



KANTON LUZERN
Verkehr und Infrastruktur vif
Naturgefahren
Arsenalstrasse 43
Postfach
6010 Kriens 2 Sternmatt

Gefahrenhinweiskarte Wasser Kanton Luzern

Bericht

Impressum

Projektbearbeitung

geo7 AG, geowissenschaftliches Büro

Neufeldstrasse 5 – 9, 3012 Bern

Tel. +41 (0)31 300 44 33

Dr. Andy Kipfer

Dr. Catherine Berger

Nataschia von Wattenwyl

Ursin Caduff

Melissa Graber

Christoph Horat

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name/Stelle	Bemerkungen
1.0	29.08.2023	Andy Kipfer	Versand an vif

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
2	Methodik.....	1
2.1	Allgemeines	1
2.2	Aufbereitung des Höhenmodells	2
2.3	Aufbereitung der Bodenbedeckung	3
2.4	Gewässer	3
2.4.1	Übersicht	3
2.4.2	Relevante Fliessgewässer	4
2.5	Ausscheidung von Schwachstellen	4
2.5.1	Schwachstellen an grossen Fliessgewässern.....	4
2.5.2	Schwachstellen an kleinen Fliessgewässern.....	5
2.6	Hydrologie	7
2.6.1	Übersicht	7
2.6.2	Synthetische Abflussganglinie für Einzugsgebiete > 10 km ²	7
2.6.3	Max. Abflussspitzen für Einzugsgebiete ≤ 10 km ²	9
2.6.4	Einordnung und Korrektur Abflussspitzen	9
2.7	Staukurven-Berechnungen an grossen Gewässern	10
2.7.1	Aufbereitung Querprofile	10
2.7.2	Auswertung Querprofile und Detektion Schwachstellen.....	12
2.8	Massgebende Ausbruchswassermengen	13
2.8.1	Grosse Fliessgewässer mit Staukurven	13
2.8.2	Kleine Fliessgewässer ohne Staukurven	14
2.8.3	Bereinigung Gangliniendauer und Maximalabfluss.....	16
2.9	Simulation der Überflutungsflächen.....	16
3	Postprocessing Fliessgewässer	17
3.1	Vorgehen.....	17
3.2	Extraktion maximale Fliesstiefen	17
3.3	Reduktion Überflutungsflächen	17
3.4	Vektorisierung und Klassierung Resultate	18
3.5	Bereinigung Überströmen Vorfluter	19
3.6	Aufbereitung Abgabedaten	20
4	Seen.....	20
5	Resultate.....	22
6	Produkte	27
6.1	Bericht	27

6.2	Geodaten.....	27
7	Fazit.....	28
Anhang A	Pufferung der Bodenbedeckung TLM	30
Anhang B	Grundlagen Hochwasserkoten Seen	31

1 Ausgangslage

Überschwemmungen in den letzten Jahren zeigten auch im Kanton Luzern, dass Ausuferungen aus Gewässern zu massiven Schäden führen können. Um auf solche Ereignisse angemessen reagieren und einen bestmöglichen Schutz vor Hochwassern gewährleisten zu können, ist es unabdingbar zu wissen, wo eine Gefährdung besteht. Auch im Kanton Luzern wurden deshalb Gefahrenkarten erarbeitet, welche u.a. die Überflutungsgefährdung in den Siedlungsgebieten ausweisen. Ausserhalb der Siedlungsgebiete werden die Gefahrenkarten teilweise durch Gefahrenhinweiskarten ergänzt. Letztere weisen einen geringeren Bearbeitungstiefe als Gefahrenkarten auf und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Gefahrenhinweiskarte gibt Aufschluss darüber, wo eine Gefährdung bestehen könnte und welche Gebiete im konkreten Einzelfall genauer zu betrachten sind. Im Gegensatz zu den Gefahrenkarten existiert im Kanton Luzern aber zur Überflutungsgefährdung keine aktuelle Grundlage auf Stufe Hinweis mit einem zeitgemässen Detaillierungsgrad. Die bestehende Gefahrenhinweiskarte Wasser [8] ist teilweise veraltet, es stehen mittlerweile neue Erkenntnisse und verbesserte Methoden zur Verfügung.

In Ergänzung zu einem aktuell laufenden Projekt mit den Schweizerischen Bundesbahnen SBB hat geo7 auf Stufe Hinweis eine Gefährdungskarte Hochwasser flächendeckend über die gesamte Schweiz realisiert. Sie wurde deshalb von der kantonalen Dienststelle für Verkehr und Infrastruktur (vif) beauftragt, die Daten der Gefährdungskarte Hochwasser für den Perimeter Kanton Luzern aufzubereiten und als Gefahrenhinweiskarte Wasser auszuliefern. Der vorliegende Bericht beschreibt die Methodik zur Generierung der Gefährdungskarte Hochwasser, die Aufbereitung der Resultate für den Kanton Luzern zu einer Gefahrenhinweiskarte Wasser, sowie eine Einordnung der Güte der Resultate.

2 Methodik

2.1 Allgemeines

Die Überflutungsflächen der Gefährdungskarte Hochwasser wurden über die gesamte Schweiz auf Stufe Hinweis nach einheitlichen Kriterien mithilfe eines Überflutungsmodells ausgeschieden. Schutzbauten sind in der Simulation nicht berücksichtigt, ausser sie sind im verwendeten Höhenmodell abgebildet. Weiter handelt es sich um Reinwasser-Betrachtungen, d.h. der Einfluss von Geschiebe und Schwemmholz ist nicht explizit berücksichtigt.

Die Methodik umfasst folgende Arbeitsschritte (Abbildung 1):

- Aufbereitung des Höhenmodells: Als Grundlage für die Modellierung wurde das digitale Höhenmodell swissALTI^{3D} [12] verwendet. Die Aufbereitung erfolgte gemäss Kapitel 2.2.
- Aufbereitung der Bodenbedeckung: Neben den topologischen Verhältnissen spielt die Rauigkeit des Bodens eine massgebende Rolle in Bezug auf die Fliessgeschwindigkeit und Ausbreitung der Überflutungsfläche. Die Rauigkeit wurde gemäss Kapitel 2.3 aufgrund von Bodenbedeckungskarten (z.B. Topografisches Landschaftsmodell swissTLM^{3D} [13]) bestimmt.
- Bestimmung der relevanten Gewässer: Als Datengrundlage für das berücksichtigte Gewässernetz wurde im Kanton Luzern das swissTLM^{3D} [13], die Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10], sowie das Gewässernetz des Kantons Luzern verwendet [9]. Die Bestimmung der relevanten Gewässer erfolgte gemäss Kapitel 2.4.
- Ausscheidung von Schwachstellen: Bei grösseren Fliessgewässern wurden die Schwachstellen mittels Staukurven ermittelt. Für kleinere Gewässer wurden Ausbruchstellen bei Eindolungen, Brücken und aufgrund von Reliefanalysen definiert (s. Kapitel 2.5).
- Berechnung der Hydrologie: Für sämtliche Schwachstellen wurden Kenngrössen zur Hydrologie (Abflussganglinien, Ausbruchswassermengen) berechnet.

- Durchführung der Simulation: Die Simulation wurde in verschiedenen Teilsimulationen durchgeführt, wobei darauf geachtet wurde, dass sich die Überflutungsflächen der einzelnen Schwachstellen in einem Simulationsdurchgang nicht überlagern.
- Nachbearbeitung: Die Ergebnisse der Simulationen wurden für die weitere Verwendung aufbereitet.

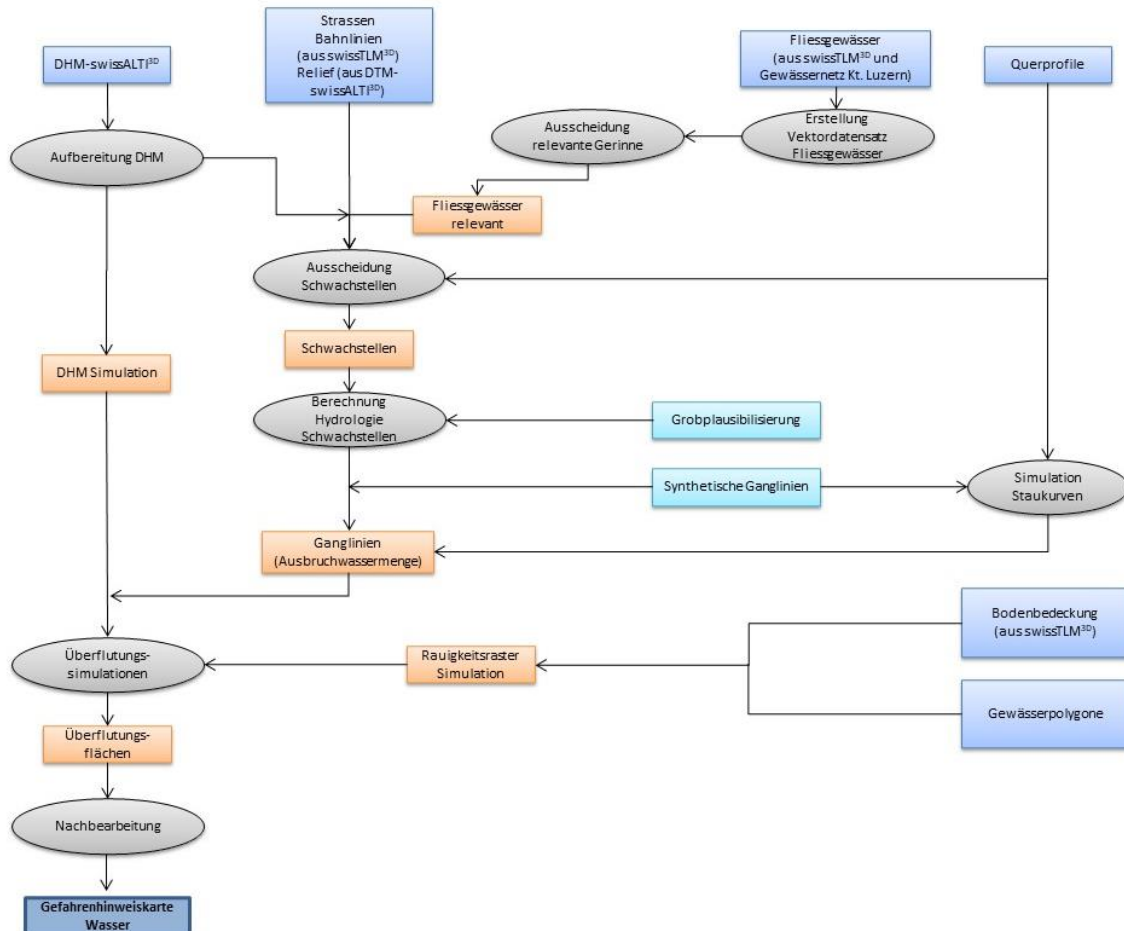


Abbildung 1: Schematischer Prozessablauf Gefahrenhinweiskarte Wasser für den Kanton Luzern.

2.2 Aufbereitung des Höhenmodells

Als Grundlage wurde das digitale Höhenmodell swissALTI^{3D} [12] mit einer Auflösung von 0.5 m verwendet und auf eine Rastergrösse von 2 m aggregiert. Danach wurde das Höhenmodell geglättet und allfällige Senken (mit einer Tiefe von bis zu 1 m) gefüllt, um ein mögliches Rauschen in den Simulationen zu minimieren. Gebäude wurden in der Simulation nicht als Fließhindernis berücksichtigt. Bei der verwendeten Rasterauflösung von 2 m würden sonst u.a. Rückstaueffekte das Resultat erheblich negativ beeinflussen.

Für die Überflutungssimulationen wurden die bestehenden Gewässer im Höhenmodell auf das Niveau der Umgebung aufgefüllt (mit Ausnahme der eingedolten Gewässerabschnitte). Berücksichtigt wurden dabei alle Gewässer, welche Teil des aufbereiteten Gewässernetzes sind (s. Kapitel 2.4). Durch das Auffüllen wird verhindert, dass das austretende Wasser bei der Modellierung unmittelbar nach einer Schwachstelle wieder in das Gerinne zurückfließt. Denn in Realität wäre dieses im Hochwasserfall bis auf das Niveau der Umgebung mit Wasser gefüllt. Zum Auffüllen der Gerinne wurden die Höhen innerhalb eines terrainspezifischen Puffers (2 – 5 m) herausgefiltert und bei der Triangulation des Terrains neu berechnet.

Für die Definition der Einzugsgebiete, der Schwachstellen und weiterer hydrologischer Eigenschaften wurde ein zweites Höhenmodell aufbereitet: Statt die Gewässer im Höhenmodell

aufzufüllen, wurden diese abgesenkt. Damit kann gewährleistet werden, dass ein kontinuierliches Gerinnenetz im Höhenmodell abgebildet wird, auch bei eingedolten Abschnitten.

2.3 Aufbereitung der Bodenbedeckung

Die Rauigkeit des Bodens ist neben den topologischen Verhältnissen ein zweiter Einflussfaktor, welcher die Fliessgeschwindigkeit und die Ausbreitung von Überflutungsflächen massgeblich beeinflusst. Die Rauigkeit wurde anhand der Bodenbedeckung bestimmt (s. Tabelle 1). Damit ein flächendeckendes Raster in einer Auflösung von 2 m generiert werden konnte, mussten verschiedene Grundlegearten mit Informationen zur Bodenbedeckung verwendet werden. Bei überlappenden Flächen erfolgte die Zuordnung gemäss der in Tabelle 1 angegebenen Priorisierung (höchste Priorität: 1).

Tabelle 1: Bodenbedeckungstyp mit zugewiesener Rauigkeit, Priorität zur Berücksichtigung, Datenquelle sowie Bemerkungen.

Bodenbedeckungstyp	Rauigkeit [m ^{1/3} /s]	Priorität	Datenquelle	Bemerkungen
Befestigte Flächen (Strassen, Plätze, Raststätten)	70	3	swissTLM ^{3D}	Gepuffert gemäss Tabelle Anhang A
Eisenbahn	15	2	swissTLM ^{3D}	Gepuffert gemäss Tabelle Anhang A
Fels	50	5	swissTLM ^{3D}	
Gewässer	65	1	gemäss Kapitel 2.4	
Gletscher	40	6	swissTLM ^{3D}	
Landwirtschaft	25	7	geo7	Sämtliche Flächen, welche keinem anderen Bodenbedeckungstyp zugeordnet werden konnten
Wald bestockt, Wald nicht bestockt, Gebüschwald	10	4	swissTLM ^{3D}	

2.4 Gewässer

2.4.1 Übersicht

Die Gewässer, welche durch die Gefährdungskarte Hochwasser abgedeckt werden, können wie folgt charakterisiert werden:

- **Grosse Fliessgewässer:** Bei «grossen Fliessgewässern» standen Querprofile zur Verfügung. Dies war im Kanton Luzern für die Reuss, Kleine Emme, Wigger und Ilfis der Fall (s. Abbildung 2). Hier war die Abflusskapazität des Gerinnes bekannt und es wurden Staukurvenberechnungen für die unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. Somit konnten Bereiche mit zu geringer Abflusskapazität (Schwachstellen) über eine Gegenüberstellung von Abflusskapazität mit Spitzenabfluss ermittelt werden. Bei grossen Fliessgewässern wurden für jede Schwachstelle – sofern die Abflusskapazität überschritten war – eigenständige Simulationen für das HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ durchgeführt.
- **Kleine Fliessgewässer:** Bei «kleinen Fliessgewässern» standen keine Querprofile zur Verfügung. Damit war die Abflusskapazität des Gerinnes nicht bekannt. Bereiche mit mutmasslich zu geringer Abflusskapazität (Schwachstellen) wurden regelbasiert über die Auswertung von Geodaten ermittelt. Es wurde für jede Schwachstelle eine

eigenständige Simulation für das HQ₁₀₀ durchgeführt und die Schwachstelle regelbasiert einer Jährlichkeit (HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀) zugeordnet (vgl. auch Kapitel 2.9).

- **Seen:** Für die grösseren Seen wurden die Überflutungsflächen über einen Verschnitt der Hochwasserkoten aus vorhandenen Gefahrengrundlagen bei einem HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ mit der Geländeoberfläche ermittelt.

2.4.2 Relevante Fliessgewässer

Für die Gefährdungskarte Hochwasser wurden die Datensätze swissTLM^{3D} [13], mit dem Gewässernetz des Kantons Luzern [9] sowie dem Gewässernetz Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern [10] kombiniert und ein neues Gewässernetz erstellt. Ab einer Einzugsgebietsgrösse von 0.1 km² wurde ein Fliessgewässer als «relevant» betrachtet und für die Ausscheidung von Schwachstellen (s. Kapitel 2.5) berücksichtigt. Mit diesem Vorgehen konnte sichergestellt werden, dass ein Gewässerlauf entweder in der Gefährdungskarte Hochwasser oder in der bestehenden Gefahrengrundlage zum Oberflächenabfluss [10] enthalten ist. So kann insbesondere bei Risikoüberlegungen eine doppelte Berücksichtigung von Rinnen/Runsen vermieden werden.

Für die Simulation wurde aus diesen Grundlagen ein künstliches Gewässernetz erarbeitet, aus welchem die für die Parametrisierung der Schwachstellen notwendigen Informationen (u.a. zur Einzugsgebietsgrösse) abgeleitet werden konnten.

2.5 Ausscheidung von Schwachstellen

Als Schwachstellen werden Gerinneabschnitte bezeichnet, bei denen eine ungenügende Gerinnekapazität zu Ausuferungen führen können. Bei grossen Fliessgewässern (s. Kapitel 2.4.1) wurden die Schwachstellen mittels Staukurven ermittelt (s. Kapitel 2.5.1). Für kleine Fliessgewässer (s. Kapitel 2.4.1) wurden Ausbruchstellen bei Eindolungen, Brücken und mittels einer Reliefanalyse regelbasiert definiert (s. Kapitel 2.5.2). Insgesamt wurden im Kanton Luzern knapp 7'000 Schwachstellen identifiziert.

2.5.1 Schwachstellen an grossen Fliessgewässern

Bei welchen Gewässerabschnitten eine ungenügende Gerinnekapazität vorliegt, wurde an grossen Fliessgewässern (s. Abbildung 2) mithilfe von Staukurvenberechnungen (1D-Modellierungen) bestimmt. Dazu wurde die Software HEC-RAS der U.S. Army Corps of Engineers verwendet und die in Kapitel 2.6 beschriebenen Spitzenabflüsse bzw. Ganglinien, sowie die vorgängig genannten Querprofile berücksichtigt. Mit einer Staukurvenberechnung werden Wasserspiegellagen, Fliesstiefen und Schleppkräfte in Abhängigkeit des Abflusses berechnet. Die Modellierungen wurden für jedes Hochwasserszenario (HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀) einzeln durchgeführt, weshalb ein Gerinneabschnitt ein- bis dreimal als Schwachstelle ausgeschieden werden konnte.

Für die Ausscheidung der potentiellen Schwachstellen wurden die Gerinnekapazitäten mit den erwarteten Spitzenabflüssen der relevanten Hochwasserszenarien (HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀) verglichen. Ist die Gerinnekapazität kleiner, handelt es sich um eine Schwachstelle. Allfällige Dammbrüche wurden nicht berücksichtigt. Insgesamt resultierten so für die vier Gewässer knapp 400 Schwachstellen.

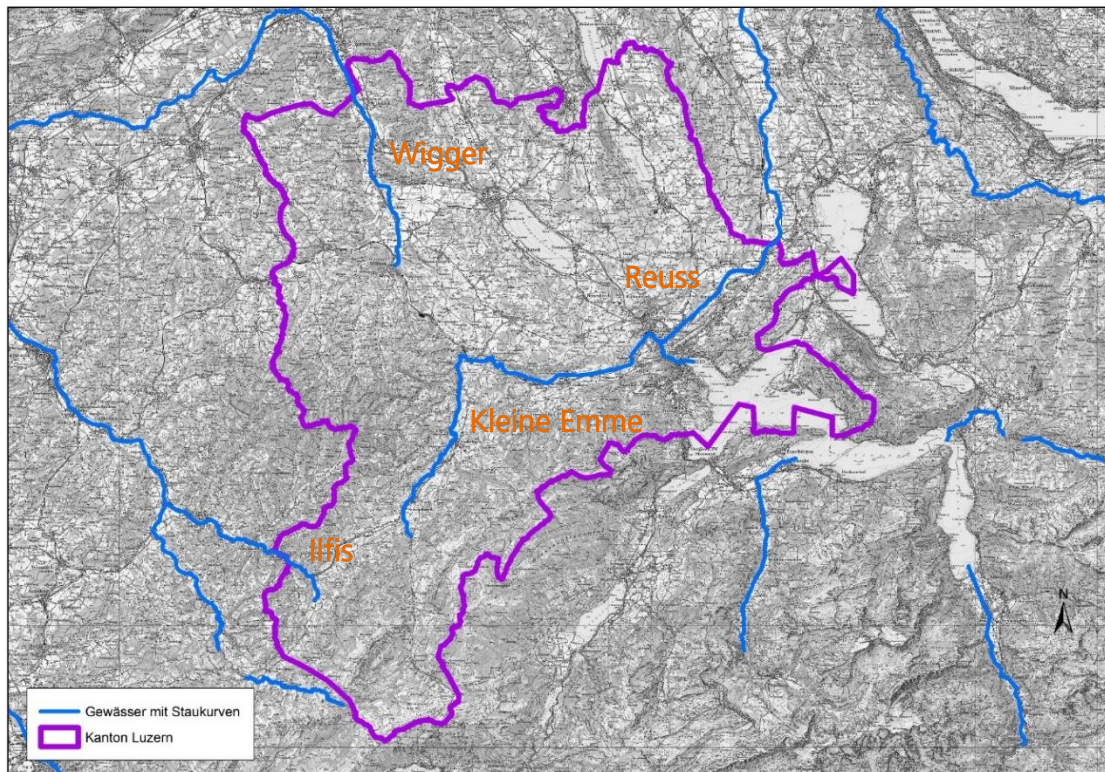


Abbildung 2: Gewässer mit Staukurven (in blau dargestellt).
(Quelle Grundlagendaten: Bundesamt für Landestopografie).

2.5.2 Schwachstellen an kleinen Fliessgewässern

Für Fliessgewässer, für welche keine Querprofile vorlagen, konnten keine Staukurvenberechnungen durchgeführt werden. Daher erfolgte hier die Ausscheidung der Schwachstellen konzeptionell. Erfahrungsgemäss sind bei kleinen Fliessgewässern Wasseraustritte häufig bei Eindolungen sowie bei Brücken zu erwarten. Daher wurden diese als potenzielle Schwachstellen definiert. Weiter wurden die topographischen Verhältnisse GIS-basiert analysiert und weitere kritische Gewässerabschnitte als Schwachstellen ausgeschieden (s. Tabelle 2). Diese reliefbedingten Schwachstellen sind in Bezug auf die Detektion mit grösseren Unsicherheiten behaftet als die Eindolungen und Brücken.

Grundsätzlich wurden Schwachstellen ab Einzugsgebietsgrössen $> 0.1 \text{ km}^2$ berücksichtigt. Die Tabelle 2 beschreibt das Vorgehen zur Detektion der verschiedenen Schwachstellen bei kleinen Fliessgewässern.

Tabelle 2: Übersicht über Art und Bestimmung der Schwachstellen der kleinen Fließgewässer.

Art	Beschrieb
Eindolung	Die Eindolungen wurden mithilfe des erstellten Gewässernetzes (s. Kapitel 2.4) detektiert. Jeweils oberhalb eines eingedolten Gewässerabschnittes wurde eine Schwachstelle „Eindolung“ ausgeschieden.
Brücken	Für die Detektion von Brücken wurde das Strassen- und Eisenbahnnetz aus dem swissTLM ^{3D} -Datensatz mit dem relevanten Gewässernetz (s. Kapitel 2.4.2) überlagert. Die Brücken im swissTLM ^{3D} -Datensatz weisen keine Höhenangaben auf. Aus diesem Grund wurde die Brückenhöhe mit einer GIS-basierten Reliefanalyse abgeschätzt. Alle so ermittelten Brücken mit einer Höhe von ≤ 5 m wurden aufgrund ihrer vermutlich begrenzten Durchflusskapazität als Schwachstellen ausgeschieden. Strassenbrücken mit einer Breite ≥ 3 m und Strassen, die ein Gewässer kreuzen, aber kein Attribut „Brücke“ ausweisen, gelten automatisch als Schwachstelle. Die minimale Strassenbreite von 3 m wurde berücksichtigt, damit bei kleinen Fahrwegen nicht fälschlicherweise von einer Brücke ausgegangen wurde.
Endpunkte	Endpunkte von Linien wurden aus dem generierten Liniengewässernetz (s. Kapitel 2.4) erstellt. Diese Schwachstellen wurden im Rahmen der Aufbereitung des Gewässernetzes erstellt und sind als Ergänzungen zu den Eindolungen und Brücken zu verstehen, da gewisse Grundlagedaten keine Informationen zu unterirdischen Verläufen aufweisen. Wenn die Informationen zu einem Gewässerlauf in Fließrichtung plötzlich „aufhören“, verlaufen sie häufig unterirdisch weiter. Diese Schwachstellen wurden nur an den Stellen ausgewiesen, wo im Umkreis von 5 m keine Seen oder Verzweigungen liegen, da in diesen Fällen nicht von einem Endpunkt ausgegangen werden kann.
Reliefbedingte Schwachstellen	Reliefbedingte Schwachstellen wurden dort ausgeschieden, wo die Neigung der Gerinnesohle mehr als 1° und die Höhendifferenz zwischen der Gerinnesohle und des Uferbereichs weniger als 1 m beträgt (s. Abbildung 3). Ausuferungen sind an diesen Stellen aufgrund des geringeren Höhenunterschieds wahrscheinlicher. Um reliefbedingte Schwachstellen zu detektieren, wurde anhand des Höhenmodells swissALTI^{3D} (Auflösung 2 m) entlang der Gewässer alle 20 m ein Querprofil berechnet. Die Breite der Querprofile wurde anhand der Sohlenneigung abgeleitet (Grundsatz: je flacher das Gerinne, desto breiter das Querprofil): • Neigung $< 1^\circ$: Analysebreite des Querprofils = 80 m • Neigung $1^\circ - 10^\circ$: Analysebreite des Querprofils = 60 m • Neigung $> 10^\circ$: Analysebreite des Querprofils = 40 m



Abbildung 3: Bestimmung der Höhendifferenz zwischen der Gerinnesohle und dem Uferbereich zur Ausscheidung der reliefbedingten Schwachstellen.

Die in Tabelle 2 beschriebene Methodik führte aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen dazu, dass identische Schwachstellen nicht überall exakt am gleichen Standort zu liegen kommen. In einem nachgelagerten Arbeitsschritt wurden daher die Schwachstellen einer Lage auf dem künstlichen Gewässernetz (s. Kapitel 2.4) zugewiesen. Dabei galt, dass bei grösseren Gewässern eine schlussendlich berücksichtigte Schwachstelle weiter vom Gewässernetz entfernt liegen durfte als bei kleineren Gewässern. Je nach Gewässergrösse fielen deshalb Schwachstellen weg, welche mehr als 10 bis 30 m von einem Gewässer entfernt liegen.

Mit der beschriebenen Methodik kann eine Vielzahl von Schwachstellen innerhalb eines kurzen Gewässerabschnittes auftreten, teilweise liegen diese sogar an derselben Stelle (z.B. bei Eindolungen unmittelbar nach einer Brücke). Zur Bereinigung dieser Redundanzen sowie zur Optimierung der Überflutungssimulationen wurden daher reliefbedingte Schwachstellen sowie Schwachstellen an Brücken noch ausgedünnt.

2.6 Hydrologie

2.6.1 Übersicht

Um Überflutungsflächen modellieren zu können, mussten für alle Gewässer Ganglinien für den austretenden Anteil Wasser berechnet werden. Dazu musste für jede Schwachstelle der Spitzenabfluss, die Dauer der Hochwasserganglinie und der Anteil des austretenden Wassers bekannt sein. Die Parameter wurden je nach vorhandenen Grundlagen unterschiedlich bestimmt.

Bei den grossen Fliessgewässern wurde die Abflussmenge für jeden Gewässerkilometer bestimmt. Dazu wurde nach der Methodik von Brunner (2018) [3] synthetische Ganglinien erstellt (s. Kapitel 2.6.2).

Bei den kleinen Fliessgewässern wurde die Abflussmenge an den Standorten der relevanten Schwachstellen (s. Kapitel 2.5) berechnet. Dabei wurde für alle Einzugsgebiete $> 10 \text{ km}^2$, analog wie bei den grossen Fliessgewässern, nach der Methodik von Brunner (2018) synthetische Ganglinien erstellt (s. Kapitel 2.6.2). Für Einzugsgebiete $\leq 10 \text{ km}^2$ wurde der Spitzenabfluss mit einer Übertragungsformel abgeleitet (s. Kapitel 2.6.3).

Sämtliche berechneten Abflussspitzen wurden jeweils hydrologisch eingeordnet und korrigiert, sofern sie nicht dem Abflussverhalten ihrer meteorologischen Region entsprachen (s. Kapitel 2.6.4).

2.6.2 Synthetische Abflussganglinie für Einzugsgebiete $> 10 \text{ km}^2$

An der Universität Zürich entwickelte Manuela Brunner 2018 im Rahmen ihrer Dissertation eine Methode zur Herleitung von synthetischen Abflussganglinien (s. [3]). Abflussganglinien bieten neben dem Wert der Hochwasserspitze zusätzliche Informationen zum Ereignisablauf sowie zum Gesamtvolumen. Die Berechnung der synthetischen Abflussganglinien nach [3] basiert auf folgendem Vorgehen (s. Abbildung 4):

Ausgehend von einem bestimmten Punkt (1) wird das massgebende Einzugsgebiet bestimmt (2). Innerhalb von diesem Einzugsgebiet werden anschliessend Gebietskenngrössen berechnet (3). Folgende Gebietskenngrössen werden dabei verwendet: Einzugsgebietsgrösse [km^2], Gewässerdichte [km/km^2], Y-Koordinate von Einzugsgebiets-Zentroid, topografischer Bodenindex, mittlere jährliche Sonnenscheindauer [h], Anteil Karstfläche [%] und mittlerer Dampfdruck [hPa]. Anhand dieser Gebietskenngrössen können für jedes Einzugsgebiet charakteristische Abflussganglinien für unterschiedliche Jährlichkeiten generiert werden (4).

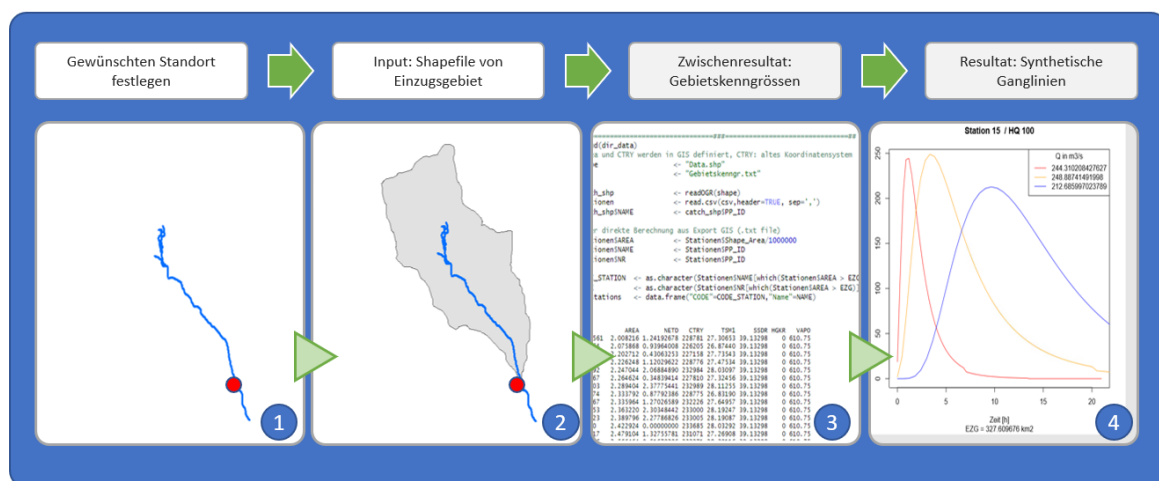


Abbildung 4: Vorgehensweise bei der Berechnung synthetischer Abflussganglinien.

Die Ganglinien wurden für die Gefährdungskarte Hochwasser für unterschiedliche Jährlichkeiten berechnet (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Berechnete Jährlichkeiten und Szenarien pro Gewässerart.

	Grosse Fließgewässer	Kleine Fließgewässer (> 10 km²)
Szenarien	Alle Jährlichkeiten (HQ ₃₀ , HQ ₁₀₀ und HQ ₃₀₀)	HQ ₁₀₀

Es wurde bei jeder Berechnung Ganglinien für drei Hochwasserabläufe erstellt: ein schnelles, ein mittleres und ein langsames Ereignis. Abbildung 5 zeigt als Beispiel die Berechnung von synthetischen Abflussganglinien für ein HQ₁₀₀ an der Wigger bei Willisau.

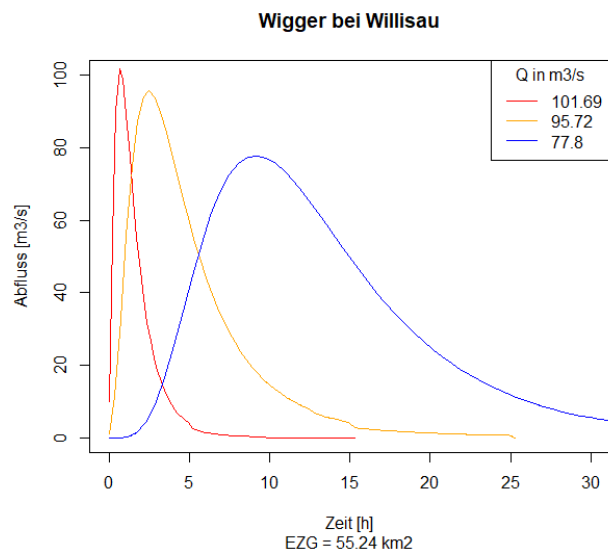


Abbildung 5: Resultat synthetische Abflussganglinie (Wigger, HQ₁₀₀).

Für die weiteren Berechnungen wurden bei den grossen Fließgewässern die berechneten Abflusswerte eines mittleren Ereignisses, bei kleinen Fließgewässern die berechneten Abflusswerte eines schnellen Ereignisses verwendet (Abbildung 5, rote resp. orange Linien und Werte).

2.6.3 Max. Abflussspitzen für Einzugsgebiete $\leq 10 \text{ km}^2$

Bei Einzugsgebieten $\leq 10 \text{ km}^2$ kann die Methodik der synthetischen Ganglinien nicht mehr angewendet werden, da die Methodik nicht für solch kleine Gebiete entwickelt wurde. Aus diesem Grund werden bei kleineren Einzugsgebieten die Abflusswerte analog zu einer häufig angewandten Übertragungsformel nach Scherrer [5] verwendet. Bei diesem Ansatz werden die Abflussspitzen flächenproportional übertragen. Die Formel lautet wie folgt:

$$\text{Geschätzter Hochwasserabfluss} \quad HQ_x = \left(\frac{Fl_x}{Fl_y} \right)^k * HQ_y$$

mit Fl_x Fläche des Einzugsgebiets
 Fl_y Fläche des Referenz-Einzugsgebiets
 HQ_y Hochwasserabfluss des Referenzgebiets
 k Koeffizient 0.67

Das Vorgehen ist in Abbildung 6 skizziert. Bei der Berechnung wird ein Referenzeinzugsgebiet mit einer Fläche $> 10 \text{ km}^2$, welches entlang desselben Gewässers liegt und für welches Abflusswerte vorliegen, verwendet (1 und 2). Mithilfe der Einzugsgebietsgrösse und des Abflusses des Referenzeinzugsgebiets (3) wurde gemäss obiger Formel die Abflussmenge für die kleineren Einzugsgebiete festgelegt.

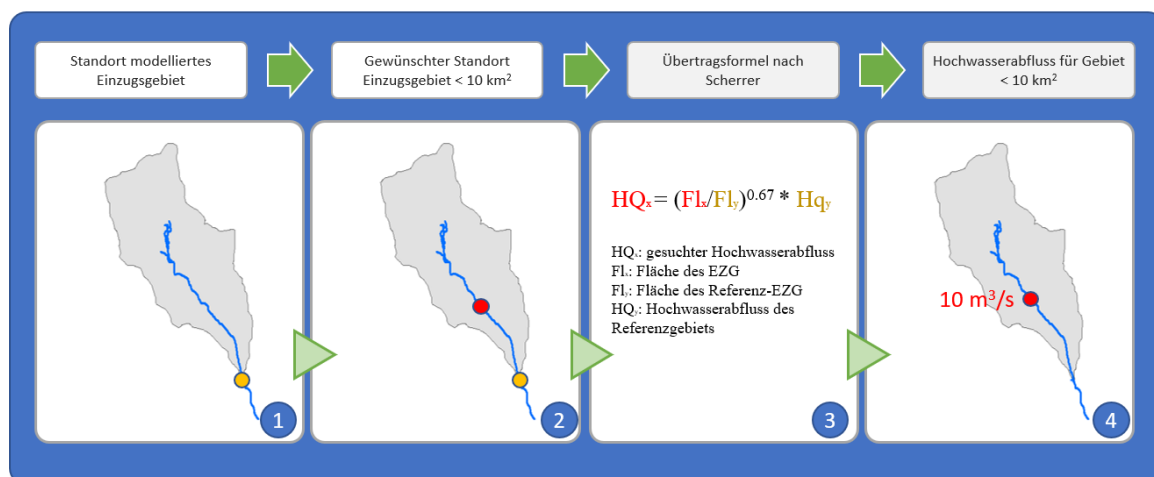


Abbildung 6: Ablauf Berechnung Abflusswert mit Übertragungsformel nach Scherrer, wobei roter Punkt: Standort der gesuchten Abflussspitze, orangener Punkt: Standort Referenzgebiet.

2.6.4 Einordnung und Korrektur Abflussspitzen

Bei der Erstellung der maximalen Abflussmengen handelt es sich um automatisch berechnete Werte und es können unabhängig von der angewandten Methodik unrealistische Abflusswerte resultieren. Diese unrealistischen Werte werden für alle Einzugsgebietsgrössen und Gewässer wie folgt detektiert und korrigiert (s. Abbildung 7).

Das Abflussverhalten von Gewässern ist je nach Region unterschiedlich. Basierend auf dem Verzeichnis grosser Hochwasserabflüsse in Schweizerischen Einzugsgebieten [5] werden gemessene spezifische Abflussspitzen der Einzugsgebietsgrösse gegenübergestellt und pro meteorologische Region (Jura, Nordwestschweiz, Mittelland, Alpennordhang, Wallis, Alpensüdseite, Nord- und Mittellanden) Trendlinien und Konfidenzintervalle generiert (1). Die für die Gefährdungskarte Hochwasser berechneten Abflussspitzen werden einer Region zugeordnet (2). Überschreiten die berechneten Abflussspitzen das Konfidenzintervall, werden sie korrigiert (3).

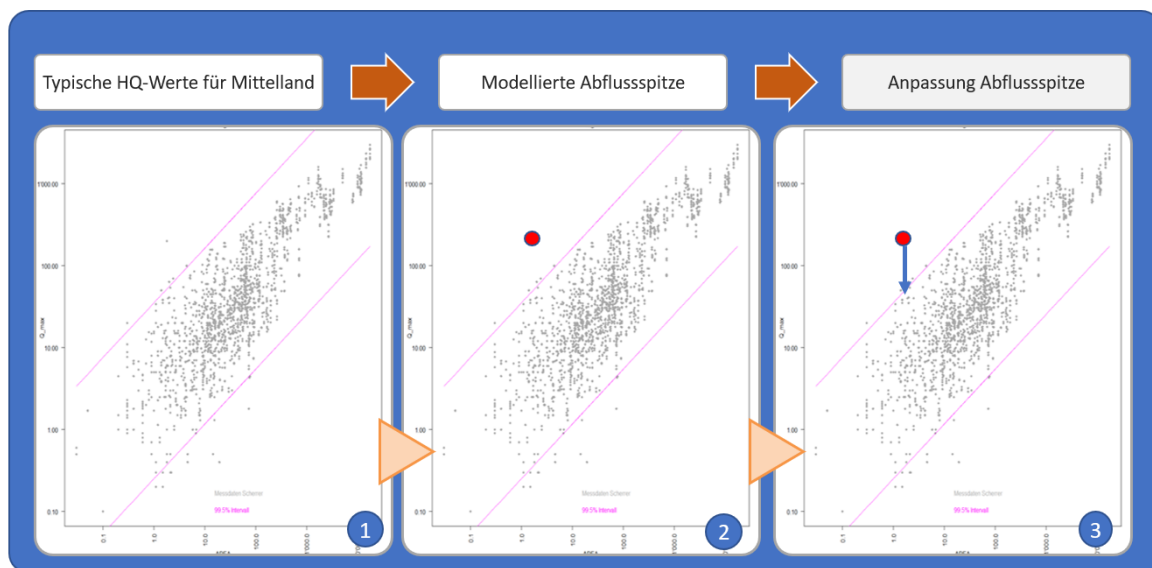


Abbildung 7: Einordnung und Korrektur der berechneten Abflussspitzen.

Die Abflussspitzen für die grossen Fließgewässer (s. Abbildung 2) wurden zusätzlich geprüft. Die maximalen Abflusswerte der Ganglinien wurden mit den Daten der Messstationen vom Bundesamt für Umwelt [1] verglichen und plausibilisiert. Es wurden die Werte aus der Hochwasserstatistik jeder Station für das HQ₃₀, das HQ₁₀₀ und das HQ₃₀₀ betrachtet. Da nicht an jeder potentiellen Ausbruchsstelle eine Messstation vorhanden ist, mussten dort die Abflusswerte abgeleitet werden. Um die Abflusswerte an allen vorhandenen Querprofilstandorten zu generieren, wurden die vorhandenen BAFU-Werte auf die Einzugsgebietsfläche des Querprofils interpoliert.

2.7 Staukurven-Berechnungen an grossen Gewässern

2.7.1 Aufbereitung Querprofile

Für die Modellierung der grossen Gewässer wurden Querprofile verschiedener Flussabschnitte mit der Software HEC-RAS ausgewertet (s. [11]). Zu jedem Punkt in einem Querprofil waren folgende Angaben vorhanden:

- Flussname und Abschnitt
- Typisierung des Punktes (erster / letzter Punkt; Dammkronen links / rechts; Sohlenbegrenzung links / rechts; Oberkante Uferböschung links / rechts; Messpunkte (alle übrigen Punkte))
- Bodenbedeckungskategorie. Diese wurde in einem weiteren Schritt verwendet, um den Rauigkeitsbeiwert nach Manning des Punktes zu bestimmen (s. Tabelle 4)
- X, Y und Z Koordinaten (Lage des Punktes)

Tabelle 4 zeigt die verwendeten Rauigkeitsbeiwerte nach Manning pro Bodenbedeckungskategorie.

Tabelle 4: Rauigkeitsbeiwerte nach Manning pro Bodenbedeckungskategorie.

Bodenbedeckungskategorie	Manning-Wert	Bodenbedeckungskategorie	Manning-Wert
Betonmauer	0.015	Acker	0.035
Blöcke	0.04	Gebüsch	0.06
Blockwurf	0.05	Grasbewuchs	0.03
Buhne	0.033	Keine	0.035
Fels	0.035	Terrain	0.035
Gebäude	0.015	Wald	0.1
Gemauerte Mauer	0.015	Wiese extensiv	0.03
Gleis	0.023	Wiese intensiv	0.035
Holzkastenverbauung	0.013		
Kies	0.023		
Sand	0.03		
Strasse, Weg	0.013		
Unterkante Bahnschotter	0.023		

Abbildung 8 stellt beispielhaft die ausgewerteten Querprofildaten anhand eines Profils an der Wigger dar.

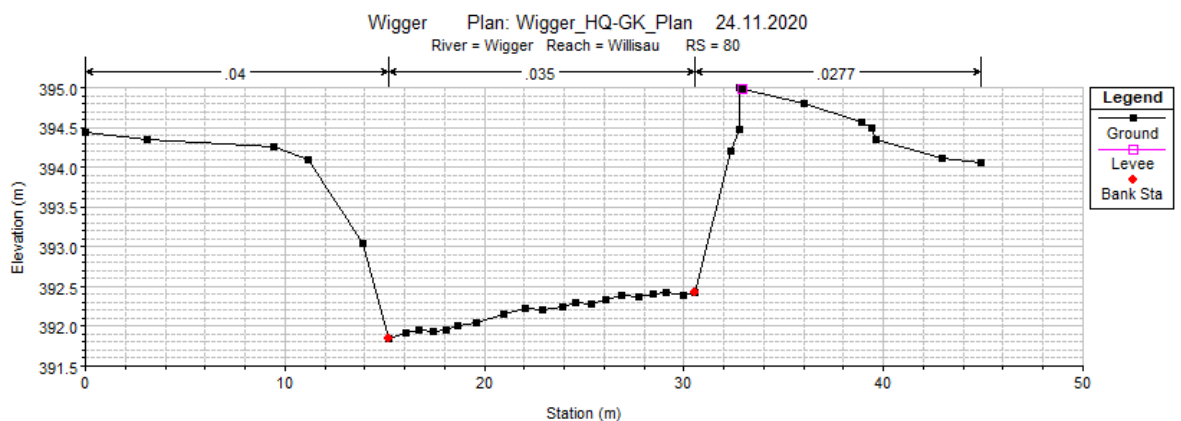


Abbildung 8: Exemplarisches Querprofil der Wigger (Nummer 80 / Auszug aus HEC-RAS). Die Sohle wird durch die beiden roten Punkte begrenzt, Dammkronen werden violett markiert. Die Manning-Werte werden für drei Abschnitte (Böschung links, Sohle, Böschung rechts) als Durchschnitt angegeben.

2.7.2 Auswertung Querprofile und Detektion Schwachstellen

Für jedes grosse Fliessgewässer wurde basierend auf den aufbereiteten Querprofildaten ein HEC-RAS Modell generiert. Jedem Querprofil wurden dazu die Angaben zu den Hochwasserabflüssen (Werte von HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀, s. Kapitel 2.6) zugeordnet.

Als Resultat liefert das HEC-RAS Modell eine Datei, welche basierend auf dem Hochwasserabfluss u.a. Angaben über die Fliessgeschwindigkeit, Fliesshöhen sowie die Wasserspiegellage enthält (s. Abbildung 9). Die Angaben zu Brücken sowie die bereits als Eingabegrösse enthaltenen höchsten Punkte der Querprofile wurden anschliessend mit dem Wasserspiegel verglichen.

HEC-RAS Plan: 1 River: Wigger Reach: Willisau Profile: HQ300													
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl	Vel Total (m/s)
Willisau	25582	HQ300	105.90	546.69	549.98	549.31	550.32	0.002286	2.83	45.68	23.71	0.52	2.32
Willisau	25537	HQ300	105.90	545.93	549.17	549.17	550.11	0.006413	4.71	28.67	15.39	0.87	3.69
Willisau	25511	HQ300	105.90	545.77	548.47	548.75	549.82	0.011398	5.57	23.84	13.81	1.12	4.44
Willisau	25450	HQ300	105.90	544.66	548.37	547.77	548.88	0.003500	3.42	36.12	14.90	0.61	2.93
Willisau	25420	HQ300	105.90	544.76	547.64	547.64	548.69	0.007935	4.91	26.50	13.49	0.95	4.00
Willisau	25321	HQ300	105.90	543.27	546.48	546.23	547.17	0.004645	4.13	38.95	20.18	0.75	2.72
Willisau	25216	HQ300	105.90	542.22	544.87	545.10	546.17	0.010653	5.42	24.07	13.43	1.09	4.40
Willisau	25184	HQ300	105.90	541.46	543.94	544.55	545.70	0.015348	6.15	19.39	11.19	1.28	5.46
Willisau	25121	HQ300	105.90	541.23	544.09	543.91	545.00	0.006622	4.46	28.54	14.18	0.87	3.71
Willisau	25021	HQ300	105.90	540.09	543.16	543.16	544.29	0.007855	5.00	27.31	13.70	0.94	3.88
Willisau	24920	HQ300	86.30	539.31	541.16	541.74	543.11	0.025042	6.32	15.10	10.26	1.56	5.72
Willisau	24819	HQ300	86.30	538.01	540.53	540.73	541.71	0.010655	5.10	20.49	12.51	1.07	4.21
Willisau	24719	HQ300	86.30	537.23	539.62	539.83	540.78	0.010866	5.06	20.74	12.96	1.08	4.16
Willisau	24655	HQ300	86.30	536.68	539.30	538.97	539.84	0.004477	3.47	28.87	16.04	0.71	2.99
Willisau	24627	HQ300	86.30	536.29	538.70	538.70	539.64	0.008402	4.52	22.44	12.82	0.96	3.85
Willisau	24528	HQ300	86.30	535.23	537.77	537.75	538.72	0.007894	4.50	22.45	12.91	0.92	3.84
Willisau	24500	HQ300	86.30	535.00	537.54	537.55	538.48	0.007816	4.61	22.90	13.13	0.93	3.77
Willisau	24425	HQ300	86.30	534.16	536.95	536.95	537.86	0.007623	4.49	23.44	13.66	0.89	3.68
Willisau	24319	HQ300	86.30	533.32	535.77	535.90	536.81	0.009074	4.83	21.65	13.40	1.00	3.99

Abbildung 9: Tabelle aus HEC-RAS mit den relevanten Output-Grössen (Auszug aus HEC-RAS).

Um die maximale Ausbruchswassermenge zu bestimmen, wurde die Fläche jedes einzelnen Querprofils mit der vom Modell generierten Fliessgeschwindigkeit (siehe Abbildung 9, Spalte „Vel Total“) multipliziert. Für die Fläche des Querprofils wurde jeweils die tiefere Kote der Uferböschung (s. Kapitel 2.7.1) identifiziert und von dort eine waagrechte Linie gezogen. Die Fläche unterhalb dieser Linie entspricht dem Durchflussprofil, bei dem der Hochwasserabfluss noch im Gerinne Platz hat. Sobald die Gesamtabflussmenge grösser ist, als die berechnete Abflusskapazität im Gerinne, wurde das Querprofil als Schwachstelle definiert. Die maximale Ausbruchswassermenge wurde berechnet, indem der Gesamtabfluss je Szenario von der Abflusskapazität subtrahiert wurde.

2.8 Massgebende Ausbruchswassermengen

Die Art und Weise der Bestimmung der Ausbruchswassermengen ist abhängig von der Gewässergrösse und der Tatsache, ob die Abflussspitze korrigiert wurde oder nicht. Nachfolgend werden die Varianten beschrieben, welche für die Berechnung der massgebenden Ausbruchsganglinien angewendet worden sind.

2.8.1 Grosse Fliessgewässer mit Staukurven

Grosse Fliessgewässer mit Staukurven ohne Korrektur der Ganglinie

In diesem Fall diente die synthetische Ganglinie (s. Kapitel 2.6) und die Auswertung der Querprofile (s. Kapitel 2.7.2) als Basis. Die Wassermenge, welche bis zum Erreichen der Gerinnekapazität benötigt wird, wird von der Ganglinie abgezogen (s. Abbildung 10). Mit der „restlichen“ Wassermenge, welche nicht im Gerinne Platz hat, wurde die Ausbruchsganglinie erstellt.

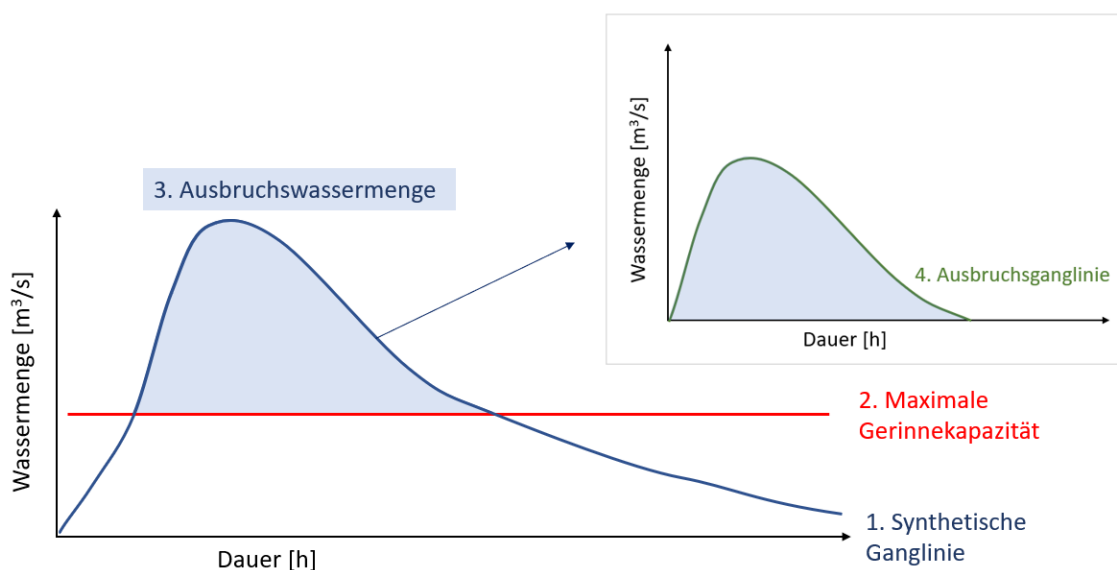


Abbildung 10: Vorgehen bei der Bestimmung der Ausbruchsganglinie mittels synthetischer Ganglinie und bekannter Gerinnekapazität.

Grosse Fliessgewässer mit Staukurven mit Korrektur der Ganglinie

Bei den grossen Fliessgewässern, bei welchen die Abflussspitze korrigiert wurde (s. Kapitel 2.6.4), konnte die synthetische Ganglinie nicht verwendet werden. In diesen Fällen wurde eine vereinfachte Dreiecksganglinie erstellt. Die Dauer der Ganglinie ist von der Einzugsgebietsgrösse abhängig (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: Dauer der Dreiecksganglinie in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse.

Einzugsgebietsgrösse [km²]	Dauer Ganglinie [h]
< 100	3
100 – 250	4
≥ 250	5

Bei diesem Ansatz wurde davon ausgegangen, dass die Abflussganglinie in den ersten 20 % der Zeitdauer auf den maximalen Abfluss ansteigt und anschliessend bis auf 0 m³/s abfällt (s. Abbildung 11). Anhand der Gerinnekapazität wurde die Ausbruchswassermenge sowie die Ausbruchsganglinie abgeleitet (s. Abbildung 11).

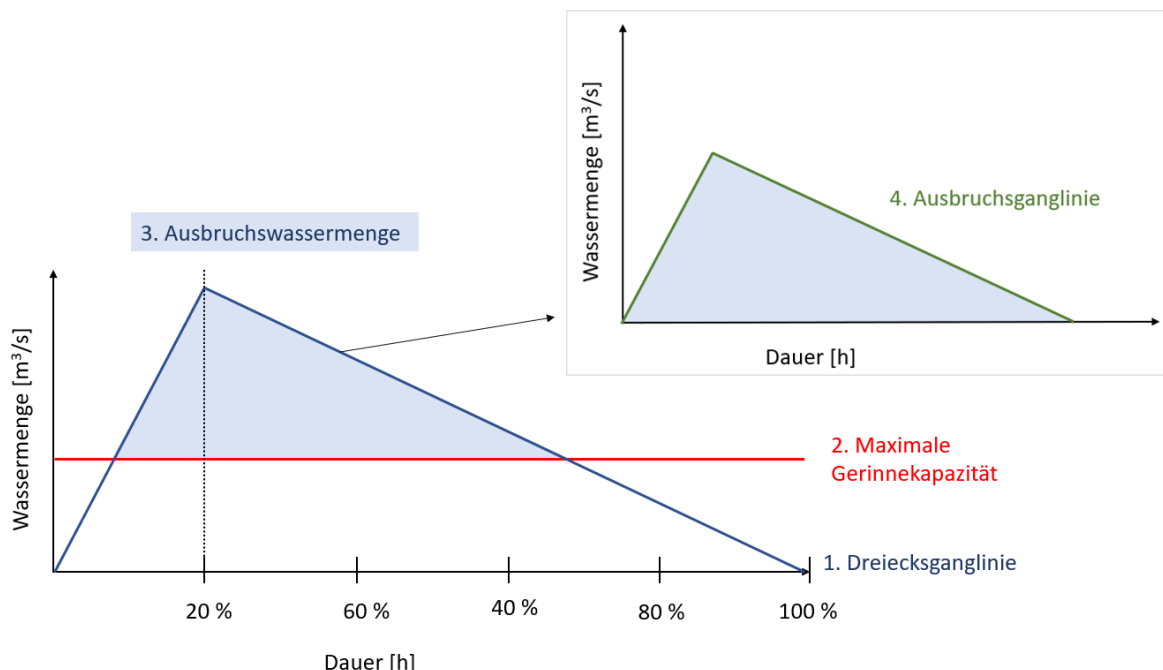


Abbildung 11: Vorgehen bei der Bestimmung der Ausbruchsganglinie mittels Dreiecksganglinie und bekannter maximaler Gerinnekapazität.

2.8.2 Kleine Fließgewässer ohne Staukurven

Bei den kleinen Fließgewässern liegen keine Querprofilangaben und somit auch keine Staukurvenberechnungen vor. Daher wurde an den kleineren Gewässern die Ausbruchsganglinie via Ausbruchsvolumen abgeleitet. Das Ausbruchsvolumen wurde nach dem im Modell WGSIM verwendeten Verfahren gemäss folgender Formel berechnet:

$$\text{Ausbruchsvolumen} \quad V_a = \frac{V}{A^{0.33}}$$

mit V_a Volumen Ausbruch [m³]
 V gesamtes Volumen des Hochwassers,
 berechnet aus Ereignisdauer und Abflussspitze [m³]
 A Einzugsgebietsgrösse in km²

Bei Einzugsgebieten < 1 km² resultieren mit diesem Ansatz unrealistische Ausbruchsvolumina. Aus diesem Grund, wurde für das Verhältnis von Ausbruchsvolumen zu Gesamtvolumen eine Untergrenze von 2:3 definiert.

Kleine Fließgewässer mit synthetischer Ganglinie, ohne Korrekturen

In diesem Fall diente die synthetische Ganglinie (s. Kapitel 2.6) als Basis. Das berechnete Ausbruchsvolumen wurde iterativ an die Ganglinie angepasst. Dabei wurde der Bereich, welcher nicht als Ausbruch zu werten ist, entfernt und daraus die Ausbruchsganglinie erstellt (s. Abbildung 12).

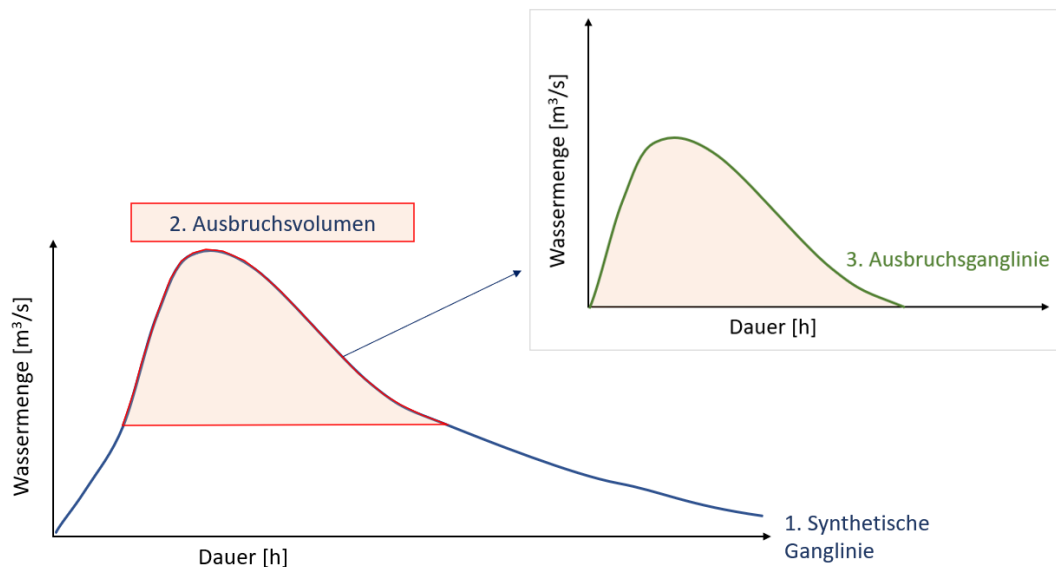


Abbildung 12: Vorgehen bei der Bestimmung der Ausbruchsganglinie mittels synthetischer Ganglinie und Ausbruchsvolumen.

Kleine Fließgewässer mit Korrekturen oder ohne synthetische Ganglinien

Bei korrigierten Ganglinien oder Gewässern $<10 \text{ km}^2$, bei welchen keine synthetische Ganglinien berechnet wurden, wurde analog zu den grösseren Gewässern eine Dreiecksganglinie erstellt (s. Abbildung 11). Anschliessend wurde mit Hilfe des berechneten Ausbruchsvolumens der Spitzenabfluss des Ausbruchs berechnet und dieser als Eingabegrösse für die Überflutungssimulation verwendet.

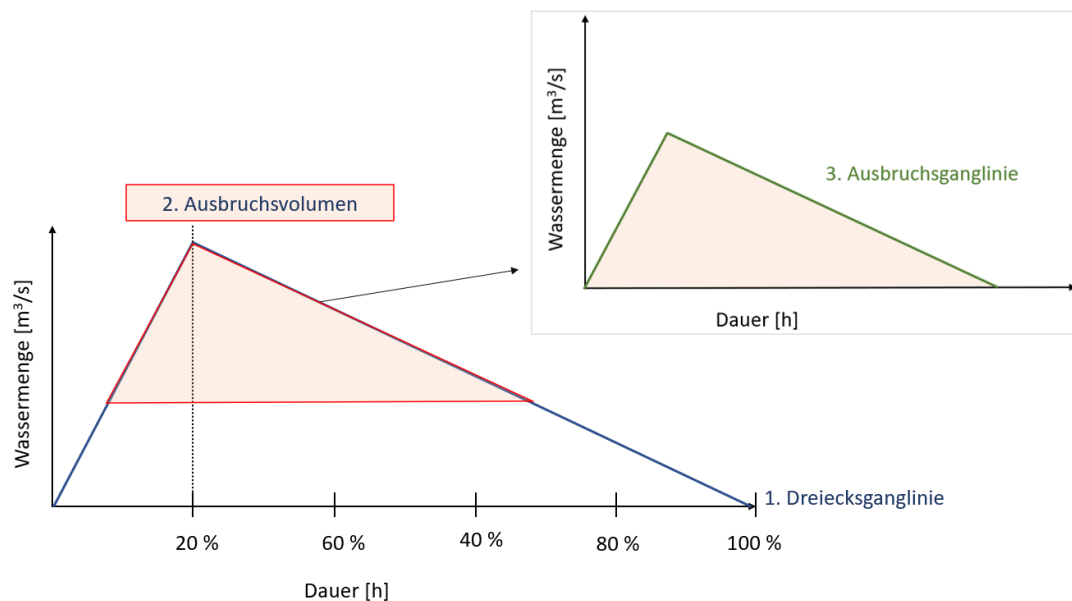


Abbildung 13: Vorgehen bei der Bestimmung der Ausbruchsganglinie mittels Dreiecksganglinie und Ausbruchsvolumen.

2.8.3 Bereinigung Gangliniendauer und Maximalabfluss

Die Minstdauer einer Simulation betrug generell 2 h. Bei den synthetischen Ganglinien kann v.a. bei grösseren Ausbruchswassermengen eine sehr lange Simulationsdauer resultieren, welche für die vorliegende Überflutungsmodellierung nicht massgebend ist. Daher wurde die Minstdauer der Simulation aufgrund der Ausbruchswassermenge festgelegt (s. Tabelle 6). Falls zu diesem Zeitpunkt die Ausbruchswassermenge mehr als 20 % der maximalen Abflussmenge betrug, wurde die Ganglinie erst ab Unterschreitung dieses Werts gekürzt.

Tabelle 6: Bestimmung der Minstdauer der Simulation in Abhängigkeit der Ausbruchswassermenge.

Ausbruchswassermenge	Minstdauer Simulation [h]
$\leq 100 \text{ m}^3/\text{s}$	3
$> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ und $< 250 \text{ m}^3/\text{s}$	4
$\geq 250 \text{ m}^3/\text{s}$	5

Bei unrealistisch hohen Ausbruchswassermengen wurde der maximale Abfluss (Ausbruchswassermenge) in Abhängigkeit der Gewässerkategorie limitiert (Tabelle 7). Für die betroffenen Ausbruchstellen wurden anschliessend neue Dreiecksganglinien analog zum Abschnitt „Kleine Gewässer mit Korrekturen oder ohne synthetische Ganglinie“ erstellt.

Tabelle 7: Maximaler Abfluss für die Simulation (Ausbruchswassermenge) nach Gewässerkategorie.

Gewässerkategorie	Maximale Ausbruchswassermenge [m^3/s]
Kleine Fliessgewässer $\leq 10 \text{ km}^2$	40
Kleine Fliessgewässer $> 10 \text{ km}^2$ & $\leq 20 \text{ km}^2$	60
Kleine Fliessgewässer $> 20 \text{ km}^2$	80
Grosse Fliessgewässer HQ_{30}	100
Grosse Fliessgewässer HQ_{100}	150
Grosse Fliessgewässer HQ_{300}	200

2.9 Simulation der Überflutungsflächen

Für die Berechnung der Überflutungsflächen wurde das Simulationsmodell FloodArea^{HPC} der Firma geomer GmbH, Heidelberg, eingesetzt. Die Berechnung der Überschwemmungsbereiche basiert in diesem Modell auf einem hydrodynamischen Ansatz. Betrachtet werden jeweils die acht benachbarten Rasterzellen. Das Abflussvolumen zu den Nachbarn wird mithilfe der Fliessformel nach Manning-Strickler errechnet.

Als Eingabegrösse für die Überflutungsmodellierung wurde im Modell die Ausbruchsganglinien an den einzelnen Schwachstellen verwendet. Sämtliche Schwachstellen wurden unabhängig voneinander modelliert. Jeder Überflutungsfläche kann somit die entsprechende Ausbruchsstelle eindeutig zugewiesen werden. Es wurden Reinwassersimulationen durchgeführt.

Bei den grossen Fliessgewässern mit Staukurven erfolgte eine Simulation pro Schwachstelle für die Wiederkehrperioden 30, 100 und 300 Jahre mit spezifischen Ausbruchswassermengen. Hier waren mit den Querprofilen Informationen über die Kapazität im Gerinne verfügbar.

Bei den kleinen Fließgewässern (ohne Staukurven) wurden die Überflutungsflächen für die Wiederkehrperiode 100 Jahre simuliert. In Abhängigkeit des Schwachstellentyps erfolgte im Anschluss regelbasiert eine Zuordnung zur Jährlichkeit, ab welcher die Schwachstelle aktiviert ist:

- 30 Jährlich: alle Eindolungen
Die Wahrscheinlichkeit ist gross, dass u.a. wegen Geschiebe/Schwemmholtztransport diese Schwachstellen anspringen.
- 100 Jährlich: alle Eindolungen, alle Brücken mit einer Höhe < 5 m und alle Reliefschwachstellen mit einem Höhenunterschied zwischen Gerinnesohle und Umland < 2 m
- 300 Jährlich: alle Schwachstellen

Dies bedeutet, dass das Modellierungsergebnis z.B. bei einer Schwachstelle vom Typ «Eindolung» bei einem 30-, 100- und 300-jährlichen Ereignis identisch ist. Diese Vereinfachung wurde auf Stufe Hinweis vorgenommen, da das Wissen über die tatsächliche Kapazität eines Gerinnes aus den berücksichtigten Geodaten gering ist (s. Kapitel 2.8.2).

Aus jeder Simulation resultieren alle 5 Minuten für jede Rasterzelle Angaben zur Fliesstiefe, Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung. Diese Angaben wurden abgespeichert und im Postprocessing (s. Kapitel 3) ausgewertet.

3 Postprocessing Fließgewässer

3.1 Vorgehen

Das Postprocessing für den Datensatz «Gefahrenhinweiskarte Wasser» umfasste bei den Fließgewässern folgende Hauptschritte:

- Extraktion maximale Fliesstiefe pro Simulation (s. Kapitel 3.2)
- Reduktion Überflutungsflächen und -tiefen im Bereich von Ausbruchstellen (s. Kapitel 0)
- Umwandlung Rasterdatensatz in einen Polygondatensatz (Vektorisierung) und Ableitung einer klassierten Überflutungstiefe (s. Kapitel 3.4)
- Bereinigung Überströmen Vorfluter (s. Kapitel 3.5)
- Aufbereitung Abgabeprodukte (s. Kapitel 3.6 und 6.2)

Diese Schritte werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.2 Extraktion maximale Fliesstiefen

Aus den simulierten Überflutungsflächen wurden für sämtliche Schwachstellen pro Rasterzelle (Auflösung: 2 m) und Jährlichkeit die maximalen Fliesstiefen aus den abgespeicherten Zeitschritten (s. Kapitel 2.9) ausgelesen. Diese Information liegt für sämtliche Schwachstellen (s. Kapitel 2.5) unabhängig voneinander vor.

3.3 Reduktion Überflutungsflächen

Die Ausbruchswassermengen werden an einer Rasterzelle ins Modell eingespiesen. Aufgrund der eingespiesenen Wassermenge und Fläche der Rasterzelle können sehr grosse Wassersäulen entstehen, welche nur langsam abfließen und ein lokales bergauf-Fließen begünstigen. Die entsprechenden Überflutungsflächen wurden im Rahmen des Postprocessings reduziert.

Die Reduktion der Überflutungsflächen erfolgte über die Festlegung eines maximal zulässigen Pegels der Überflutung im Umfeld der Ausbruchstelle. Dieser Wert wurde proportional zur Ausbruchswassermenge bei 2 m pro 100 m³/s austretendem Wasser festgelegt. Damit beim

Ausbruch von geringen Wassermengen die Reduktion nicht zu stark ausfällt, wurde als Minimum ein Wert von 1 m definiert.

Abbildung 14 zeigt, wie damit die Wassersäule im Umfeld der Ausbruchsstelle stark reduziert werden konnte und das Wasser in einem deutlich geringeren Mass talaufwärts fliesst.

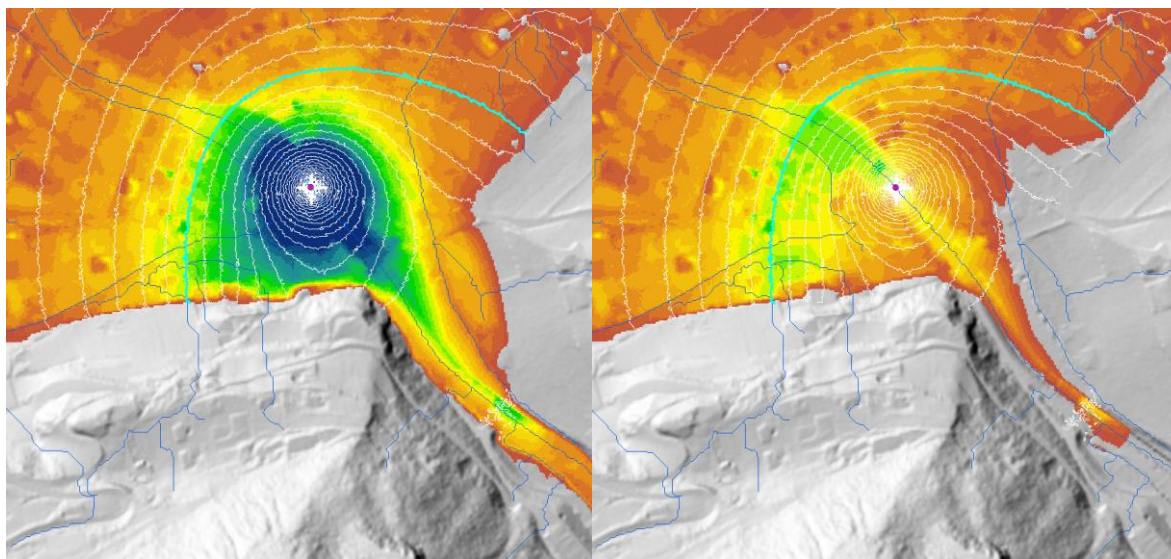


Abbildung 14: Simulation ohne (links) und mit Korrektur der Überflutungsflächen (rechts).
(Quelle Kartenhintergrund: Bundesamt für Landestopografie).

3.4 Vektorisierung und Klassierung Resultate

In einem nächsten Arbeitsschritt wurde aus den bereinigten maximalen Fliesstiefen pro Schwachstelle ein Polygondatensatz mit einer klassierten Überflutungstiefe abgeleitet (Abbildung 15).

Es wurde folgende Klassierung der Überflutungstiefe h vorgenommen:

Tabelle 8: Klassierung Fliesstiefe

Klassierung Fliesstiefen h

$0 < h \leq 5$ cm

$5 < h \leq 25$ cm

$25 < h \leq 50$ cm

$50 < h \leq 200$ cm

$h > 200$ cm

Im Rahmen einer Generalisierung wurden anschliessend Flächen $< 500 \text{ m}^2$ der grössten benachbarten Kategorie zugeordnet.

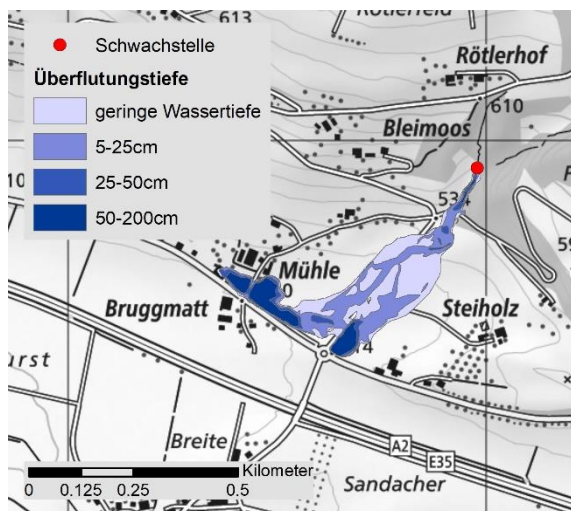


Abbildung 15: Ausbruchstelle (Typ „Eindolung“) bei Rötlerhof (Gemeinde Dagmersellen) mit Überflutungstiefenpolygon (hier keine Überflutungsflächen > 200 cm). (Quelle Hintergrund: PK25, Bundesamt für Landestopografie).

3.5 Bereinigung Überströmen Vorfluter

Da die Gerinne bei der Simulation alle „gefüllt“ sind (s. Kapitel 2.2), fliessen austretende Wassermengen aus Schwachstellen eines Seitengewässers nicht nur in den Vorfluter hinein, sondern überströmen ihn und bilden auf der gegenüberliegenden Seite Überflutungsflächen. Da diese Überflutungsflächen in einigen Fällen unrealistisch und unerwünscht sind, wurden die Überflutungsflächen der kleinen Gewässer mit den Vorflutern verschnitten. Diejenigen Bereiche, welche durch einen Vorfluter abgetrennt werden, wurden gelöscht.

Es wurden folgende Bereinigungsschritte durchgeführt:

- Überflutungsflächen von Gewässern mit einem Einzugsgebiet $\leq 10 \text{ km}^2$ wurden durch Vorfluter mit einem Einzugsgebiet $> 10 \text{ km}^2$ abgeschnitten.
- Überflutungsflächen von Gewässern mit einem Einzugsgebiet $\leq 2 \text{ km}^2$ wurden durch Vorfluter mit einem Einzugsgebiet $> 5 \text{ km}^2$ abgeschnitten.

Abbildung 16 zeigt eine Überflutungsfläche eines kleineren Gewässers, welches nur bis zum Vorfluter gelangt.



Abbildung 16: Bereinigte Überflutungsflächen. Überflutungsflächen westlich der Wigger wurden gelöscht. (Quelle Kartenhintergrund: Bundesamt für Landestopografie).

3.6 Aufbereitung Abgabedaten

Die Geodaten wurden in einem weiteren Schritt aufbereitet und gemäss Anforderungen des Kantons Luzern attribuiert. Die erstellen Abgabeprodukte sind in Kapitel 6.2 aufgeführt und in [6] detailliert beschreiben.

4 Seen

Für die Gefährdungskarte Hochwasser wurden für ausgewählte Seen die Überflutungsbereiche für unterschiedliche Jährlichkeiten abgeleitet. Im Kanton Luzern waren dies Baldeggersee, Hallwilersee, Sempachersee, Vierwaldstättersee und Zugersee.

Zuerst wurden die Hochwasser-Koten für die Jährlichkeiten 30, 100 und 300 für die betrachteten Seen definiert (s. Tabelle 9). Wellenschlag und Wind wurden dabei nicht berücksichtigt. Die dazu verwendeten Grundlagen sind im Anhang B aufgeführt.

Tabelle 9: Im Kanton Luzern berücksichtigte Seen und Hochwasserkoten bei der Gefährdungskarte Hochwasser.

Gewässer	Kote HQ ₃₀ [m ü.M.]	Kote HQ ₁₀₀ [m ü.M.]	Kote HQ ₃₀₀ [m ü.M.]
Baldeggersee	464.11	464.20	464.26
Hallwilersee	449.27	449.34	449.40
Sempachersee	504.25	504.35	504.45
Vierwaldstättersee	434.65	434.90	435.30
Zugersee	414.36	414.46	414.55

Ausgehend von den entsprechenden Hochwasser-Koten wurde für jede Jährlichkeit und jeden See via digitales Höhenmodell eine Begrenzungslinie gerechnet. Als digitales Höhenmodell wurde swissALTI^{3D} [12] mit einer Auflösung von 0.5 m verwendet. In der weiteren Verarbeitung wurde die Auflösung des Rasters auf 4 m reduziert. Auf der durch die Begrenzungslinie bestimmten Überflutungsfläche wurde die Fliesstiefe als Differenz aus Hochwasser-Kote und digitalem Höhenmodell gerechnet und analog wie die Fliessgewässer vektorisiert und klassiert (s. Tabelle 8). Flächen im Innern der Seen bzw. ohne Datenwert wurden mit Code 99 klassiert und können vernachlässigt werden. Anschliessend wurden mit der Hauptfläche des Sees nicht zusammenhängende Flächen automatisiert entfernt. Eine weitere Bereinigung wurde nicht vorgenommen.

Abbildung 17 zeigt als Beispiel die Fliesstiefenkarte für das HQ₃₀ beim südlichen Teil des Hallwilersees. In Abbildung 18 sind die abgegrenzten Überflutungsflächen für das HQ₃₀, HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ am Vierwaldstättersee bei Luzern abgebildet.

Die erstellen Abgabeprodukte sind in Kapitel 6.2 aufgeführt und in [6] detailliert beschreiben.

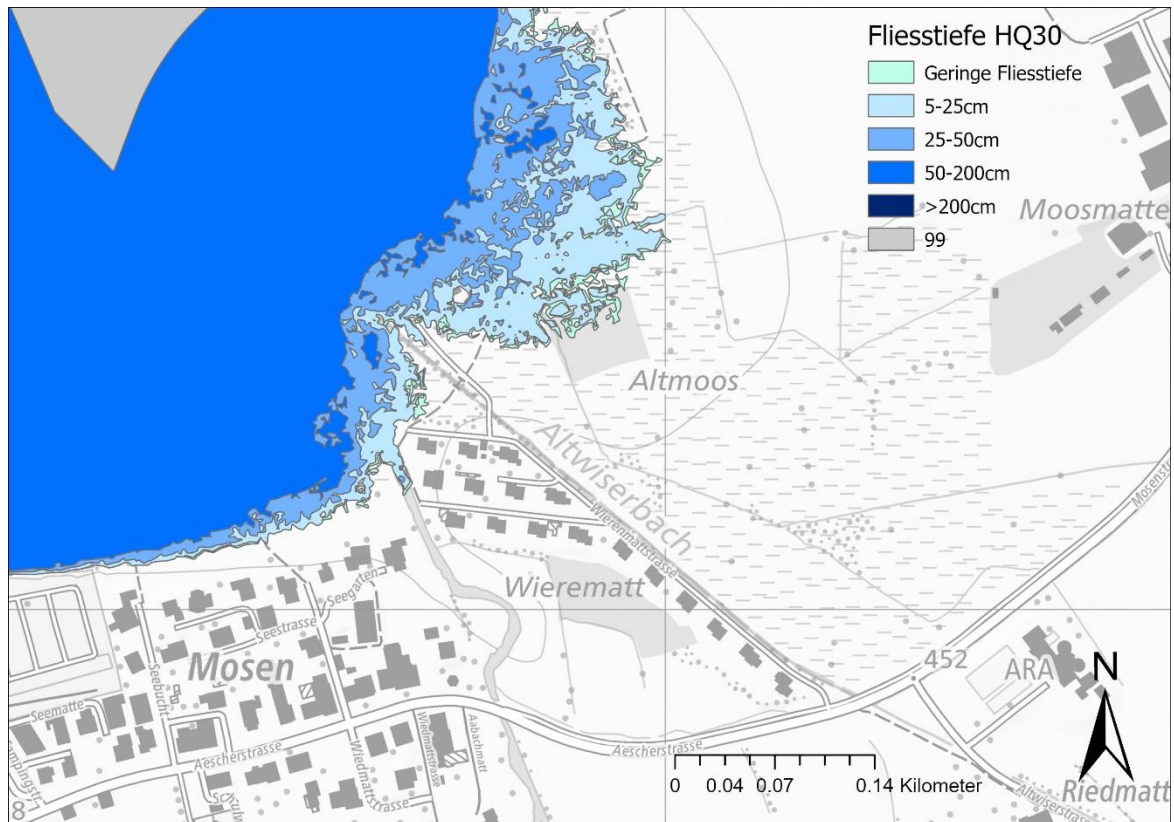


Abbildung 17: Fliesstiefenkarte für das HQ30 beim südlichen Teil des Hallwilersees.
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25, Bundesamt für Landestopografie).

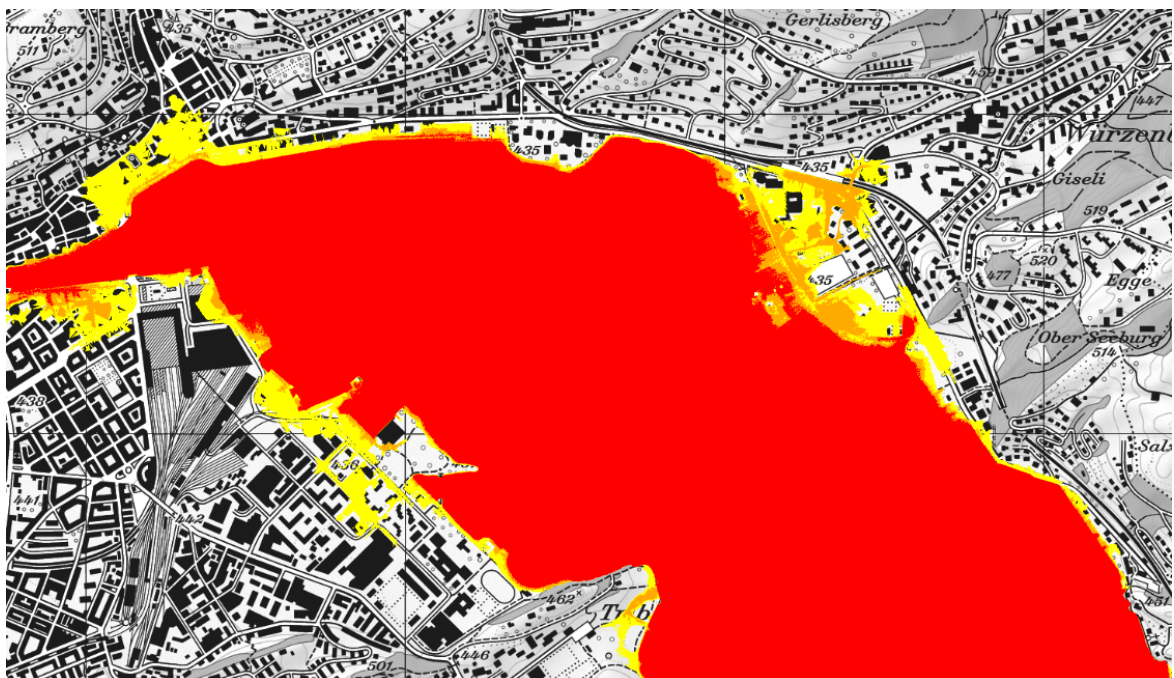


Abbildung 18: Überflutungsflächen am Vierwaldstättersee Rot: HQ₃₀, Orange: HQ₁₀₀, gelb: HQ₃₀₀.
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25, Bundesamt für Landestopografie).

5 Resultate

Bei der Gefährdungskarte Hochwasser handelt es sich um ein Modellierungsprodukt ohne Validierung im Gelände. Ziel war, dass mit einheitlicher Methode eine flächendeckend verfügbare und damit eine vergleichbare Grundlage zur Überflutung durch Gewässer zur Verfügung steht. Das aus der Gefährdungskarte abgeleitete Produkt der Gefahrenhinweiskarte Wasser liefert somit eine Übersicht über die potenzielle Betroffenheit durch Hochwasser. Bei der weiteren Verwendung der Daten ist zentral, dass diese kritisch validiert und mit der örtlichen Situation abgeglichen werden. Abbildung 19 zeigt als Beispiel einen Vergleich der Gefahrenhinweiskarte Wasser 2022 mit der Gefahrenkarte Wasser und der Gefahrenhinweiskarte Wasser 2005 bei Menznau.

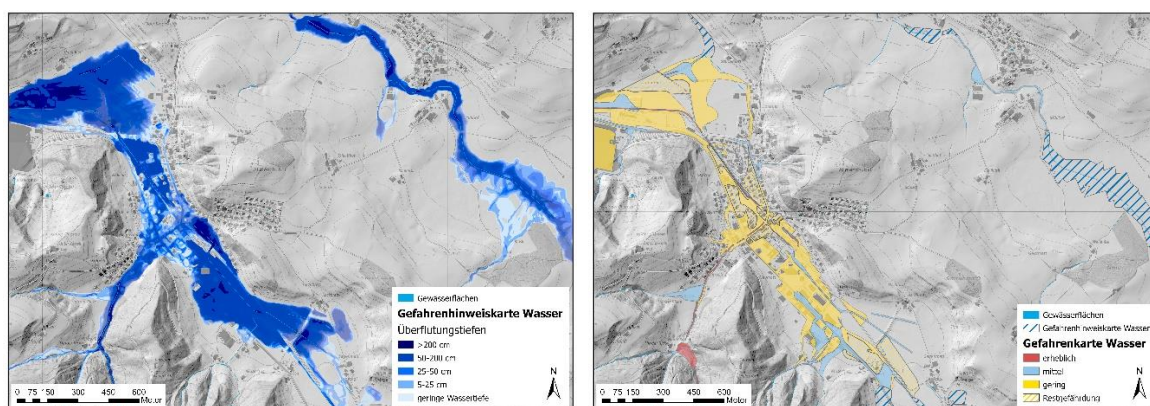


Abbildung 19: Region Menznau, Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ300, links) und Gefahrenkarte / Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2005) Kanton Luzern (rechts).
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Gefahregrundlagen: © rawi Kanton Luzern).

Die Hauptsiedlungsgebiete werden durch die Gefahrenkarten Wasser abgedeckt. Sie beinhalten Angaben zu den Prozessarten Überschwemmung, Murgang und Ufererosion. Die flächendeckende Modellierung der Gefahrenhinweiskarte Wasser berücksichtigt „nur“ den Reinwasserabfluss. D.h. Prozesse wie Murgänge oder Geschiebetransport werden nicht berücksichtigt. Somit ist offensichtlich, dass sich bei gewissen Gefahrenstellen eine Differenz zwischen der Gefahrenhinweiskarte und der Gefahrenkarte Wasser einstellen muss. Zum Beispiel führen Murgangablagerungen zu möglichen Verklausungen mit entsprechenden Wasseraustritten, welche in der Gefahrenhinweiskarte Wasser nicht abgebildet werden (vgl. Abbildung 21).

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren zeigen die Ergebnisse insgesamt über das gesamte Untersuchungsgebiet realistische Überflutungsflächen. Vielerorts liegen die Überflutungsflächen der Gefahrenhinweiskarte Wasser nahe bei denen aus der Gefahrenkarte Wasser. In der Tendenz sind die Überflutungsflächen der Gefahrenhinweiskarte eher etwas ausgedehnter. Dies ist zu erwarten, da darin keine Schutzbauten berücksichtigt sind (vgl. Abbildung 25). Im Vergleich mit der Gefahrenkarte Wasser zeigt sich ein Vorteil der Gefahrenhinweiskarte Wasser deutlich – die Gefahrenflächen enden nicht an den Grenzen des Perimeters der Gefahrenkarte und sind im Vergleich zur bestehenden Gefahrenhinweiskarte 2005 [8] differenzierter ausgeschieden. In Gewässern selber werden methodisch bedingt keine verlässlichen Informationen zur Fliesstiefe geliefert. Diese Flächen sind als «Gewässerflächen» gekennzeichnet.

Vergleicht man in der Region Sempach die Gefahrenhinweiskarte Wasser 2022 mit der Gefahrenkarte Wasser zeigt sich ein vergleichbares Bild (s. Abbildung 20).

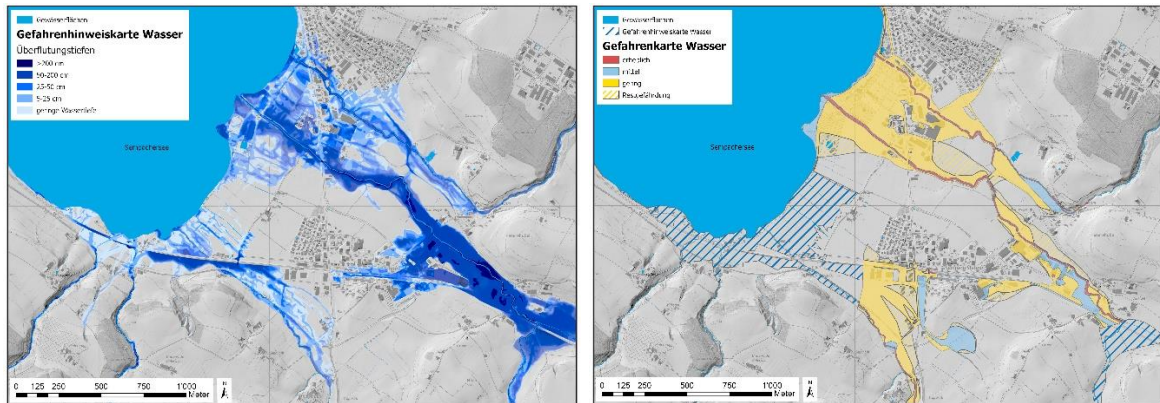


Abbildung 20: Region Sempach, Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ300, nur Fließgewässer, links) und Gefahrenkarte / Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2005) (rechts).
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Gefahrengrundlagen: © rawi Kanton Luzern).

In den folgenden Abbildungen werden wichtige Punkte aufgegriffen, die bei der Interpretation der Resultate unbedingt berücksichtigt werden müssen.

Bei Obernau zeigt sich deutlich, dass in der Simulation der Gefahrenhinweiskarte Wasser Geschiebetransport und Murgänge nicht berücksichtigt sind. Die Gefahrenflächen der Seitenbäche sind auf der Gefahrenkarte Wasser deutlich grösser und die ausgeschiedenen Intensitäten höher (s. Abbildung 21).

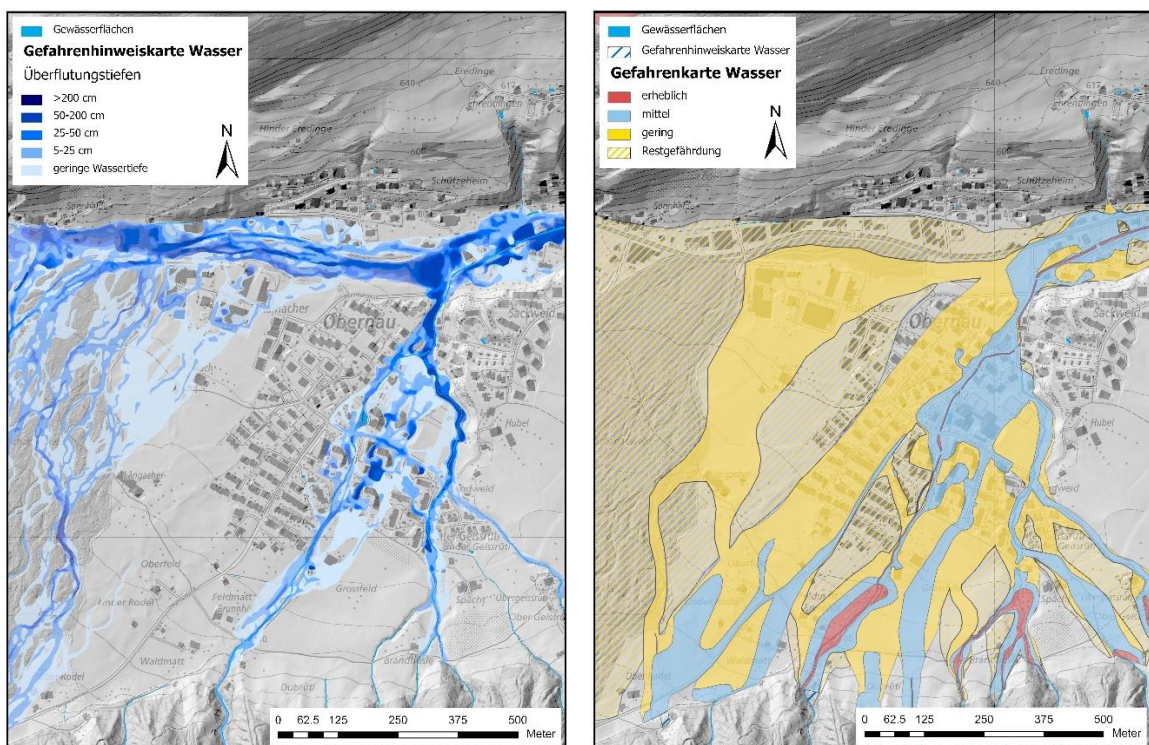


Abbildung 21: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ300, links) und Gefahrenkarte Wasser (rechts).
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Gefahrengrundlagen: © rawi Kanton Luzern).

Der Vorteil der Gefahrenhinweiskarte (2022) ist, dass zum einen die einzelnen Schwachstellen ausgeschieden werden und diese bei Bedarf manuell an- oder ausgeschaltet werden können. Zum anderen ist für jede Schwachstelle definiert, ab welcher Jährlichkeit der Ausbruch stattfindet (s. Abbildung 22). Diese Zuordnung wurde regelbasiert festgelegt (vgl. Kapitel 2.9) und ist daher mit Unsicherheiten behaftet.

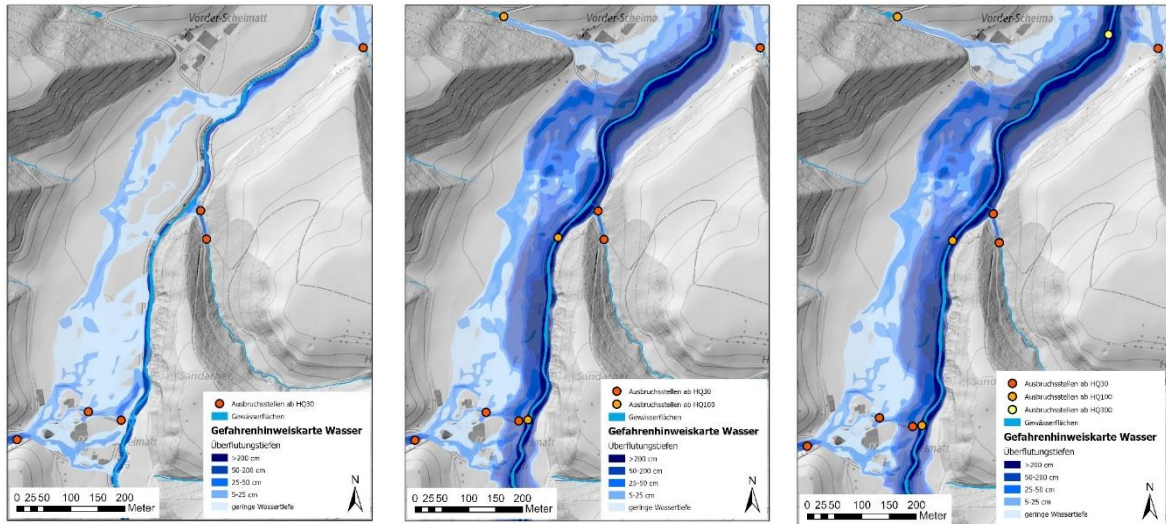


Abbildung 22: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022). Regelbasierte Festlegung von Ausbruchstellen ab HQ30 (links), HQ100 (Mitte) und HQ300 (rechts) mit separater Modellierung pro Schwachstelle. (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

Die Überflutungsflächen für die Seen wurden separat ausgeschieden (vgl. Kapitel 4). In Abbildung 23 ist das 300jährige Seehochwasser vom Vierwaldstättersee bei Horw dargestellt.

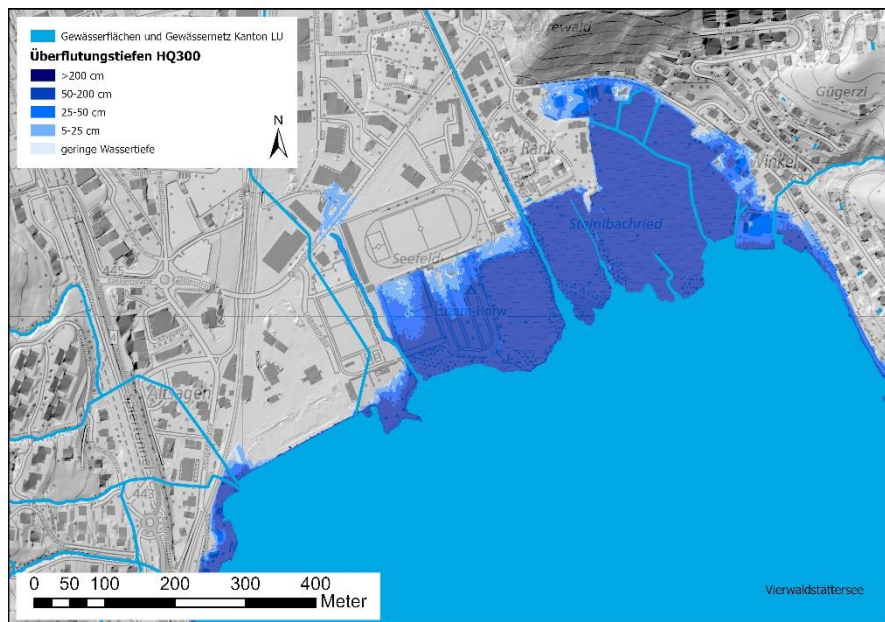


Abbildung 23: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (nur Seen, HQ300) bei Horw. (Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

Im verwendeten Geländemodell [12] können teilweise Hindernisse vorhanden sein (z.B. Unterführungen), welche in Wirklichkeit abfliessendem Wasser einen Durchfluss erlauben würden. Rückstaueffekte können einen grossen Einfluss auf das Resultat ausüben, dies muss insbesondere bei der Interpretation von Fliesstiefen >2 m beachten werden. In Abbildung 27 wird dieser Rückstauereffekt in der Stadt Luzern beim Ausfluss der Reuss aus dem Vierwaldstättersee veranschaulicht.

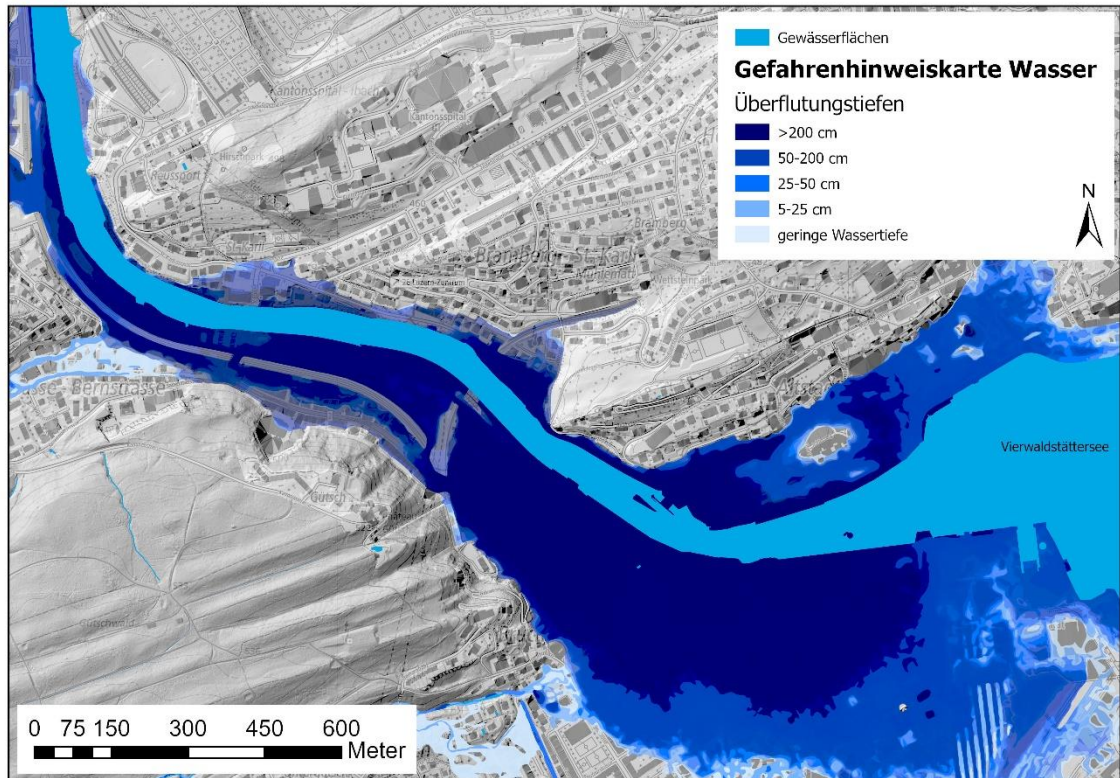


Abbildung 24: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ300) in der Stadt Luzern beim Ausfluss der Reuss aus dem Vierwaldstättersee.
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

Ebenfalls nicht berücksichtigt sind Schutzbauten, ausser sie sind im Geländemodell abgebildet. Durch den Vergleich der Gefahrenhinweiskarte Wasser und der Gefährdungskarte, zeigt die Abbildung 28 den Einfluss der Schutzbauten in der Ron, welche Überschwemmungen aus der Ron bei häufigen Ereignissen weitgehend verhindern soll. Die ausgewiesenen Überschwemmungsflächen und Fliesstiefen in der Gefahrenhinweiskarte Wasser fallen in diesen Fällen in der Regel zu gross aus.

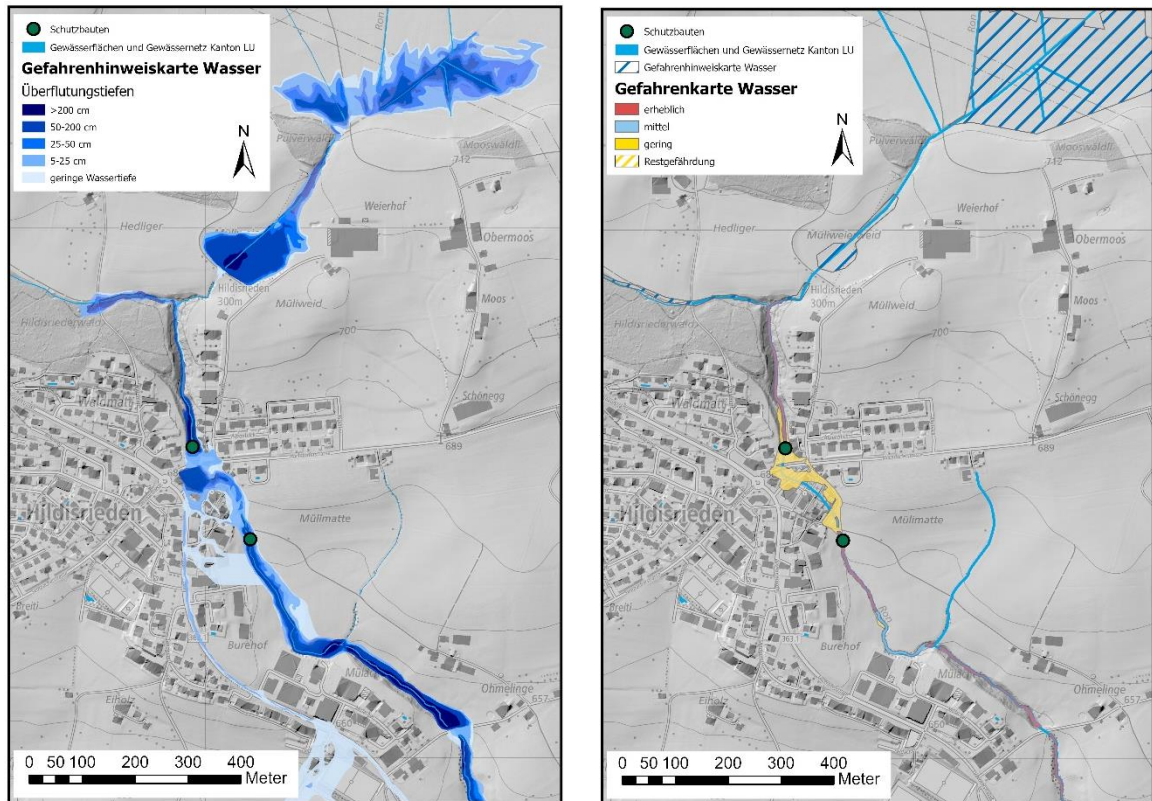


Abbildung 25: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ30, links) und Gefahrenkarte Wasser (rechts) bei Hildisrieden.
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie; Quelle Gefahregrundlagen: © rawi Kanton Luzern).

Neben den Fliesstiefenkarten wurden für die verschiedenen Jährlichkeiten auch Intensitätskarten als Geodatenprodukt berechnet (vgl. Abbildung 26 und Kapitel 6.2).

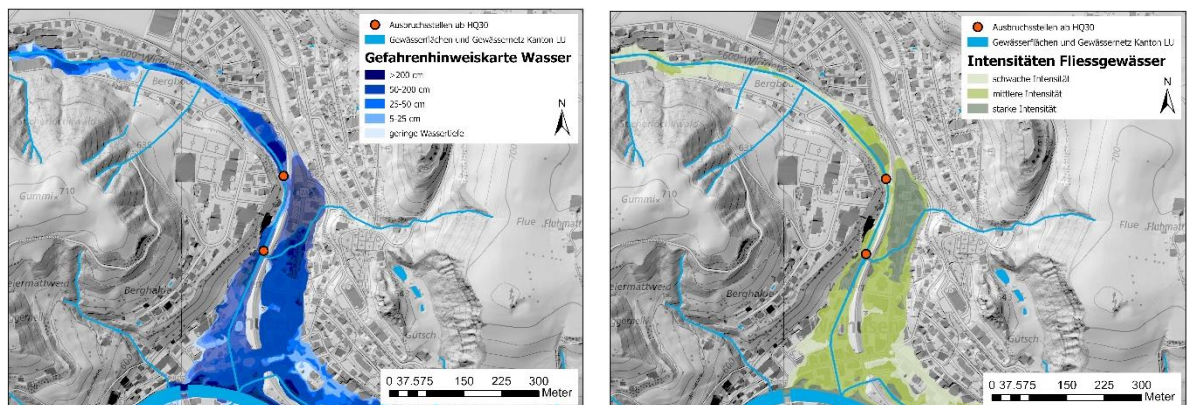


Abbildung 26: Gefahrenhinweiskarte Wasser (Version 2022) (HQ30, links), Intensität Wasserprozesse für das HQ30 (rechts) bei Wolhusen.
(Quelle Kartenhintergrund: Landeskarte PK25 und Hillshade, Bundesamt für Landestopografie).

6 Produkte

6.1 Bericht

Der vorliegende Bericht besteht aus dem beschreibenden Hauptteil und den Anhängen. Der Bericht erläutert die angewandte Methodik zur Erarbeitung der Gefährdungskarte Hochwasser sowie der aufbereiteten Geodaten für die Gefahrenhinweiskarte Wasser Kanton Luzern. Weiter werden wichtige Hinweise zur Interpretation der Resultate gegeben. Es wird empfohlen den Bericht und die Geodaten gemeinsam aufzubewahren.

6.2 Geodaten

Die Ergebnisse der Simulationen werden für die weitere Verwendung in ArcGIS im Format ESRI File Geodatabase abgegeben. Ausführliche Informationen zu den verschiedenen Datensätzen sind in [6] enthalten. Folgende Produkte sind verfügbar:

- Schwachstellen an Fließgewässern (GHFLGXXX_DS_V1.gdb, Filename: GHFLGXXX_V1_PT): Punktdatensatz mit Informationen zu den jeweiligen Schwachstellen (Schwachstellentyp, Grösse Einzugsgebiet, Max. Ausbruchswassermenge, Spitzenabfluss, Überflutung ab Jährlichkeit mit eindeutigen Schwachstellennummern und Prozessquellencodes sowie weiteren Metadaten).
- Überflutungsfläche pro Schwachstelle (GHFLGXXX_DS_V1.gdb, Filename: GHFLGXXX_V1_PY): Überflutungsflächen pro Schwachstelle und Grundszenario mit Angabe von Wassertiefe und Intensität mit eindeutigem Prozessquellencode).
- Tabelle mit Zusatzinformationen (GHFLGXXX_DS_V1.gdb, Filename: GHFLGXXX_V1_TAB): Prozessquellen und -namen ergänzend zur Gefahrenkarte Wasser des Kantons.
- Fliesstiefen Fließgewässer (GHFLGWQW_DS_V1.gdb, Filename: GHFLGWQW_V1_PY): Grundszenarien pro Prozessquelle
- Intensitäten Fließgewässer (GHFLGIQW_DS_V1.gdb, Filename: GHFLGIQW_V1_PY): pro Prozessquelle
- Überflutungstiefen Seen (GHSEEWQW_DS_V1.gdb, Filename: GHSEEWQW_V1_PY): Grundszenarien pro Prozessquelle
- Intensitäten Seen (GHSEEIQW_DS_V1.gdb, Filename: GHSEEIQW_V1_PY): Grundszenarien pro Prozessquelle.

7 Fazit

Mit der aktualisierten Gefahrenhinweiskarte Wasser steht dem Kanton Luzern flächendeckend eine einheitlich erarbeitete Gefahrengrundlage für Hochwasserprozesse zur Verfügung. Sie erlaubt Aussagen zur Gefährdungssituation zu Fließgewässern und für grössere Seen auf Stufe Hinweis und kann u.a. auch im Kontext von Risikoanalysen eingesetzt werden.

Bei der Interpretation der Resultate gilt es insbesondere zu beachten, dass die Ergebnisse nicht im Gelände validiert worden sind und Schutzbauten, sofern sie nicht im Höhenmodell abgebildet sind, nicht berücksichtigt sind. Weiter handelt es sich um Aussagen zu einem Reinwasserprozess. Dies bedeutet, dass u.a. Geschiebetransport oder Murgangprozesse nicht abgebildet sind. Für detailliertere Aussagen sind deshalb in jedem Fall weitergehende Abklärungen notwendig.

Bern, 29. August 2023



Dr. Andy Kipfer
Projektleiter / Geschäftsleitung
geo7 AG



Dr. Catherine Berger
Geschäftsleitung
geo7 AG

Verzeichnisse

Literatur

- [1] Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2020): Hydrologische Daten und Vorhersagen. <https://www.hydrodaten.admin.ch/> (Stand 2020).
- [2] Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWV), Bundesamt für Raumplanung (BRP) und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlung. 32 S.
- [3] Brunner M. I. (2018): Catchment- and Event-Type Specific Synthetic Design Hydrographs. Estimation, Characterization, Regionalization, and Uncertainty. Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde. Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich: Zürich.
- [4] Bundesamt für Umwelt (BAFU) / Schweizerischer Versicherungsverband (SVV) / Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG) (2018): Gefährdungskarte Oberflächenabfluss.
- [5] Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Hydrologie (2018): Verzeichnis grosser Hochwasserabflüsse in Schweizerischen Einzugsgebieten. Auswertung und graphische Aufbereitung. Bericht 17/299. Scherrer AG: Reinach.
- [6] Kanton Luzern, Verkehr und Infrastruktur (vif) (2023): Risikoübersicht Naturgefahren Kanton Luzern. Neue Gefahrengrundlagen Wasser. Dokumentation.

Geodaten

- [7] Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, Bundesamt für Umwelt (BAFU) / Schweizerischer Versicherungsverband (SVV) / Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen (VKG) (2018).
- [8] Gefahrenhinweis Hochwasser Kanton Luzern (Stand 01.01.2005), © rawi Kanton Luzern.
- [9] Gewässernetz Kanton Luzern (Stand 01.01.2022), © rawi Kanton Luzern.
- [10] Oberflächenabflusskarte Kanton Luzern (Stand 10.12.2015), © rawi Kanton Luzern.
- [11] Schweizweit harmonisierte Daten zu den Fluss-Querprofilen, Mobiliar Lab für Naturrisiken (Stand 6.2.2020).
- [12] swissALTI^{3D}, Bundesamt für Landestopografie (Lieferung Mai 2020).
- [13] swissTLM^{3D}, Bundesamt für Landestopografie (Stand 2018).

Anhang A Pufferung der Bodenbedeckung TLM

Tabelle 10: Pufferung der TLM-Strassen und -Eisenbahnen aus [13]

Layer	Beschreibung (Objektart)	Pufferung [m]
Strasse	10 m Strasse (8)	5
Strasse	1 m Weg (16)	0.5
Strasse	1 m Wegfragment (17)	0.5
Strasse	2 m Weg (15)	1
Strasse	2 m Wegfragment (18)	1
Strasse	3 m Strasse (11)	1.5
Strasse	4 m Strasse (10)	2
Strasse	6 m Strasse (9)	3
Strasse	8 m Strasse (20)	4
Strasse	Ausfahrt (0)	3.5
Strasse	Autobahn (2)	5
Strasse	Autostrasse (21)	5
Strasse	Autozug (13)	1.75
Strasse	Dienstzufahrt (6)	2
Strasse	Einfahrt (1)	3.5
Strasse	Markierte Spur (19)	0.5
Strasse	Platz (12)	3
Strasse	Raststaette (3)	3.5
Strasse	Verbindung (4)	3
Strasse	Zufahrt (5)	3.5
Eisenbahn	Kleinbahn (5)	0.75
Eisenbahn	Normalspur (0)	1.5
Eisenbahn	Schmalspur (2)	1.5
Eisenbahn	Schmalspur mit Normalspur (4)	1.5

Anhang B Grundlagen Hochwasserkoten Seen

See	Quelle
Baldeggersee	Kanton Luzern, Gemeinde Hochdorf (2008): Gefahrenkarte Hochdorf. geo7 AG.
Hallwilersee	Kanton Aargau (2010): Gefahrenkarte Hochwasser Seetal/Aabach. AF-Colenco AG.
Sempachersee	Kanton Luzern, Stadt Sempach (2007): Gefahrenkarte Sempach. Oeko-B AG, GEOTEST AG.
Vierwaldstättersee	Kanton Luzern, Stadt Luzern (2017): Gefahrenkarte Stadt Luzern. Überarbeitung Gefahrenkarte Wasser, Modul 2. Hunziker, Zarn & Partner AG.
Zugersee	Kanton Zug, Stadt Zug (2006): Gefahrenkarte Stadt Zug. ARGE Hunziker, Zarn & Partner AG, GEOTEST AG.