisierung an dokumentierten Ereignissen**
 - Ist mein ermittelter Schätzwert für das HQ_{100} plausibel im Vergleich zu schweizweit dokumentierten Hochwasserabflüssen (evtl. gefiltert nach Region)?
 - Gibt es Gründe, warum der Schätzwert für das HQ_{100} trotzdem plausibel erscheint? (für Beispiele siehe ④ auf Seite 4)
 - Anmerkung: es können auch die Ergebnisse einzelner Schätzmethoden anhand der dokumentierten Ereignisse plausibilisiert werden (siehe Bearbeitungsschritt 3).
- 7 **Vergleich mit eigener, erster Einschätzung**
 - Weicht der Schätzwert des HQ_{100} stark von meiner ursprünglichen ersten Einschätzung ab?
 - Gibt es Gründe, warum der Schätzwert für das HQ_{100} trotzdem plausibel erscheint? (für Beispiele siehe ⑥ auf Seite 4).
- 8 **Einordnung des ermittelten Schätzwerts oder weiterführende Abklärungen**
 - Hat der Leitfaden zu einem plausiblen Schätzwert für das HQ_{100} geführt? Wenn ja, ist dieser Schätzwert passend zu meiner Fragestellung und geforderten Genauigkeit (siehe Streubereich in Bearbeitungsschritt 5)?
 - Hochwasserabschätzung ist nicht gleich Hochwasserbemessung bzw. -dimensionierung! Daher: Ist der Schätzwert für das HQ_{100} ein zweckmässiger Bemessungs- oder Dimensionierungsabfluss?
 - Hat der Leitfaden zu keinem plausiblen Schätzwert für das HQ_{100} geführt, so sind weitere Abklärungen oder andere Methoden nötig.

Plausibilisierung des Schätzwerts im Vergleich zu dokumentierten Hochwasserabflüssen in der Schweiz



Quellen:

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4. Bern.
Scherrer S., Kienzler P., Mez M., Schmockler-Fackel P. (2018): Schweizer Hochwasserrekorde. Wasser Energie Luft 110, (4).

Erarbeitet von geo7 im Auftrag des AWEL, Stand Nov. 2023 **geo7**

Bild 3: Die acht Bearbeitungsschritte des Leitfadens zur Festlegung und Plausibilisierung eines Schätzwerts für eine Hochwasserabflussspitze (oben) und Abbildung der spezifischen Hochwasserspitzenabflüsse dokumentierter Hochwasserereignisse (Scherrer et al., 2018) zur Plausibilisierung der Ergebnisse der einzelnen Schätzmethoden, bzw. des gemittelten Endergebnisses (unten).

wurde auch die Hilfestellung bei der Plausibilisierung der Ergebnisse einzelner Schätzmethoden und/oder des gemittelten Schätzwerts. Die Plausibilisierung findet auf drei Ebenen statt. Zuerst wird der Schätzwert relativ zu den Ergebnissen anderer Schätzformeln eingeordnet, dann relativ zu dokumentierten Ereignissen in der Schweiz (Datensatz von Scherrer et al., 2018) und schliesslich relativ zu einer ersten Schätzung der Grössenordnung von der Fachperson aufgrund einer GIS-Analyse und/oder dem Geländeeindruck.

Der Bearbeitungs- und Entscheidungsprozess bei der Abschätzung von Hochwasserabflüssen wird durch die Verwen-

dung des Leitfadens und der Faktenblätter nachvollziehbar. Abweichungen von der üblichen Vorgehensweise müssen bewusst hinterfragt und schliesslich gut begründet und dokumentiert werden. Der Leitfaden und die Faktenblätter richten sich somit an Fachleute mit Grundwissen und Erfahrung in der Hochwasserabschätzung.

Berücksichtigung des Klimawandels

Die Analyse der verwendeten Eingangsparemeter zeigte, dass die meisten der heute verwendeten Schätzmethoden den Klimawandel nicht berücksichtigen können. Viele

Schätzmethoden beruhen auf empirischen Zusammenhängen zwischen Einzugsgebietseigenschaften und dokumentierten Hochwasserspitzenabflüssen, beziehen aber keine Niederschlagsdaten ein. Zu dieser Gruppe gehören die Methoden Müller modifiziert (für Einzugsgebiete < 10 km²), Kürsteiner, Müller-Zeller, GIUB'96, Momente, und BaD7 (für Einzugsgebiete > 10 km²; siehe Tabelle 1). Die letzten drei genannten berücksichtigen zum Teil mittlere Abflussbedingungen aus Messdaten. Die für die Entwicklung dieser Methoden verwendeten Daten sowie auch die Methoden selbst sind mehrere Jahrzehnte alt (Barben, 2003) und umfassen weder die Veränderung in der jüngeren Vergangenheit, noch können sie die projizierten Veränderungen für die Zukunft berücksichtigen. Nur die Methoden Kölla, Taubmann, Modifiziertes Fließzeitverfahren und Clark-WSL (für Einzugsgebiete < 10 km²) und Kölla_meso (für Einzugsgebiete > 10 km²) berücksichtigen Starkniederschläge als Eingangsgrösse und können so in vereinfachter Weise eine Veränderung der Starkniederschläge berücksichtigen.

Neben den Starkniederschlägen werden aber auch die hydrologischen Vorbedingungen einen entscheidenden Einfluss darauf haben, wie sich die Hochwassergefahr in Zukunft verändert (Brunner et al., 2021). Durch eine projizierte Abnahme der mittleren Niederschläge im Sommer (CH2018, 2018) ist in vielen Teilen der Schweiz mittel- bis langfristig von durchschnittlich trockeneren Vorbedingungen in den Sommermonaten auszugehen (BAFU, 2021). Abgesehen von extrem trockenen Bodenbedingungen mit Infiltrationshemmnis könnten trockenere Vorbedingungen die Wirkung der intensiveren Starkniederschläge vielleicht teilweise kompensieren.

Eine Veränderung der Vorfeuchte-Bedingungen wird jedoch bei keiner der heute verbreiteten Hochwasserschätzmethoden berücksichtigt. Eine Integration trockenerer oder feuchterer Vorbedingungen wäre für die Methoden Kölla, Modifiziertes Fließzeitverfahren und Clark-WSL über den Parameter Benetzungsvolumen grundsätzlich vorstellbar. Eine wissenschaftlich fundierte Betrachtung und Empfehlung für ein systematisches Vorgehen und eine richtige Parametrisierung der Methoden fehlen jedoch.

Wichtig ist ebenfalls zu bemerken, dass die Schätzmethoden sehr grossen Unsicherheiten unterworfen sind. Mit den Schätzmethoden lässt sich schon heute bestenfalls eine Grössenordnung der sehr schwer zu quantifizierenden Hochwasser-

spitzen seltener Ereignisse (z. B. 100-jährliches Hochwasser HQ_{100}) ermitteln. Es bleibt deshalb Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen, ob zukünftig prognostizierte Veränderungen durch den Klimawandel die Unsicherheiten der Schätzmethoden übersteigen.

Fazit

Mit den vorgestellten Faktenblättern zu den in der Schweiz häufig verwendeten Hochwasserschätzmethoden und dem Leitfaden zur Bestimmung von plausibilisierten Hochwasserabflussspitzen stehen Fachpersonen ergänzende Hilfsmittel für die Hochwasserabschätzung in Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen zur Verfügung. Nur fünf der heute gängigen Schätzmethoden könnten theoretisch die projizierten Veränderungen von Starkniederschlägen durch den Klimawandel berücksichtigen.

Es besteht somit ein grosser Bedarf an einer Weiterentwicklung praxistauglicher Methoden zur Hochwasserabschätzung in Einzugsgebieten ohne Abflussmessungen unter Berücksichtigung des Klimawandels. Ein grosses Potenzial steckt in Niederschlag-Abfluss-Modellen, welche prozessbasiert die komplexen Zusammenhänge zwischen der Veränderung von Starkniederschlägen und weiteren Aspekten wie Vorfeuchte-Bedingungen besser abbilden können (Ruiz-Villanueva & Molnar, 2020; Viviroli & Weingartner, 2012; Viviroli et al., 2022).

Bis sich neue Methoden etabliert haben, werden die einfachen Schätzmethoden in der Praxis weiterhin Anwendung finden. Die Faktenblätter und der Leitfaden bieten Unterstützung bei der strukturierten, nachvollziehbaren Anwendung und Plausibilisierung der Ergebnisse.

Bezug / Publikation

Die Faktenblätter, der Leitfaden und ein Glossar der verwendeten Fachbegriffe sind auf ENVIDAT (DOI: 10.16904/envidat.454), beim AWEL unter www.zh.ch/naturgefahren sowie bei geo7 unter www.ganlinie.ch frei zum Download verfügbar.



Danksagung

Wir danken *Martin Barben*, *Daria Schmutz*, *Florian Zimmermann*, *Franziska Lindström* und *Sonja Stocker* für Kommentare zu den Faktenblättern sowie *Maïke Schneider* für Textkorrekturen.

Quellen:

BAFU (Hrsg.) (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer: Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2101.

Barben, M. (2003): Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. *Geographica Bernensia* G71, Geographisches Institut der Universität Bern, Bern.

Brunner, M., Swain, D., Wood, R., Willkofer, F., Done, J., Gilleland, E., Ludwig, R. (2021): An extremeness threshold determines the regional response of floods to changes in rainfall extremes. *Nature Communications Earth & Environment* 2:173, S. 2–11. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00248-x>

BWG (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Serie Wasser des BWG Nr. 4, Bern.

CH2018 (2018): CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0

Dobmann (2009): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern. Bern.

HÄDES (2022): Hydrologischer Atlas der Schweiz – Karte B04 Extreme Punktniederschläge, Version 2.0.

Hemund, C., Markart, G., Kohl, B., Dobmann, J., Weingartner, R. (2011): Abschätzung von Oberflächenabflussbeiwerten bei konvektiven Starkregen – Evaluation der Geländeanleitung von Markart et al. (2004) für Schweizer Einzugsgebiete.

Ruiz-Villanueva, V., Molnar, P. (eds) (2020): Past, current, and future changes in floods in Switzerland. Hydro-CH2018 project. Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Switzerland, 89 pp.

Scherrer, S., Kienzler, P., Merz, M., Schmockler-Fackel, P. (2018): Schweizer Hochwasserrekorde. *Wasser Energie Luft*, 110–4, p. 271–276.

Viviroli, D., Sikorska-Senoner, A. E., Evin, G., Staudinger, M., Kauzlaric, M., Chardon, J., Favre, A. C., Hingray, B., Nicolet, G., Raynaud, D., Seibert, J., Weingartner, R., Whealton, C. (2022): Comprehensive space–time hydrometeorological simulations for estimating very rare floods at multiple sites in a large river basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 22:9, S. 2891–2920. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2891-2022>

Viviroli, D., Weingartner, R. (2012): Prozessbasierte Hochwasserabschätzung für mesoskalige Einzugsgebiete. Grundlagen und Interpretationshilfe zum Verfahren PREVAH-regHQ. Beiträge zur Hydrologie

der Schweiz Nr. 39. Hrsg. Schweizer Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL) und Schweizerische Hydrologische Kommission (Chy). Bern.

Wermelinger, S. (2020): Abschätzung von Hochwasservolumina in der Schweiz – Methodenerhebung in der Praxis. Masterarbeit am Geografischen Institut der Universität Zürich. Zürich.

Autorinnen und Autoren:

Michael Rinderer, Catherine Berger, geo7 AG geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 5 – 9, CH-3012 Bern, michael.rinderer@geo7.ch, catherine.berger@geo7.ch

Florian Lustenberger, Massimiliano Zappa, Eidg. Forschungsanstalt WSL; Gebirgshydrologie und Massenbewegungen, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, florian.lustenberger@wsl.ch, massimiliano.zappa@wsl.ch

Christian Schuler, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Abteilung Wasserbau, Walcheplatz 2, 8090 Zürich, christian.schuler@bd.zh.ch

