



17. Dezember 2024

Vorgehenskonzept / Pflichtenheft für die Realisierung von Werkzeugen zur Hochwasserabschätzung

Kommission für Hochwasserschutz,
Wasserbau und Gewässerpflege (KOHS)

Arbeitsgruppe Hydrologie, Phase 2



Impressum
Datum 17.12.2024
Verfasst von der Arbeitsgruppe Hydrologie der Kommission für Hochwasserschutz, Wasserbau und Gewässerpflege (KOHS) André Meng (Leiter der AGR) Robert Bänziger Martin Barben Andy Kipfer Simon Scherrer Daniel Viviroli Andreas Zischg
c/o Basler & Hofmann AG Ingenieure, Planer und Berater
Bachweg 1 Postfach CH-8133 Esslingen T +41 44 387 15 22
Verteiler
KOHS



Inhalt

1	Ausgangslage	4
1.1	Auftrag der Arbeitsgruppe	4
1.2	Auslegeordnung zu den Bedürfnissen und den Datengrundlagen und Entwicklung des Vorschlags Hochwasserabflusskarte	4
2	Pflichtenheft für die Realisierung der Werkzeuge	6
2.1	Zukünftiger Arbeitsablauf bei Hochwasserabschätzungen	6
2.1.1	Ausgangslage.....	6
2.1.2	Neues Vorgehen zur Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten.....	6
2.1.3	Erläuterung des Vorgehens inkl. Plausibilisierung und Prüfung Anforderungen.....	7
2.2	Inhalte / Informationen in der Hochwasserabflusskarte (über die neu ermittelten Hochwasserwerte und Ganglinien hinaus)	11
2.3	Anforderungen an Methoden und Resultate der Hochwasserabflusskarte sowie an die Anbieter	13
2.4	Projekttablauf zur Erstellung der Hochwasserabflusskarte	15
2.5	Plausibilisierung während Erstellung der Hochwasserabflusskarten (QS bei Erarbeitung Hochwasserabflusskarte).....	17
2.6	Kriterien/Anforderungen für Methode(n) zu vertieften hydrologischen Abklärungen (2. Schritt).....	19
3	Alternativen zum Vorgehen gemäss Kapitel 2	20
4	Erste Rückmeldungen zur Hochwasserabflusskarte	23
5	Rückmeldungen Kantone.....	25

1 Ausgangslage

1.1 Auftrag der Arbeitsgruppe

Die KOHS hat Anfang 2020 die Arbeitsgruppe «Hydrologische Grundlagen und Qualitätssicherung» eingesetzt, welche in mehreren Workshops ab April 2020 bis im Sommer 2021 die heutige Praxis der Hochwasserabschätzung analysiert und Vorschläge für Optimierungen erarbeitet hat. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in einem Schlussbericht zusammengefasst und in einem Artikel in der Verbandszeitschrift WEL im Frühling 2022 publiziert¹.

Die Arbeitsgruppe hat im Schlussbericht die Umsetzung von acht Massnahmen prioritär empfohlen. Für die Umsetzung der Massnahmen 4 «Aktualisierung und Ausbau digitale Tools» und 2 «Ausbau/Aktualisierung von Datengrundlagen» wurde Anfang 2023 eine neue Arbeitsgruppe eingesetzt, die «Arbeitsgruppe Hydrologie (Phase 2)».

Der Auftrag bzw. die Ziele der «Arbeitsgruppe Hydrologie (Phase 2)» lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Auslegeordnung zu den Bedürfnissen
 - Übersicht über die bestehenden und aktuell eingesetzten Methoden zur Hochwasserabschätzung. Daraus abgeleitet: Übersicht über die Methoden, die aufgegeben werden und über die Methoden, die aktualisiert werden sollen.
 - Übersicht über neu zu entwickelnde moderne Methoden.
- Übersicht über die vorhandenen und die fehlenden nötigen Datengrundlagen zur Hochwasserabschätzung, inkl. Datengrundlagen für die Plausibilisierung der Ergebnisse
- Pflichtenheft/Konzept für die Realisierung der Werkzeuge mit Start ab 2024

Die Ergebnisse aus den Workshops der «Arbeitsgruppe Hydrologie (Phase 2)» sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst.

1.2 Auslegeordnung zu den Bedürfnissen und den Datengrundlagen und Entwicklung des Vorschlags Hochwasserabflusskarte

Im Rahmen des ersten Workshops der «Arbeitsgruppe Hydrologie (Phase 2)» erfolgte eine Auslegeordnung zu den Bedürfnissen und den Datengrundlagen. Neben dem HADES wurden unter anderem EXAR, EXCH und CAMELS-CH betrachtet. Details können der Tabelle im Anhang 1 entnommen werden. Nachfolgend erfolgt eine kurze Zusammenfassung der Schlussfolgerungen der Arbeitsgruppe:

- Welche Datengrundlagen benötigt werden, hängt ganz direkt von den Methoden ab, die in einer späteren Phase ausgewählt werden.
- Die korrekte Anwendung von HAKESCH oder HQx_meso_CH erweist sich in der Praxis als anspruchsvoll. Bei der Anwendung ohne die erforderlichen hydrologischen Kenntnisse ergeben sich keine belastbaren Hochwasserabschätzungen.

¹ Hydrologische Grundlagen und Qualitätssicherung. Eine Auslegeordnung und Empfehlungen. Wasser, Energie Luft, Heft 1/2022. 1.3.2022, Schweiz. Wasserwirtschaftsverband 5401 Baden

- Die in HAKESCH und HQx_meso_CH hinterlegten Methoden und Formeln sind anhand älterer Daten kalibriert und nicht mehr zeitgemäss, bzw. es stehen heute bessere Methoden zur Hochwasserabschätzung zur Verfügung (Hinweis: in der Praxis werden HAKESCH und HQx_meso_CH weiterhin eingesetzt). Zudem können mit den bisherigen Methoden keine Hochwasserganglinien oder Hochwasservolumina bestimmt werden.
- Aktuelle Methoden zur Hochwasserabschätzung basieren u.a. auf N-A-Modellen. Der Fokus bei der Anwendung soll aus Sicht der Arbeitsgruppe auf verhältnismässig einfache N-A-Modelle gelegt werden, sodass die Randbedingungen und Eingabewerte zur Interpretation und Plausibilisierung der Ergebnisse einfach genutzt werden können.

Auch wenn der Fokus auf verhältnismässig einfache Modelle gelegt wird, ist deren Anwendung deutlich komplexer als die empirischen Ansätze von HAKESCH und HQx_meso_CH. Für den optimalen Einsatz dieser N-A-Modelle werden fundierte Fachkenntnisse verlangt. Im Rahmen der Workshops wurde in der Arbeitsgruppe diskutiert, wie die Qualität der Ergebnisse am besten gewährleistet werden kann, wobei Überlegungen zu geeigneten Werkzeugen zur Hochwasserabschätzung sowie Überlegungen zur Schulung und Zertifizierung von Anbietern einbezogen wurden. Die Dokumentation dieser Überlegungen erfolgte in den Protokollen der Workshops der Arbeitsgruppe sowie zusammenfassend in Kapitel 3 des vorliegenden Berichts, wobei die Arbeitsgruppe nachfolgendes Fazit zieht: Die Erarbeitung der Hochwasserwerte durch ausgewiesene Spezialisten führt zu einer hohen Qualität der Ergebnisse. Eine einheitliche Berechnung über grosse Flussgebiete oder über die ganze Schweiz würde räumlich konsistente Grundlagen für den Hochwasserschutz liefern. **Entsprechend erscheint eine «zentrale» Anwendung über die gesamte Schweiz zielführend.** Die Ergebnisse werden an sogenannten Hydropunkten (Stellen, für die Hochwasserwerte berechnet werden) in einer Hochwasserabflusskarte dargestellt und zur Verfügung gestellt.

Eine Hochwasserabflusskarte soll auf mehreren Modellen / Methoden beruhen, sowohl für Hochwasserspitzen als auch für Ganglinien / Hochwasservolumen. So wird ein Vergleich zwischen den verschiedenen Modellen / Methoden möglich. Grössere Abweichungen der Modelle / Methoden deuten darauf hin, dass je nach Fragestellung eine vertiefte hydrologische Abklärung angezeigt ist.

Mit dem Angebot einer qualitativ hochwertigen Hochwasserabflusskarte für die ganze Schweiz soll verhindert werden, dass ähnliche Produkte mit geringerer Qualität über andere Kanäle entstehen. Das Ziel der KOHS, die Qualität in der Hochwasserabschätzung zu erhöhen, wird mit dieser schweizweiten Hochwasserabflusskarte erreicht.

Auch wenn die Hochwasserabflusskarte zügig erarbeitet wird, liegt diese wohl frühestens in einigen Jahren vor. Teil der «Zwischenlösung» bildet aus Sicht der Arbeitsgruppe die Schulung / Weiterbildung der Spezialist:innen, welche Hochwasserabschätzungen bearbeiten. Die Schulung / Weiterbildung als Massnahme zur Verbesserung der Qualität von Hochwasserabschätzungen war jedoch nicht Aufgabe der Arbeitsgruppe und ist entsprechend nicht Teil des vorliegenden Berichts.

2 Pflichtenheft für die Realisierung der Werkzeuge

2.1 Zukünftiger Arbeitsablauf bei Hochwasserabschätzungen

2.1.1 Ausgangslage

Zur Hochwasserabschätzung in kleinen bis mittelgrossen Einzugsgebieten der Schweiz (bis ca. 100 km²) kommen derzeit meist HAKESCH und HQx_meso_CH zum Einsatz. Die beiden Softwarepakete sind gut 20 Jahre alt. Die darin enthaltenen Methoden und Formeln sind teilweise nicht mehr zeitgemäss und müssten aktualisiert werden:

- Die korrekte Anwendung ist insbesondere bei HAKESCH anspruchsvoll
- Es werden keine Ganglinien erzeugt
- Der Grossteil der Methoden ist an alten Daten kalibriert (d.h. mit kürzeren Abflussmessreihen, veralteten Grundlagen zu den Starkniederschlägen etc.)

Einzelne Ingenieurunternehmungen beginnen, mit eigenen oder auswärts eingekauften Hydrologieprogrammen unbekannter Qualität Dimensionierungsabflüsse zu berechnen. Einzelne Kantone beauftragen private Büros mit der Ermittlung von spezifischen Abflüssen an bezeichneten Gewässerpunkten. Es zeichnet sich somit ab, dass die bisherigen Standards durch aktuelle, qualitativ nicht definierte Methoden abgelöst werden.

2.1.2 Neues Vorgehen zur Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten

Anstelle einer Aktualisierung der bestehenden Werkzeuge wird ein neues, modernes Vorgehen zur Hochwasserabschätzung in kleinen bis mittelgrossen schweizerischen Einzugsgebieten vorgeschlagen (Abbildung 1). Für einen ersten Schritt steht eine Karte zur Verfügung, in welcher Spitzenabflüsse, Hochwasservolumina und Hochwasserganglinien verfügbar sind (Kapitel 2.2). Aufgrund des einheitlichen Vorgehens in der Erarbeitung sind die Werte der Hochwasserabflusskarte vergleichbar und es entstehen keine Sprünge an Grenzen von Bearbeitungsperimetern. Je nach Anwendungsbereich oder wenn die Werte der Karte die Plausibilitätsprüfung nicht überstehen, sind vertiefte hydrologische Abklärungen erforderlich. Für diesen zweiten Schritt sollen ebenfalls einfach anwendbare Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden (Kapitel 2.6).

Nachfolgend wird das in Abbildung 1 dargestellte Vorgehen für den Fall, dass in der Hochwasserabflusskarte zum gewünschten Einzugsgebiet bzw. Gewässer Werte enthalten sind, erläutert (grüner Bereich in Abbildung 1). Sind in der Karte für einen bestimmten Standort keine Werte verfügbar (z.B. weil die Einzugsgebietsfläche eine gewisse Grösse überschreitet), müssen für die Hochwasserabschätzung alternative Wege beschriftet werden (blauer Bereich).

Wo Hochwasserwerte oberhalb des obersten verfügbaren Hydropunkts benötigt werden, können diese beispielsweise flächenproportional abgemindert werden.

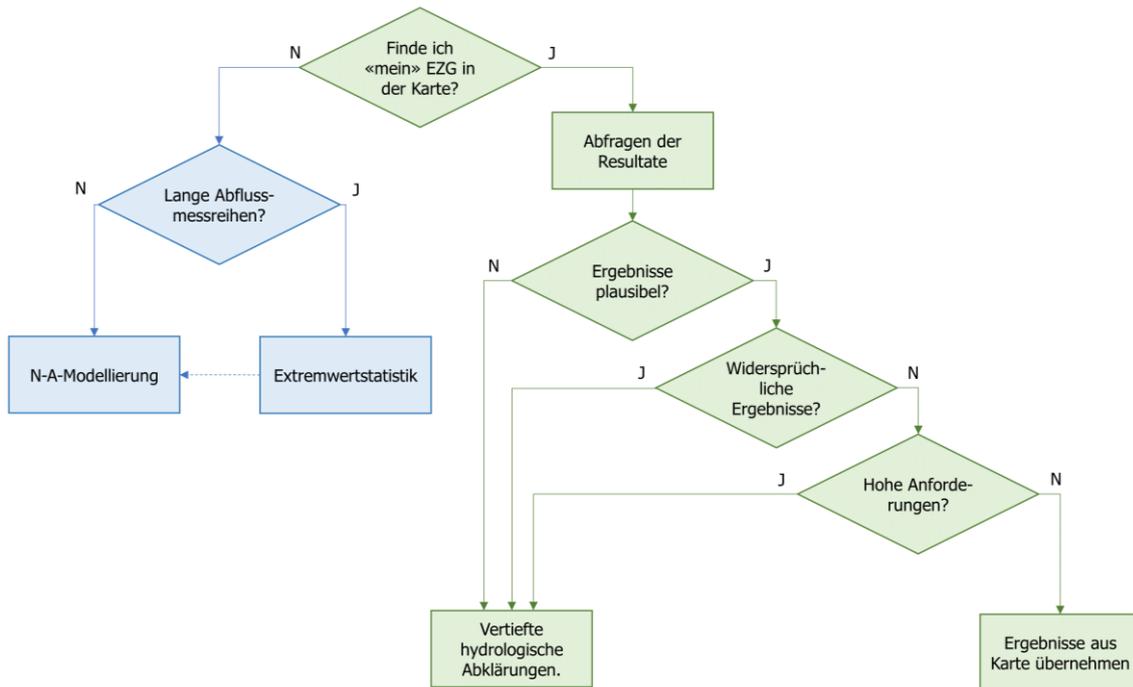


Abbildung 1
 Ablaufschema der Hochwasserabschätzung in kleinen bis mittelgrossen Einzugsgebieten (< ca. 100 km²)

2.1.3 Erläuterung des Vorgehens inkl. Plausibilisierung und Prüfung Anforderungen

Bei einer Hochwasserabschätzung mit Hilfe der Hochwasserabflusskarte stehen mehrere (drei bis vier), vorprozessierte Abschätzungen an zahlreichen sogenannten Hydropunkten zur Verfügung. Den Anwenderinnen und Anwendern werden mit den künftigen Werkzeugen mindestens zwei Entscheidungen abgenommen (oder erleichtert), mit denen sie sich bisher möglicherweise schwergetan haben.

1. Welche Methoden eignen sich für die Hochwasserabschätzung im Einzugsgebiet, das bearbeitet werden soll? Und welche Parameter sind einzusetzen?
2. Gibt es bei den zur Verfügung stehenden Methoden Einschränkungen, die eine Anwendung in "meinem Gebiet" nicht zulassen (z.B. EZG-Fläche, Höhenlage, Landnutzung, etc.)?

Diese Entscheidungen werden ihnen von den Entwicklerinnen und Entwicklern der Hochwasserabflusskarte in Zukunft abgenommen. Es gilt der Grundsatz: *Dort, wo es in der Hochwasserabflusskarte Hydropunkte gibt, liegen Ergebnisse vor.* Das heisst aber noch nicht, dass diese Ergebnisse die gewünschte Qualität aufweisen. Es heisst nur, dass mit ihnen weitergearbeitet werden kann; sie müssen einem Plausibilitätscheck unterzogen werden.

Für die **Plausibilisierung** der vorliegenden Resultate aus der Hochwasserabflusskarte durch die Nutzerin oder den Nutzer gibt es, je nach Datenverfügbarkeit, mehrere Möglichkeiten. Beispielsweise (nicht abschliessend):

- Vergleich mit beobachteten Ereignissen im betreffenden Gebiet und in vergleichbaren benachbarten Gebieten



- Vergleich mit Abschätzungen aus anderen Projekten (zumindest sofern entsprechende Werte verfügbar sind, siehe Kapitel 2.2)
- Beurteilung des Gerinnes (vorhandene Gerinnkapazität)
- Spezifischer Abfluss pro Einzugsgebietsfläche und Einordnung in «Kategorien» bzw. «Einzugsgebietscharakteristiken» (die Bearbeiterin bzw. der Bearbeiter soll prüfen, ob der Wert für die Charakteristik des Einzugsgebiets plausibel ist)
- Ereigniskataster
- Weitere Informationen (z.B. von Feuerwehr, Anwohnern, etc.)

In einer Anleitung zur Hochwasserabflusskarte können diese Möglichkeiten zur Plausibilisierung detaillierter erläutert werden.

Zusätzlich muss im Rahmen der Plausibilisierung geklärt werden, ob die an den Hydropunkten verfügbaren **Brutto-Werte** verwendet werden können oder ob eine vertiefte hydrologische Abklärung unter Berücksichtigung von Wasseraustritten und Retention in der Fläche weiter oberhalb angezeigt ist. Insbesondere in flachen Gebieten können Brutto- und Netto-Werte in der Realität erheblich voneinander abweichen.

Stauanlagen und Hochwasserrückhaltebecken werden gemäss Kapitel 2.3 in der Hochwasserabflusskarte nicht berücksichtigt. Wo Stauanlagen oder Hochwasserrückhaltebecken im Einzugsgebiet vorhanden sind (ergibt entsprechende Warnung bei den Hydropunkten), können die Werte aus der Hochwasserabflusskarte nur eingeschränkt genutzt werden. Fallweise können weitere Informationen zu Hochwasserwerten unterhalb von Stauanlagen / Hochwasserrückhaltebecken der Dokumentation der entsprechenden Bauwerke entnommen werden oder es sind vertiefte hydrologische Abklärungen angezeigt.

In einer nächsten Phase geht es um die Analyse der **Streuung der Ergebnisse**. Diesbezüglich hat sich im Vergleich zum Vorgehen, das vor rund 20 Jahren in der Praxishilfe "Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten" beschrieben wurde, nichts geändert. Es können grundsätzlich zwei Fälle unterschieden werden:

1. Die Abschätzungen aus der Hochwasserabflusskarte liegen in einer vergleichbaren Grössenordnung (vgl. Abbildung 2 links).
2. Die Abschätzungen aus der Hochwasserabflusskarte weisen eine grosse Streuung auf (vgl. Abbildung 2 rechts).

Neu gilt dies auch für die Hochwasserganglinien, indem neben den Spitzenabflüssen auch die Hochwasservolumina gegenübergestellt werden.

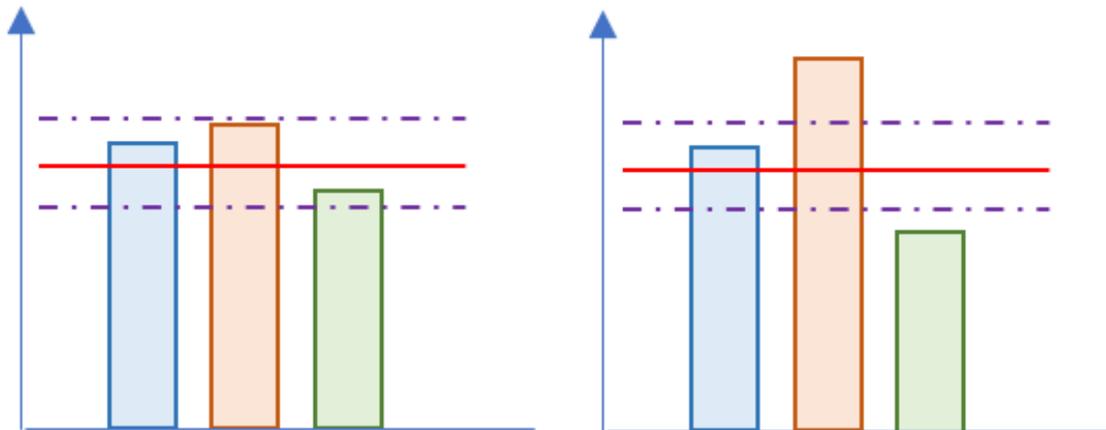


Abbildung 2
 Analyse der Streuung der Ergebnisse

Zusätzlich zu den Werten der Spitzenabflüsse und Hochwasservolumina werden auch die Hochwasserganglinien grafisch dargestellt, sodass diese bezüglich ihrer Form verglichen werden können.

Im **ersten Fall (kleine Streuung)** kann man davon ausgehen, dass mit den Methoden aus der Hochwasserabflusskarte eine vernünftige Hochwasserabschätzung durchgeführt werden kann. Wie aus den Werten der einzelnen Methoden das Bemessungshochwasser ermittelt wird, kann nicht im vorliegenden Pflichtenheft festgelegt werden. Das Vorgehen wird abhängig davon sein, auf wie viele Teilergebnisse zurückgegriffen werden kann. Man kann sich vorstellen, dass die eine oder andere Methode in einen oder anderen Fall besser abschneidet als die anderen und deshalb ein grösseres Gewicht erhalten sollte. Die Grundlagen, wann welche Methode zu bevorzugen wäre, liefern evtl. die Erfahrungen, die bei der Entwicklung der Hochwasserabflusskarte gesammelt werden. Bei der Gewichtung der Ergebnisse der Methoden kann/soll auch die Erfahrung der Bearbeiterinnen und Bearbeiter einfließen.

Im **zweiten Fall (grosse Streuung)** müssen die Resultate der verschiedenen Methoden genauer untersucht werden. Das kann allerdings nur mit fachkundigem Personal gelingen. Es wird deshalb dringend empfohlen, dass zusammen mit der Publikation der Hochwasserabflusskarten Schulungen zum Umgang mit den neuen Werkzeugen angeboten werden.

Findet man Gründe, weshalb eine Methode im konkreten Fall unplausible Resultate liefert, kann entweder korrigierend (z.B. bei der Gewichtung der Teilergebnisse) eingegriffen werden oder dieses Modellergebnis wird aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Gelingt es nicht, Widersprüche aufzulösen, muss man sich die Frage stellen, ob es im konkreten Fall angezeigt ist, eine vertiefte hydrologische Abklärung vorzunehmen.

Als Kriterium für die Veranlassung einer vertieften hydrologischen Abklärung sollen im Sinne eines **Anforderungschecks** die Konsequenzen einer Änderung am (Dimensionierungs-) Abfluss mitberücksichtigt werden. Wenn beispielsweise nicht entscheidend ist, ob das HQ_{100} 5 oder $10 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt, dann drängt sich eine vertiefte Abklärung viel weniger auf, als wenn es gravierende Folgen für das Ausbauprojekt hat (Leitfrage: Was sind die Konsequenzen eines etwas höheren Hochwasserabflusses auf das Projekt?). Das entspricht der heute gängigen Praxis: Eine Expertise wird im Rahmen von Ausbauprojekten dann angefordert, wenn eine Veränderung des Hochwasserabflusses einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten hat.



Als weiteres Kriterium können die Gesamtkosten des erforderlichen Ausbaus mitberücksichtigt werden. Bei einem Grossprojekt wird ohnehin eine vertiefte hydrologische Abklärung gemacht, da der Aufwand verhältnismässig ist. Dies gilt hingegen nicht bei einem kleinen "Wiesenbach", auch wenn die Unsicherheit dort gross ist.

Weiter ist das Schadenpotential ein Kriterium im Rahmen des Anforderungschecks. Bei einem grossen Schadenpotential sind vertiefte hydrologische Abklärungen auch dann angezeigt, wenn die Abschätzungen aus der Hochwasserabflusskarte in einer vergleichbaren Grössenordnung liegen.

2.2 Inhalte / Informationen in der Hochwasserabflusskarte (über die neu ermittelten Hochwasserwerte und Ganglinien hinaus)

In die Hochwasserabflusskarte sollen neben den neu ermittelten Hochwasserwerten und -ganglinien auch Informationen zum Einzugsgebiet sowie Links zu den Geoportalen der Kantone mit bereits bestehenden Hochwasserwerten aus anderen Quellen integriert werden können. Dies erleichtert den Zugang zu Informationen und führt langfristig zu einem Wissensgewinn.

Die in Tabelle 1 enthaltenen Informationen sollen zur Einordnung der Spitzenabflüsse und Hochwasserganglinien neben den Hochwasserwerten mindestens pro Hydropunkt erfasst werden (kursive Inhalte müssen nicht auf einem Portal dargestellt werden).

Name	Beschreibung
Nummer	Eindeutige Nummer des Hydropunkts
E-Koordinate	
N-Koordinate	
Höhe Hydropunkt in m ü.M.	Höhe des Hydropunkts
Höhe in m ü.M.	Mittlere Höhe des Einzugsgebiets des Hydropunkts
Fläche Einzugsgebiet	Ausdehnung des modellierten Einzugsgebiets in km ²
PSI	Mittlerer Abflussbeiwert
Konzentrationszeit	Konzentrationszeit in min bei einer Wiederkehrperiode von x Jahren
Niederschlag	Intensitätswert Niederschlag in mm/h bei einer Wiederkehrperiode von x Jahren
<i>Methodik</i>	<i>Verwendete Methodik</i>
Datum	Datum der Berechnung
<i>Datenquelle</i>	<i>Herkunft der Daten</i>
Bemerkungen	Ergänzende Angaben

Tabelle 1
Informationen zum Einzugsgebiet, Gebietseigenschaften

Als zukünftige Ausbaumöglichkeit könnte in der Hochwasserabflusskarte auch ein Gefäss geschaffen werden, **bestehende (sorgfältig ermittelte) Hochwasserwerte zu integrieren**. Diese Werte können z.B. aus den folgenden Grundlagen stammen:

- Bestehende hydrologische Studien
- Hochwasserschutz- oder Revitalisierungsprojekte
- Ereignisanalysen und Analysen historischer Hochwasser
- Gefahrenkarte

Um den Initialaufwand für die Erarbeitung der Hochwasserabflusskarte und insbesondere den Aufwand für den zukünftigen Betrieb und die Nachführung zu begrenzen, empfiehlt die Arbeitsgruppe, zunächst auf diese Ausbaumöglichkeit zu verzichten. Als reduzierte Form können die Links zu den Geoportalen der Kantone, auf welchen zusätzliche Informationen abrufbar sind, in die Hochwasserabflusskarte integriert werden.

Im Falle einer Umsetzung der Ausbaumöglichkeit soll das Gefäss für Hochwasserwerte aus anderen Quellen offen gestaltet werden, damit Angaben bei Bedarf ergänzt werden können. Die geografische Lage dieser Informationen muss sich nicht mit den Hydropunkten der Hochwasserabflusskarte decken.

2.3 Anforderungen an Methoden und Resultate der Hochwasserabflusskarte sowie an die Anbieter

Die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Anforderungen müssen für eine Ausschreibung in einem Pflichtenheft noch detaillierter ausgearbeitet werden.

Die Methoden, welche für die Berechnung der Hochwasserwerte an den Hydropunkten zur Anwendung kommen, müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Berechnung der Hochwasserabflüsse gemäss nachfolgenden Spezifizierungen für sämtliche Hydropunkte
- Transparent und nachvollziehbar bezüglich verwendeter Grundlagen und Methoden (Berechnung, Modellparameter, gewählte Vorfeuchte, etc.)
- Berücksichtigung von unterschiedlichen Dauerstufen bzw. Ereignisdauern, insbesondere für die Ganglinien / Volumina
- Zeitliche Umsetzung innerhalb von 1 – 2 Jahren, damit die gesamte Hochwasserabflusskarte innerhalb der nächsten ca. 5 Jahre umgesetzt werden kann

Diese Anforderungen müssen entsprechend einer Nutzungsvereinbarung oder Zieldefinition noch weiter präzisiert werden.

An sämtlichen Hydropunkten sollen für alle Methoden folgende **Resultate** zur Verfügung stehen:

- Spitzenabflüsse HQ_{10} / HQ_{30} / HQ_{100} / HQ_{300} (und allenfalls Angabe einer Verteilfunktion, um beliebige Jährlichkeiten zu interpolieren)
- Ganglinien / Volumina HQ_{10} / HQ_{30} / HQ_{100} / HQ_{300}
- Verwendete Gebietseigenschaften und Modellparameter
- Verwendete Niederschlagsintensität und -menge sowie Dauerstufe

Diese Anforderungen müssen entsprechend einer Nutzungsvereinbarung oder Zieldefinition noch weiter präzisiert werden.

An den Hydropunkten zu berechnen sind grundsätzlich die **Bruttoabflüsse** (wie auch in der Gefahrenkartierung üblich), ohne die Berücksichtigung von Wasseraustritten und (natürlicher) Retention in der Fläche oberhalb. Wenn die Wasseraustritte und Retention in der Fläche einen grossen Einfluss haben und auch langfristig bestehen bleiben (bewusst kein Ausbau der Gerinnekapazität zur Nutzung der Retention ausserhalb des Siedlungsgebiets), sind vertiefte hydrologische Abklärungen erforderlich, welche über die Hochwasserabflusskarte hinausgehen. Eine Berücksichtigung der Retention in der Fläche, d.h. die Berechnung von Nettoabflüssen, würde die Komplexität und damit die Kosten deutlich erhöhen.

Stauanlagen oder Hochwasserrückhaltebecken können einen erheblichen Einfluss auf die Hochwasserwerte haben. Die Beschaffung der Grundlagen und Berücksichtigung in den Modellen verursacht jedoch einen grossen Aufwand. Die Arbeitsgruppe empfiehlt deshalb im Sinne der Reduktion des Aufwands und der Kosten für die Hochwasserabflusskarte (Initialaufwand und Betrieb / Nachführung), die Stauanlagen und Hochwasserrückhaltebecken in den Modellen nicht zu berücksichtigen. Bei Hydropunkten mit Stauanlagen oder Hochwasserrückhaltebecken im Einzugsgebiet soll jedoch eine Warnung erscheinen, dass die Werte aus der Hochwasserabflusskarte nur eingeschränkt genutzt werden können (siehe Kapitel 2.1).

Die Anbieter von Methoden müssen zum Nachweis und zur Beurteilung ihrer **Eignung** Fachkompetenz in folgenden Themen / Bereichen nachweisen:

- Fachwissen in Hydrologie, insbesondere statistische Ansätze und Niederschlag-Abfluss-Modellierung



- Hochwasserabschätzungen und entsprechende Plausibilisierungen für eine grössere Anzahl von Hydropunkten
- Datenmanagement und Erfahrung im Umgang mit grossen Datenmengen an Geodaten

Die Gewichtung der Anforderungen soll so gewählt werden, dass die hydrologische Fachkompetenz am höchsten gewichtet wird.

Die dafür vorgebrachten Referenzen sollen für folgende Anwendungsfälle relevant sein:

- Einzugsgebiete 1 bis 100 km²
- Minimale Zeitschritte von deutlich unter einer Stunde
- Mit der Schweiz vergleichbare Region: Gemässigte Klimaregion mit komplexer Topographie und variabler Geologie/Geomorphologie

Als wesentlicher Bestandteil der **Auftragsanalyse** wird ein Beschrieb gefordert, wie die Plausibilisierung und interne Qualitätssicherung während der Erarbeitung der Hochwasserwerte erfolgt (z.B. Eichung in Testgebieten).

2.4 Projektablauf zur Erstellung der Hochwasserabflusskarte

Der Projektablauf zur Erstellung der Hochwasserabflusskarte wird nachfolgend beschrieben. Folgende **Teilschritte** können unterschieden werden:

- Festlegung der Hydropunkte der Hochwasserabflusskarte, Vorarbeit Grundlagen und Erarbeitung der weiteren Inhalte / Informationen der Hochwasserabflusskarte gemäss Kapitel 2.2 (vorgängig Erstellung eines Pflichtenhefts / Leistungsverzeichnis, Einholung von Offerten, Bewertung der Offerten und Vergabe der Arbeiten)
- Auswahlverfahren der Methoden / Modelle für die Hochwasserabflusskarte gemäss den Kriterien / Anforderungen in Kapitel 2.3 (vorgängig Erstellung eines Pflichtenhefts / Leistungsverzeichnis, Einholung von Offerten)
- Erarbeitung der Hochwasserwerte in einem oder mehreren Testgebieten mit anschliessender Prüfung gemäss Kapitel 2.5
- Erarbeitung der Hochwasserwerte an den festgelegten Hydropunkten der Hochwasserabflusskarte inkl. Plausibilisierung während der Erstellung der Hochwasserabflusskarte gemäss Kapitel 2.5
- Technische Umsetzung der Hochwasserabflusskarte
- Erstellen Anwendungshilfe / Praxishandbuch für die Hochwasserabflusskarte
- Konzept für Unterhalt / Nachführung

Unabhängig von den eigentlichen Berechnungen kann die **Festlegung der Hydropunkte** für die Hochwasserabflusskarte erfolgen. Mögliche Kriterien können sein:

- Brücken bzw. Beginn von Eindolungen
- Zusammenflüsse
- Eintritt in Perimeter Gefahrenkartierung
- Zumindest alle 500 m im Perimeter Gefahrenkartierung

Zudem können von mehreren / allen Methoden verwendete **Grundlagen** durch einen Bearbeiter / eine Bearbeiterin vorbereitet werden (z.B. Standorte von Stauanlagen und Hochwasserrückhaltebecken). Dieser Bearbeiter / diese Bearbeiterin kann auch die Erarbeitung der **über die Hochwasserwerte hinausgehenden Inhalte / Informationen** der Hochwasserabflusskarte gemäss Kapitel 2.2 übernehmen.

Für die Festlegung der Hydropunkte, die Vorbereitung der Grundlagen und die Erarbeitung der weiteren Inhalte / Informationen soll eine eigene Ausschreibung erfolgen.

In Kapitel 2.3 werden Kriterien / Anforderungen für die Methoden der Hochwasserabflusskarte definiert. Basierend darauf und mit den festgelegten Hydropunkten kann ein Pflichtenheft / Leistungsverzeichnis (inkl. Definition abzugebende Datenformate, Bewertungsraster für Auswahl der Methoden, etc.) erstellt werden und eine Ausschreibung erfolgen, in welcher sich **Firmen / Organisationen mit Methoden / Modellen bewerben** können. Die eingegangenen Bewerbungen werden durch ein Fachgremium auf ihre Eignung geprüft (Abschätzung, ob die offerierten Methoden die verlangten Resultate erzeugen können, Bewertung / Beurteilung der Methoden), wobei die 3 bis 4 geeignetsten Methoden und Modelle ausgewählt werden. Bei der Auswahl der Methoden / Modelle wird zudem darauf geachtet, dass diese auf möglichst unterschiedlichen Ansätzen beruhen, sodass mittels Betrachtung der Streuungen der Resultate auch tatsächlich eine Einschätzung der Nutzbarkeit der Angaben aus der Hochwasserabflusskarte erfolgen kann (siehe Kapitel 2.1). Ein Anbieter kann mehrere Methoden offerieren, um das Risiko zu reduzieren, dass er infolge einer zu ähnlichen Methode eines anderen Anbieters nicht berücksichtigt wird.

Die ausgewählten Firmen / Organisationen berechnen anschliessend **an den festgelegten Hydropunkten die Hochwasserwerte** (Spitzenabflüsse, Ganglinien, Volumina für verschiedene Jährlichkeiten). Für die berechneten Hochwasserwerte (Spitzenabflüsse, Hochwasservolumina, Spitzenabfluss-Volumen-Beziehungen) erfolgt im Rahmen der Bearbeitung eine Plausibilisierung gemäss der Beschreibung in Kapitel 2.5. Die Berechnungen und Plausibilisierungen erfolgen zuerst für ein (oder mehrere) Testgebiet und erst nach dessen Freigabe für sämtliche Hydropunkte.

Der letzte Teilschritt ist die **technische Umsetzung der Hochwasserabflusskarte**, möglicherweise als Teil des Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES). Dafür soll eine eigene Ausschreibung erfolgen, welche als Option auch den Unterhalt und die Nachführung der Hochwasserabflusskarte beinhaltet. Der Bearbeiter / die Bearbeiterin integriert die erarbeiteten Daten für alle Hydropunkte in die Hochwasserabflusskarte und macht die Hochwasserabflusskarte verfügbar.

Mit der Veröffentlichung der Hochwasserabflusskarte soll auch **eine Anwendungshilfe bzw. ein Praxishandbuch** veröffentlicht werden. Die Erarbeitung kann entweder durch die Gesamtprojektleitung erfolgen oder in Auftrag gegeben werden, z.B. an die Bearbeiterinnen und Bearbeiter, welche auch die Hydropunkte festlegen.

Der **Unterhalt und die Nachführung** der Hochwasserabflusskarte kann wie oben beschrieben mit der technischen Umsetzung ausgeschrieben werden. Die Nachführung / Neuberechnung von Hochwasserwerten kann entweder durch die ausgewählten Anbieter der Erstbearbeitung oder durch neue Anbieter mit weiteren Modellen erfolgen. Eine Abhängigkeit von den Anbietern der Erstbearbeitung kann damit vermieden werden. Dies erscheint der Arbeitsgruppe ausfolgenden Überlegungen wichtig:

- Die Hochwasserwerte sollen eine gewisse Beständigkeit haben und nur aktualisiert werden, wenn sie sich aufgrund neuer Grundlagen oder Erkenntnisse deutlich ändern.
- Entsprechend ist eine Aktualisierung der Hochwasserwerte nur in grossen Zeitabständen (> 10 Jahre) vorgesehen, sodass nicht gewährleistet werden kann, dass die bearbeitenden Firmen zum Zeitpunkt einer Aktualisierung noch bestehen und weiterhin in der Lage sind, die Aktualisierungen zu bearbeiten.



2.5 Plausibilisierung während Erstellung der Hochwasserabflusskarten (QS bei Erarbeitung Hochwasserabflusskarte)

Die **Qualitätssicherung** bei der Erstellung der Karten erfolgt **auf verschiedenen Ebenen**, zuerst für Testgebiete und schliesslich für den gesamten Datensatz. In erster Linie sieht die Arbeitsgruppe die Qualitätssicherung bei einer Hochschule oder der WSL.

1) **Wissenschaftliches Review** der Methoden und Bewertung aufgrund der wissenschaftlichen Grundlage (publiziert), Transparenz (offener Quellcode oder zumindest sehr genaue Beschreibung der Methodik), Nachvollziehbarkeit (Reproduktion der Ergebnisse durch Dritte), Nachweis der Übertragbarkeit. Dieser Schritt wird entweder bei der Evaluation der Offerten oder nach der Bearbeitung eines Pilotgebietes und vor der Umsetzung auf die gesamte Schweiz durchgeführt.

2) Für ausgewählte Einzugsgebiete mit guten Grundlagendaten (v. a. lange beobachtete Reihen des Abflusses) wird eine **quantitative Validierung** durchgeführt. Dabei wird geprüft, ob die – unter Weglassen der Daten des jeweils betrachteten Einzugsgebietes – abgeschätzten Spitzenabflüsse und Spitzenabfluss/Volumen-Beziehungen mit beobachteten und gemessenen/rekonstruierten Ereignissen (inkl. extremwertstatistisch hergeleitete Hochwasserabflüsse) übereinstimmen. Zu beachten ist dabei, dass die Hochwasserabflusskarte im Gegensatz zu den Messstellen Brutto-Werte angibt.

3) Der **gesamte Datensatz** wird einer Plausibilisierung unterzogen. Hierbei wird statistisch und heuristisch geprüft, ob die modellierten Daten physikalisch plausibel und im Rahmen der bisher in der Schweiz beobachteten oder erwarteten Grössenordnungen entsprechen. Es werden A) die Spitzenabflüsse für die einzelnen Wiederkehrperioden, als Abflusspenden abhängig von der Einzugsgebietsfläche (spezifische Abflüsse), schweizweit visualisiert und statistisch ausgewertet und so auf Anomalien und Gesetzmässigkeiten geprüft. Dabei wird B) nach Region, Flusseinzugsgebiet, Landschaftseinheit, Wiederkehrperiode und Modell unterschieden. Eine weitere Plausibilitätsprüfung erfolgt durch C) die Analyse der Eigenschaften der Zunahme der Abflüsse entlang von Flussläufen mit grösser werdenden Einzugsgebietsflächen. Plötzliche Sprünge oder Unregelmässigkeiten sollten so erkannt werden. Die Daten werden ausserdem D) hinsichtlich der Lage oberhalb oder unterhalb von hydrologisch relevanten Bauten (Rückhaltebecken, Stauwerke) geprüft. E) Die Ergebnisse der verschiedenen Modelle werden miteinander verglichen und daraus Schlussfolgerungen für die Interpretationshilfe abgeleitet, zur Beantwortung der Frage nach den Übereinstimmungen bzw. Differenzen der Modelle in den verschiedenen Regionen. F) Die höchsten Abflüsse der Modelle (oberste Limite) werden mit Hüllkurven pro Region (abgeleitet z.B. aus dem Datensatz "Verzeichnis grosser Hochwasserabflüsse in Schweizer Einzugsgebieten"; Kienzler und Scherrer 2018, Bericht für das BAFU) verglichen. Es wird aufgezeigt, wo die Modellergebnisse die erwarteten Abflussmaxima überschreiten. G) Vergleich der Spitzenabflüsse mit Gebietskenngrössen (z.B. Gerinnelänge oder Höhendifferenz; es ist allerdings zu beachten, dass solche Kenngrössen möglicherweise bereits für die Parametrisierung der Modelle verwendet wurden).

Optional und explorativ könnte als **komplementärer Ansatz** die folgende Plausibilisierungsmethode weiterentwickelt und getestet werden: Es werden probabilistische Hüllkurven nach Castellarin et al. (2005) und Vogel et al. (2007) für die Schweiz entwickelt, welche eine Differenzierung nach Wiederkehrperioden erlauben würden. Die Methodik benötigt allerdings lange Reihen von jährlichen Spitzenabflüssen, welche in kleinen Einzugsgebieten selten sind. Die Machbarkeit und Übertragbarkeit dieser Methode für die Schweiz müsste deshalb abgeklärt werden. Eine weitere explorative Methode zur Plausibilisierung wäre die Analyse und Visualisierung der Abflusskoeffizienten, wobei die automatisierte Bearbeitung einer grossen Anzahl von Schätzergebnissen bedeutenden methodischen Hindernissen gegenübersteht (Konzentrationszeiten, sowie die Position der Zeitfenster, welche für die Aufsummierung von Niederschlag und Abfluss verwendet werden).

4) Prüfung (Review) der **Methode der Extremwertstatistik** und des Ansatzes für Extra- und Interpolation von Daten.

Aus der Validierung und Plausibilisierung wird eine **wertvolle Grundlage für das Verfassen der Interpretationshilfe**. Die Analysen geben eine Übersicht, welche der Modelle allenfalls zu eher hohen oder tiefen Schätzungen führen. Weiter ist eine regionale Plausibilisierung von Vorteil, wenn empfohlen werden soll, in welcher Region welches Modell die plausibelsten Resultate ergibt.

Zusätzlich zur oben beschriebenen Qualitätssicherung, wie sie z.B. durch eine Hochschule oder die WSL erfolgen kann, soll den **Kantonen** die Möglichkeit gegeben werden, die Hochwasserwerte auf ihrem Kantonsgebiet zu plausibilisieren und eine Einschätzung ans Bearbeitungsteam zurückzumelden.

Literatur:

Castellarin A, Vogel RM, Matalas NC, 2005. Probabilistic behavior of a regional envelope curve. Water Resources Research, 41(6). doi:10.1029/2004WR003042.

Kienzler PM, Scherrer S, 2018. Verzeichnis grosser Hochwasserabflüsse in Schweizerischen Einzugsgebieten. Auswertung und graphische Aufbereitung, Reinach. https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--methoden/grosse_hochwasserabflusse-2.html.

Vogel RM, Matalas NC, England Jr., John F., Castellarin A, 2007. An assessment of exceedance probabilities of envelope curves. Water Resources Research, 43(W07403).



2.6 Kriterien/Anforderungen für Methode(n) zu vertieften hydrologischen Abklärungen (2. Schritt)

Für eine vertiefte hydrologische Abklärung gemäss Kapitel 2.1 (Abb. 1) wird ein **N-A-Modell** empfohlen, entweder wie die Abflussprozesskarte zentral als Online-Tool oder lokal bei den jeweiligen Fachspezialist:innen. Ein solches Modell soll mit **regionalisierten Modell-Parametern** laufen. Für das zu untersuchende Einzugsgebiet müssen lange kontinuierliche, synthetisch generierte Meteo-Reihen als Input zur Verfügung stehen. Der Output kann anschliessend individuell ausgewertet werden: Extremwertanalyse (Hoch- und Niedrigwasser), Betrachtung der Volumina, Analysen zur Bodenfeuchte und zum Grundwasser etc.

- N-A-Modell (mit regionalisierten Modell-Parametern)
- Lange, generierte Meteo-Reihen (N und T); zeitliche Auflösung so fein als möglich; 10 Minuten wären ideal.
Hier hat man die Möglichkeit, mit dem Input zu "spielen", → Meteo-Input mit vereinfachter Berücksichtigung der Klimaänderung
- Möglichkeit, eigenen Meteo-Input ins Modell einzuspeisen. Damit ist man in einem Projekt maximal flexibel bei der Szenarien-Bildung.
- Output von kontinuierlichen, langen Reihen; nicht nur Abfluss, auch Verdunstung, Bodenfeuchte, Grundwasser etc.
- Evtl. einfache Hilfestellung für die Auswertung der modellierten Ganglinien (z.B. Extremwertanalyse der Abflussspitzen oder der Volumina)

Die nachfolgend aufgeführten **Modellparameter sollen dabei aufgrund von Gebietskenntnissen angepasst werden können:**

- Abgrenzung Einzugsgebiet aufgrund Feststellung im Gelände (z.B. «Ausleitung» aus dem Einzugsgebiet oder Zuflüsse aus einem anderen Einzugsgebiet über quer verlaufende Strassen, besondere Fliesswege durch Durchlässe (z.B. Bahndamm))
- Einfluss der Siedlungsentwässerung, z.B. Berücksichtigung Regenüberläufe der Kanalisation (z.B. vereinfacht über vom Benutzer definierte Zu- / Abflussmengen)
- Die Abflussfreudigkeit des Bodens sowie mögliche Zwischenspeicher aufgrund von Erhebungen im Feld

Ein N-A-Modell dieser Art kann – nach einer entsprechenden Neukalibrierung der Modellparameter – auch in anderen Anwendungsbereichen neben der Hochwasserabschätzung eingesetzt werden (Niedrigwasser-Analyse, ökologische Beurteilungen etc.).



3 Alternativen zum Vorgehen gemäss Kapitel 2

Die Erarbeitung einer Hochwasserabflusskarte gemäss dem in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehen bedeutet einen grossen Aufwand mit entsprechend hohen Kosten. Die Arbeitsgruppe ist der Ansicht, dass der erreichte Nutzen die zu erwartenden Kosten deutlich übersteigt. Falls trotzdem keine Finanzierung der Erstellung der Hochwasserabflusskarte möglich ist, wird nachfolgend als **Rückfallebene** eine Alternative beschrieben.

Es werden **keine vorprozessierten Hochwasserwerte an Hydropunkten** in einer Karte dargestellt. Hochwasserabschätzungen werden von ausgewiesenen (zertifizierten) Fachpersonen auf Anfrage durchgeführt. Die Anbieter dieser Dienstleistung sind spezialisierte Büros im Naturgefahrenbereich, die sich seit Jahren mit der Anwendung oder Entwicklung von Werkzeugen für die Hochwasserabschätzung beschäftigen. Dies können dieselben Anbieter sein, die sich für die Arbeiten an der Hochwasserabflusskarte bewerben könnten.

Um die Qualität der Hochwasserabschätzungen zu erhöhen, kann eine **Zertifizierung für Anbieter von Hochwasserabschätzungen** erfolgen. Im Rahmen der Zertifizierung werden die Fachkenntnisse der Anbieter geprüft, unter anderem zur Berechnung von Hochwasserspitzen, Hochwasservolumina und Hochwasserganglinien in Testeinzugsgebieten. In den Projekten würde dann die Hochwasserabschätzung jeweils auf Anfrage innerhalb einer vorgegebenen Frist erfolgen, auf Kosten und zugeschnitten auf die Anforderungen der jeweiligen Projekte. Ähnliche Berechtigungen kennt man bereits z.B. im Bereich Grundbuchvermessung, Altlasten, Bodenverschiebungen, Brandschutz, etc.

Auch dieses System mit Zertifizierung bedeutet einen **Aufwand**. Einerseits muss eine Organisation für die Zertifizierung aufgebaut werden, andererseits müssen möglicherweise die Anbieter für die Zertifizierung (teilweise) entschädigt werden. Zudem entstehen in den Projekten, welche Hochwasserabschätzungen benötigen, höhere Kosten als mit einer Hochwasserabflusskarte (sofern gemäss Vorgehen in Kapitel 2.1 keine vertieften hydrologischen Abklärungen erforderlich werden). Die Kosten in den Projekten werden allerdings nicht höher als heute. Die Bearbeitung der Hydrologie erfolgt nicht mehr durch das projektierende Büro, sondern sie wird an externe Spezialisten vergeben. Diese Arbeitsteilung ist möglicherweise effizienter als beim Status quo, da keine Zeit für Softwareinstallationen und für die Lektüre von Handbüchern und Fachliteratur aufgewendet werden muss.

In Tabelle 2 werden die **Vor- und Nachteile** von Hochwasserabflusskarte gemäss Kapitel 2 sowie der oben beschriebenen Rückfallebene mit der Zertifizierung von Anbietern von Hochwasserabschätzungen gegenübergestellt. Weiter sind auch die Vor- und Nachteile einer Aktualisierung von HAKESCH und HQx_meso_CH aufgeführt.



Kriterium	Hochwasserabflusskarte	Berechnung auf Anfrage durch zertifizierte Anbieter	Aktualisierung HAKESCH und HQx_meso_CH
Einheitlichkeit	Einheitliche Berechnung über die gesamte Schweiz und damit einheitliche Grundlagen für den Hochwasserschutz.	Eingeschränkte Einheitlichkeit aufgrund verschiedener, aber begrenzter und zertifizierter, Bearbeitenden.	Keine Einheitlichkeit infolge zahlreicher Anwender.
Qualität durch Einsatz mehrerer Methoden	Bei jedem Hydropunkt sind Werte aus 3 bis 4 Methoden vorhanden, sodass als Teil der Plausibilisierung die Streuung betrachtet werden kann.	Anwendung einer oder mehrerer Methoden des jeweiligen zertifizierten Anbieters (die Anwendung mehrerer Methoden könnte für die Zertifizierung verlangt werden)	Anwendung mehrerer Methoden durch den Anwender.
Gesicherte Qualität der Hochwasserabschätzung	Erarbeitung der Hochwasserwerte durch ausgewiesene Spezialisten. Qualitätssicherung gemäss Kapitel 2.5. Zufälliger Fehler mit Massenanwendung reduziert. Lokale Besonderheiten müssen im Rahmen der Plausibilisierung durch den Anwender erkannt werden, um eine vertiefte hydrologische Abklärung zu veranlassen.	Erarbeitung der Hochwasserwerte durch zertifizierte Spezialisten. Qualitätssicherung muss in den anbietenden Firmen erfolgen. Hinweise auf lokale Besonderheiten und Einschätzung. Erfordernis einer vertieften hydrologischen Abklärung durch Hydrologie-Spezialisten.	Die Qualität der Hochwasserabschätzung wird gegenüber dem heutigen Zustand nicht wesentlich verbessert.
Zeitliche Konsistenz	Die Erarbeitung erfolgt in einem begrenzten Zeitraum. Die Nachführung lässt sich zwar steuern, infolge des Aufwands für die Nachführung besteht aber wenig Flexibilität, neue Erkenntnisse rasch umzusetzen.	Mit veränderten Grundlagen (z.B. Hydromaps) verändert sich die Hochwasserabschätzung laufend. Dies erleichtert einerseits den Einbezug neuer Erkenntnisse, kann aber gleichzeitig die Planungssicherheit bei längeren Projektdauern erschweren. Insgesamt ist eine grosse Flexibilität vorhanden.	Mit veränderten Grundlagen (z.B. Hydromaps) verändert sich die Hochwasserabschätzung laufend.
Räumliche Konsistenz	Die Hochwasserwerte sind dank «zentraler» Erarbeitung räumlich konsistent.	Mit der individuellen Bearbeitung ist die räumliche Konsistenz nicht gegeben, trotz Zertifizierung.	Mit der individuellen Bearbeitung ist die räumliche Konsistenz nicht gegeben.
Flexibel je nach Anforderungen	Die Werte an den Hydropunkten stehen einheitlich zur Verfügung. Je nach Anforderungen sind aber auch mit der Hochwasserabflusskarte vertiefte hydrologische Abklärungen vorgesehen.	Die Anbieter können flexibel auf die Anforderungen reagieren und bei Bedarf auch gleich vertiefte hydrologische Abklärungen vornehmen.	Die Anwender können flexibel auf die Anforderungen reagieren.
Hochwasservolumen und Hochwasserganglinien	Neben den Spitzenabflüssen sind auch Hochwasservolumen und Hochwasserganglinien verfügbar.	Neben den Spitzenabflüssen sind bei Bedarf auch Hochwasservolumen und Hochwasserganglinien verfügbar.	Hochwasservolumen und Hochwasserganglinien lassen sich aufgrund der Komplexität nur schwer in eine Weiterentwicklung von HAKESCH oder HQx_meso_CH integrieren.
Zentrales Portal für Hochwasserwerte	Ja, integraler Bestandteil des Vorhabens.	Könnte zusätzlich erstellt werden (z.B. analog Ereignisdatenbank StorMe).	Könnte zusätzlich erstellt werden (z.B. analog Ereignisdatenbank StorMe).
Komplexität und zeitlicher Bedarf für die Umsetzung	Hoch, da zahlreiche Akteure involviert und/oder betroffen sind.	Je nach Ausgestaltung mittel bis gering.	Entspricht IST-Zustand.



Kriterium	Hochwasserabflusskarte	Berechnung auf Anfrage durch zertifizierte Anbieter	Aktualisierung HAKESCH und HQx_meso_CH
Kosten	Absolut betrachtet hoch, relativ pro Hydropunkt jedoch deutlich niedriger.	Mittel. Hydropunkte werden nur dort berechnet, wo sie auch benötigt werden.	Entspricht IST-Zustand.
Projektbearbeitung/-administration	Vereinfachte Projektbearbeitung. Hydrologie fällt in der Regel weg. Tiefer Projektierungskosten, raschere Bearbeitung.	Komplexere Projektorganisation. Koordinationserfordernis, insgesamt höhere Projektierungskosten, Verzögerungen.	Projektbearbeitung gesamthaft durch Ing.-büro.
Öffentlich zugängliche Daten	Die Hochwasserwerte der Hochwasserabflusskarte sind für alle öffentlich zugänglich. Damit stehen die Daten u.a. auch Journalist:innen oder Projektgegner:innen offen. Dies kann in Projekten, in welchen von den Werten der Hochwasserabflusskarte abgewichen wird, zu schwierigen Diskussionen führen.	Die Hochwasserwerte werden gezielt für ein Projekt berechnet. Abweichungen zu öffentlich zugänglichen Hochwasserwerten beschränken sich zumeist auf Werte der Gefahrenkarte, welche für Laien weniger leicht zugänglich sind.	Die Hochwasserwerte werden gezielt für ein Projekt berechnet. Abweichungen zu öffentlich zugänglichen Hochwasserwerten beschränken sich zumeist auf Werte der Gefahrenkarte, welche für Laien weniger leicht zugänglich sind, sowie auf die Anwendung von HAKESCH und HQx_meso_CH durch «interessierte Laien»

Tabelle 2

Beurteilung der Vor- und Nachteile von Möglichkeiten für die zukünftige Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz

Farbliche Darstellung relativ zu den anderen Möglichkeiten: grün = Vorteile, orange = neutrale Beurteilung, rot = Nachteile

4 Erste Rückmeldungen zur Hochwasserabflusskarte

Zum Entwurf des vorliegenden Vorgehenskonzepts / Pflichtenhefts wurde in der KOHS eine Vernehmlassung durchgeführt. Die Stellungnahmen wurden gesammelt und ausgewertet. Zusammenfassend zeigt sich folgendes Bild:

- Mehrheitlich sind die Rückmeldungen zustimmend
- Es wurden einige wertvolle Ergänzungen und Präzisierungen eingebracht, welche in den vorliegenden Stand des Vorgehenskonzepts / Pflichtenhefts vom 28. Februar 2024 bereits eingearbeitet sind
- In einigen Punkten bestehen unterschiedliche Haltungen in den verschiedenen Rückmeldungen oder Haltungen, die von jenen der Mitglieder der Arbeitsgruppe abweichen

Die Punkte mit unterschiedlichen Haltungen in anderen Rückmeldungen oder von Mitgliedern der Arbeitsgruppe wurden an der KOHS-Sitzung vom 31.01.2024 präsentiert und diskutiert. Die nach der Diskussion verbleibenden kritischen Punkte zur Hochwasserabflusskarte werden nachfolgend ohne Wertung aufgeführt:

- Es besteht insbesondere seitens Planungsbüros die Befürchtung, dass nach Vorliegen der Hochwasserabflusskarte die Bereitschaft für vertiefte hydrologische Abklärungen (Schritt 2 des Arbeitsablaufs gemäss vorliegendem Vorgehenskonzept / Pflichtenheft) weiter abnimmt. Bereits mit den heutigen Grundlagen ist die Bereitschaft zur Beauftragung vertiefter hydrologischer Studien sehr gering. Der Hydrologie wird oft nicht ihre tatsächliche Bedeutung beigemessen.
- Es wird bezweifelt, ob mit der Hochwasserabflusskarte die Unsicherheiten und die Qualität der Hochwasserabschätzungen verbessert werden. Die bestehenden Grundlagen für Niederschlags-Abfluss-Modelle werden teilweise als nicht ausreichend genau oder räumlich zu wenig hoch aufgelöst beurteilt. Ohne eine Einzugsgebietsansprache im Feld, welche im Rahmen der Erarbeitung der Hochwasserabflusskarte nicht möglich ist, verbleiben somit erhebliche Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten erfordern bei der Nutzung der Hochwasserabflusskarte eine entsprechende Plausibilisierung.
- Es bestehen Bedenken, dass die Anwendenden der Hochwasserabflusskarte die erforderliche Plausibilisierung nicht im erforderlichen Mass durchführen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Hochwasserwerte von nicht spezialisierten Büros und Personen genutzt werden. Die Sensibilisierung für Auftraggebende und Anwendende über die Wichtigkeit der Plausibilisierung ist deshalb zentral.
- Es besteht die Befürchtung, dass sich bei kleinen Einzugsgebieten im Rahmen der Plausibilisierung oft zeigen wird, dass vertiefte hydrologische Abklärungen (Schritt 2) erforderlich sind. Das Geld für die Hochwasserabflusskarte würde entsprechend besser in hydrologische Studien im Rahmen von Projekten investiert.
- Es besteht die Befürchtung, dass mit Vorliegen einer Hochwasserabflusskarte bei den Büros und vor allem beim Nachwuchs das Interesse an der Hydrologie und an Hochwasserabschätzungen verloren geht.
- Die Interpretation der Modelle und der Modellqualität in verschiedenen Einzugsgebieten soll nicht den Anwendenden überlassen werden, sondern bereits in der Auswahlphase bzw. im Rahmen der Plausibilisierung während der Erstellung der Hochwasserabflusskarte erfolgen. Es sollen Empfehlungen abgegeben werden, für welche Einzugsgebietsverhältnisse welche Modelle mit welcher Parametrisierung wie zu gewichten sind.
- Die Zertifizierung stellt ein rechtliches Problem dar, weil nicht klar ist, wer die Legitimation hat, die Zertifizierung durchzuführen. Eine Möglichkeit wäre, dass bei Ausschreibungen anstelle einer Zertifizierung Qualitätskriterien hinsichtlich Hydrologie (als Eignungskriterien) eingefordert werden.



Als grosser Mehrwert der Hochwasserabflusskarte wird die schweizweite Verfügbarkeit von einheitlichen Daten, die Vergleichbarkeit der Werte sowie die Verfügbarkeit von Hochwasserganglinien gesehen. Hochwasserabflusskarten entstehen durch private Initiativen oder Initiativen einzelner Kantone ohnehin, mit unterschiedlichen Qualitätsansprüchen. Mit einer schweizweit erstellten Hochwasserabflusskarte gemäss vorliegendem Pflichtenheft entsteht eine, soweit möglich, qualitativ gesicherte Hochwasserabflusskarte, welche aus Sicht der Arbeitsgruppe in vielen Fällen eine wertvolle Grundlage und ein hilfreiches Arbeitsinstrument bilden würde.

5 Rückmeldungen Kantone

Zum vorliegenden Vorgehenskonzept / Pflichtenheft wurde durch den SWV eine Vernehmlassung bei den Kantonen durchgeführt. Folgende 10 Kantone haben eine Stellungnahme abgegeben: AG, BE, FR, NW, OW, SO, SZ, TG, UR und ZH.

Die Rückmeldungen der Kantone wurden gesammelt, ausgewertet und in der Arbeitsgruppe sorgfältig diskutiert. Die Argumente der Kantone, welche teilweise auch gegen die Erarbeitung einer Hochwasserabflusskarte sprechen, sind für die Arbeitsgruppe grossteils verständlich und nachvollziehbar. Nachfolgend werden die Rückmeldungen der Kantone als Aufzählung zusammengefasst. Zu einigen Themen ist die Haltung der Arbeitsgruppe direkt in der Aufzählung aufgeführt (jeweils als Haltung der Arbeitsgruppe formuliert). Das Fazit der Arbeitsgruppe ist unterhalb der Aufzählung erläutert.

- Die Probleme in der Hochwasserabschätzung wurden von der Arbeitsgruppe richtig erkannt. Die aktuelle Situation ist unbefriedigend und genügt den Qualitätsansprüchen nicht. Defizite bestehen vor allem in Einzugsgebieten $< 10 \text{ km}^2$. Für grössere Einzugsgebiete stehen oft Abflussmessungen oder sorgfältig erarbeitete hydrologische Studien zur Verfügung.
- Die Defizite betreffend Hochwasserabschätzung bestehen bereits heute und belasten die Kantone. Insbesondere besteht eine Verunsicherung zum Umgang mit den neuen Niederschlagskarten im HADES. Entsprechend wird von den Kantonen eine möglichst schnelle Lösung gefordert.
- Einen möglichen Ansatz, auch als Übergangslösung, sieht ein Teil der Kantone in der Schulung und Weiterbildung der Anwendenden im Umgang mit den bestehenden Werkzeugen zur Hochwasserabschätzung. Als zentraler Bestandteil der Schulung wird die Plausibilisierung von Hochwasserabschätzungen gesehen, wobei das diesbezüglich erworbene Wissen auch nach der Umsetzung einer Hochwasserabflusskarte seine Gültigkeit behält.
- Nicht alle Kantone sind mit der Empfehlung der Arbeitsgruppe, eine Hochwasserabflusskarte umzusetzen, einverstanden, mehrere Kantone befürworten jedoch die Empfehlung. Auch bestehen in den Kantonen unterschiedliche Beurteilungen zum Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Hochwasserabflusskarte.
- Eine Berechnung von Hochwasserwerten durch zertifizierte Anbieter, wie sie von der Arbeitsgruppe als Alternative untersucht wurde, wird von den Kantonen mehrheitlich abgelehnt.
- Einige Kantone äussern die Befürchtung, dass mit Vorliegen einer Hochwasserabflusskarte das Interesse an der Hydrologie abnimmt und Fachwissen in der Hydrologie verloren geht.
- Verschiedene Kantone sprechen sich für eine Weiterentwicklung von HAKESCH und HQx_meso_CH aus, mit modernisierten / neukalibrierten Abschätzmethoden und zeitgemässer Benutzeroberfläche sowie übergeordneter Methodik zur Dateninterpretation. Ein Grund für diesen Weg ist die vermeintlich raschere Umsetzung und Verfügbarkeit. Ein anderer Grund ist die Befürchtung, dass mit einer übergeordneten Berechnung ohne Lokalwissen bzw. Begehung der Einzugsgebiete in zu vielen Fällen keine ausreichende Qualität der Hochwasserwerte erreicht werden kann. Dies mit der Folge, dass die Hochwasserwerte die Plausibilisierung zu oft nicht überstehen und entsprechend in zu vielen Fällen trotzdem vertiefte hydrologische Abklärungen erforderlich werden und somit der Nutzen der Hochwasserabflusskarte stark eingeschränkt ist. Einige Kantone lehnen eine Weiterentwicklung von HAKESCH und HQx_meso_CH jedoch auch explizit ab.
- Einige Kantone äussern den Wunsch, anstelle einer Hochwasserabflusskarte mit Hochwasserabflüssen und Hochwasserganglinien an Hydropunkten eine Karte mit den relevanten Einzugsgebietseigenschaften als Grundlage für die Hochwasserabschätzung zur Verfügung zu stellen.



- Mehrere Kantone äussern den Wunsch, dass im Falle der Umsetzung einer Hochwasserabflusskarte die bereits sorgfältig ermittelten Hochwasserwerte integriert werden, oder dass nur bestehende «Lücken» neu berechnet werden. Eine Hochwasserabflusskarte, welche ohne das bei den Kantonen bereits vorhandene Wissen erarbeitet wird, würde auf wenig Akzeptanz stossen. Entsprechend ist der Einbezug der Kantone in die Erarbeitung einer Hochwasserabflusskarte zentral, damit die Hochwasserabflusskarte in den Kantonen zur Festlegung von Hochwasserwerten genutzt wird.
- Der Plausibilisierung / Qualitätssicherung während der Erarbeitung der Hochwasserabflusskarte messen die Kantone eine hohe Bedeutung zu. Wichtig erscheint eine Kalibrierung unter Einbezug aller zur Verfügung stehenden Messwerte, welche regionale Besonderheiten angemessen berücksichtigt.
- Einige Kantone sprechen sich dafür aus, im Falle der Umsetzung einer Hochwasserabflusskarte die Retention im Einzugsgebiet, insbesondere durch Hochwasserrückhaltebecken, in der Berechnung der Hochwasserwerte zu berücksichtigen. Diesbezüglich wurde in der Arbeitsgruppe die Möglichkeit besprochen, in der Basis-Karte Brutto-Werte zu berechnen, mit der Möglichkeit, als «Zusatzbestellung» für interessierte Kantone Retention / Hochwasserrückhaltebecken zu berücksichtigen.
- Einige Kantone wünschen im Falle der Umsetzung einer Hochwasserabflusskarte, dass darin auch Werte zu HQ₂ (bettbildender Abfluss) sowie EHQ enthalten sind. Zusätzlich wird von einzelnen Kantonen die Berücksichtigung des Klimawandels in der Hochwasserabflusskarte gefordert.
- Bezüglich der Bestimmung von Hochwasserganglinien werden die noch grösseren Unsicherheiten als bei der Abschätzung von Spitzenabflüssen erwähnt, aufgrund der grossen Variabilität der möglichen massgeblichen Hochwasserganglinien und der Vorfeuchte vor einem Hochwasserereignis. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ist dieses Thema bei der Weiterbearbeitung des Pflichtenhefts und bei der Auswahl der in der Hochwasserabflusskarte zur Anwendung kommenden Methoden zu berücksichtigen und zu konkretisieren.

Die Empfehlung der Arbeitsgruppe gemäss vorliegendem Vorgehenskonzept / Pflichtenheft ändert sich nach der Diskussion der Stellungnahmen der Kantone jedoch nicht. Dies insbesondere auch deshalb, weil die von den Kantonen vorgebrachten Alternativen gemäss der Einschätzung der Arbeitsgruppe entweder in der Qualität geringer oder ebenfalls zeitintensiv in der Erarbeitung sind. Eine schnelle Lösung in hoher Qualität gibt es gemäss Einschätzung der Arbeitsgruppe nicht. Entsprechend wird die aus Sicht der Arbeitsgruppe langfristig beste Lösung einer Hochwasserabflusskarte zur Umsetzung empfohlen. Bei Umsetzung der Hochwasserabflusskarte ist aus Sicht der Arbeitsgruppe keine Weiterentwicklung von HAKESCH und HQx_meso_CH erforderlich, denn wo die Werte der Hochwasserabflusskarte die Plausibilisierung nicht überstehen oder den Anforderungen nicht genügen, ist stets der Einbezug von spezialisierten Fachleuten angezeigt. Diese spezialisierten Fachleute wenden bereits heute Methoden an, welche über eine Weiterentwicklung von HAKESCH und HQx_meso_CH hinausgehen.



Anhang 1 : Bedürfnisse und Datengrundlagen

Bedürfnisse

Kernthema	Thema	Stichwort	Kommentare / Möglichkeiten / Wünsche
Aktuell eingesetzte Methoden zur Hochwasserabschätzung	Methoden, die aufgegeben werden sollen	Alte Methoden	<ul style="list-style-type: none">- "Alte Methoden" mit schmaler Datenbasis, welche in der Praxis kaum verwendet werden.- Aus HQx_meso_CH nur das Nötigste übernehmen ("unverzichtbares" in der Praxis). Einige Methoden müssten sowieso neu kalibriert/plausibilisiert werden.
	Methoden, die aktualisiert werden sollen	Neukalibrierung	<ul style="list-style-type: none">- Neukalibrierung notwendig mit neuen Daten zu den extremen Punktniederschlägen (hydromaps.ch).- Vermutlich muss alles neu kalibriert werden, was nicht aufgegeben werden soll.
Neuentwicklungen	Zu entwickelnde moderne Methoden	Sensibilisierung, Plausibilisierung, lokale Eigenheiten	<ul style="list-style-type: none">- Aktualisierung und Modernisierung von HAKESCH inkl. Hilfestellungen für die Eingabewerte und die Plausibilisierung.- Generell mehr Zeit für die Plausibilisierung verwenden war bereits Ziel von HAKESCH und soll noch konsequenter umgesetzt und eingefordert werden.- Spezifische Eigenheiten von einzelnen Einzugsgebieten werden berücksichtigt.
		Sensitivitätsanalyse	<ul style="list-style-type: none">- Sensitivitätsanalysen: Automatische Variation der Input-Daten (Regendaten, Vorfeuchte...).- Automatische Abfrage von Geodaten als Eingabewerte (soweit sinnvoll).- Neues, modernes Hilfsmittel muss das Ziel sein.
	Hydropunkte	<ul style="list-style-type: none">- Erstellung von Hydropunkten für alle Gewässer ("Massenanwendung").- Können hier Eigenschaften der Einzugsgebiete genügend berücksichtigt werden?- Verleitet dies dazu, Werte nicht mehr zu hinterfragen "Resultat liegt vor"?- Allenfalls Ergänzung zu anderen Methoden oder Möglichkeit der Plausibilisierung.	
	Vision: Kontinuierliches Modell	<ul style="list-style-type: none">- Vision: Kontinuierliches Wetter für ein beliebiges Einzugsgebiet der Schweiz, mit einfachem N-A-Modell, welches in diesem beliebigen Einzugsgebiet läuft.- Flexible Auswertemöglichkeiten aller Parameter sollen möglich sein.	
	Hochwasserganglinien und Hochwasserfrachten	<ul style="list-style-type: none">- Hochwasserganglinien und -frachten müssen von neuen Werkzeugen geliefert werden können.- Dissertation Manuela Brunner (Uni ZH) zur Erzeugung von synthetischen Hochwasserganglinien für Einzugsgebiete grösser als 10 km².- Mehrere unabhängige Methoden notwendig.- Offenes System, welches der Berücksichtigung von weiteren Methoden (welche wir noch nicht kennen) nicht im Weg steht.	



Bedürfnisse der "Kunden"	Gebäudeversicherungen	Rückmeldungen	- Eher wenig Interesse an Neuentwicklungen
	Kantone	Rückmeldungen	<ul style="list-style-type: none">- Dimensionierungsabflüsse sollen in Kenntnis der lokalen Gegebenheiten weiterhin von den Kantonen festgelegt und nicht vom Bund vorgegeben werden- Erarbeitung einer aktualisierten Schätzmethode wird grundsätzlich begrüsst- Übersicht fehlt, welche Kantone bereits was gemacht haben- Hydropunkte: Was sind Konsequenzen für Kantone? Wenn Kantone anpassen / selber festlegen können, für was und wen rechnet dann der Bund?- "Selber Denken und Rechnen" ist wichtig- Allenfalls Auswertungen gewollt, welche Hydropunkte nicht liefern können- Hydropunkte + modernes Tool ist gewünscht
	Weitere	Rückmeldungen	<ul style="list-style-type: none">- Eine Karte mit Hydropunkten kann nie alles abdecken- Moderne Werkzeuge sind notwendig, damit Ingenieure oder Studierende weiterhin HW-Abschätzungen vornehmen können- Mehr Qualität im HW-Schutz ist das Ziel; Kritischer Umgang mit den HQx-Werten von allen Beteiligten fordern

Tabelle 3

Zusammenstellung aktueller Bedürfnisse im Kontext Hochwasserabschätzungen als Grundlage für die Analysen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Datengrundlagen

Kernthema	Thema	Stichwort	Kommentare / Möglichkeiten / Wünsche
Vorhandene Daten- grundlagen	MeteoSchweiz Hydrologischer Atlas	Hydromaps.ch	- Im HADES diverse Grundlagen zu den Gebieteigenschaften (Morphometrie und Bodenbedeckung), Abflussverhältnissen, Grundwasservorkommen und – besonders wichtig – zum Niederschlag von Meteo-Schweiz (Extreme Punktniederschläge und mittlere Niederschlagsverhältnisse).
In Ausarbeitung befindliche Grundlagen	Zeitreihen	CAMELS-CH	- Konsolidierte hydrologische und meteorologische Zeitreihen für ca. 330 Einzugsgebiete in der hydrologischen Schweiz (inkl. relevante Teile im Ausland). 40 Jahre Daten in täglicher Auflösung - Veröffentlichung geplant für 2023 - Datensatz in stündlicher Auflösung angedacht, aber nicht konkret geplant. Eine Sammlung stündlicher Abflussmessreihen ist aber bereits verfügbar unter https://doi.org/10.5281/zenodo.7691293
	EZG > 1000 km ²	EXCH	- Hochwasserabschätzungen für ausgewählte Einzugsgebiete > 1000 km ² werden im Rahmen von "Extremhochwasser Schweiz" gegenwärtig erarbeitet. Betrifft EZG-Grössen ausserhalb des Anwendungsbereichs von HAKESCH oder HQx_meso_CH.
	EZG 1 – 1000 km ²	EXCH	- Gebietsniederschläge für beliebige Einzugsgebiete in der Schweiz im Skalenbereich ca. 1 – 1000 km ² und Hochwasserabschätzungen für beliebige Einzugsgebiete im Skalenbereich ca. 10 – 1000 km ² --> wird im Rahmen des Projekts "Extremhochwasser Schweiz" gegenwärtig entwickelt und in ca. 110 Einzugsgebieten umgesetzt (Stauanlagen unter Aufsicht BFE).
Fehlende Daten- grundlagen	Datensammlung Abflüsse für kleine EZG		- Für eine Aktualisierung und Modernisierung von HAKESCH wäre ein grösserer Datenpool von Abflussdaten in kleinen Einzugsgebieten sehr wünschenswert.
Datengrundlagen für Plausibilisierung der Ergebnisse	Sensibilisierung, Plausibilisierung		- Nicht plausible Hochwasserabflüsse ermitteln / detektieren --> grösste beobachtete / gemessene Abflüsse sind auf BAFU-Webseite verfügbar. - Nicht alle Abschätzverfahren sind für alle Einzugsgebiete geeignet. - Neues Werkzeug soll auch Angaben zur Plausibilisierung der Resultate und der Eignung des Werkzeugs geben.

Tabelle 4

Zusammenstellung von Datengrundlagen im Kontext Hochwasserabschätzungen als Grundlage für die Analysen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)