Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 95 (2003)

Heft: 5-6

Artikel: Szenarienbildung bei der Erstellung von Überflutungs- und Gefahrenkarten : ein Diskussionsbeitrag

Autor: Zarn, Benno

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939469

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

Szenarienbildung bei der Erstellung von Überflutungs- und Gefahrenkarten – ein Diskussionsbeitrag

Benno Zarn

Zusammenfassung

In den Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten wird das Schwergewicht auf die Zuordnung der Gefahrenstufen gelegt. Entsprechend den Empfehlungen wird auch in der Praxis bei der Ausarbeitung von Gefahrenkarten diesem Thema häufig eine grosse, zum Teil eine zu grosse Bedeutung zugemessen. Das Schwergewicht der Untersuchungen sollte auf die wasserbauliche Beurteilung gelegt werden, denn letztlich sind die angenommenen Szenarien für die Zuordnung der Gefahrenstufen entscheidend. Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass mit der Szenarienbildung die Gefahrenstufen und damit die Gefahrenkarten erheblich beeinflusst werden können; in der Regel in einem deutlich grösseren Ausmass als mit den Methoden zur Bestimmung der Gefahrenstufen in Überflutungsflächen. Weiter sollten Kriterien zur Berücksichtigung der Ufererosion kritisch hinterfragt werden und bei der Gefahrenbeurteilung vermehrt das Augenmerk auf das Abfluss(Geschiebe)volumen und nicht nur auf die Abflussspitze gelegt werden. Um möglichst vergleichbare Gefahrenkarten zu erarbeiten, muss geprüft werden, ob nicht auch für die Szenarienbildung Empfehlungen im Sinne einer Checkliste ausgearbeitet werden sollten.

1. Einleitung

Vor rund 15 Jahren wurde vom Bundesamt für Wasserwirtschaft (heute Bundesamt für Wasser und Geologie) das Thema Gefahrenkarte Wasser lanciert [1]. In der Zwischenzeit wurden zahlreiche Gefahrenkarten erstellt oder sind in Bearbeitung. Zum Teil umfassen sie nur einen einzelnen Wildbach, zum Teil die grossen Talflüsse wie Rhone oder Alpenrhein. Der Zweck der Gefahrenkarte ist aber immer der gleiche. Sie soll aufzeigen, welche Gebiete wegen Naturgefahren nicht oder nur bedingt für bestimmte Nutzungen geeignet sind. Die Gefahrenkarte respektive die erarbeiteten Grundlagen bilden auch eine wichtige Basis für die Richt- und Nutzungsplanung sowie für die Massnahmenplanung.

Seit 1997 werden die Gefahrenkarten auf die Empfehlung «Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» der Bundesämter für Wasserwirtschaft, für Raumplanung sowie für Umwelt, Wald und Landschaft abgestützt [2]. Diese Empfehlung schlägt eine Methodik zur Erarbeitung der Gefahrenkarten vor. Das Schwergewicht liegt bei der Zuordnung der Gefahrenstufen respektive bei der Darstellung der Gefahrenkarte. Entscheidend für die Festlegung der Gefahrenstufen, welche von der Wahrscheinlichkeit und der Intensität einer allfälligen Gefährdung abhängen, ist die Szenarienbildung respektive die Quantifizierung der beiden Fragen:

- Wo und mit welcher Wahrscheinlichkeit treten welche Wasser- und Geschiebemengen über die Ufer?
- Wo und mit welcher Wahrscheinlichkeit kann sich ein Fliessgewässer um wie viel verlagern?

Über die Szenarienbildung wurde im Gegensatz zur Gefahrenkarte bis anhin kaum diskutiert. Anhand von verschiedenen Beispielen wird auf Schwierigkeiten bei der Szenarienbildung hingewiesen. Die Beispiele beschränken sich auf Flüsse mit fluvialem Geschiebetransport und erheben keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sind vielmehr als Diskussionsbeitrag zu verstehen.

2. Gefahrenkarte

Um die Auswirkung der Szenarienbildung auf die Gefahrenkarte abschätzen zu können, werden das Vorgehen und die Kriterien zur Bestimmung der Gefahrenstufen kurz zusammengefasst.

Bei den Wassergefahren werden die drei Gefahrenarten Überschwemmung, Ufererosion und Übermurung unterschieden. In den Empfehlungen [2] wird für die Erfassung der Wassergefahren ein dreistufiges Vorgehen postuliert (Bild 1). Die Gefahrenerkennung (was kann wo passieren) setzt sich aus der Ereignisdokumentation, einer Geländeanalyse und der wasserbaulichen Beurteilung zusammen. Anschliessend erfolgt die Gefahrenbeurteilung. Im Wesentlichen wird dabei die Gefahrenkarte ausgearbeitet. Die Zuordnung der drei Gefahrenstufen rot (erhebliche Gefährdung), blau (mittlere Gefährdung) und gelb (geringe Gefährdung) erfolgt in Abhängigkeit von Intensität und Wahrscheinlichkeit (Bild 2). Für die Beschreibung dieser beiden Parameter stehen grundsätzlich je drei Klassen zur Verfügung: Schwach, mittel und stark für die Intensität sowie gering, hoch und mittel für die Wahrscheinlichkeit. Für die Intensität wurden für jede der drei Gefahrenarten Abgrenzungskriterien festgelegt (Bild 3).

Gefahrenerkennung
- Ereignisdokumentation
- Geländeanalyse
- wasserbauliche Beurteilung

Gefahrenbeurteilung
- Gefahrenkarte

Massnahmenplanung
- Raumplanung
- Schutzmassnahmen
- Notfallplanung

Bild 1. Vorgehen und Bausteine für die Erarbeitung einer Gefahrenkarte (aus [2]).

3. Festlegung der Szenarien

3.1 Allgemeines

Die Festlegung der Szenarien ist im Arbeitsschritt «wasserbauliche Beurteilung» enthalten (Bild 1) und ist eng mit der Schwachstellenanalyse gekoppelt. Die Analyse der Schwachstellen beruht im Wesentlichen auf einem Vergleich von «Soll» und «Ist», das heisst von Ereignisgrösse und Kapazität respektive von Belastung und Widerstand unter Berücksichtigung allfälliger Geometrieänderungen und/oder Verklausungen. Dabei werden je nach Grundlagen und Schadenpotenzial unterschiedliche Methoden und Bear-

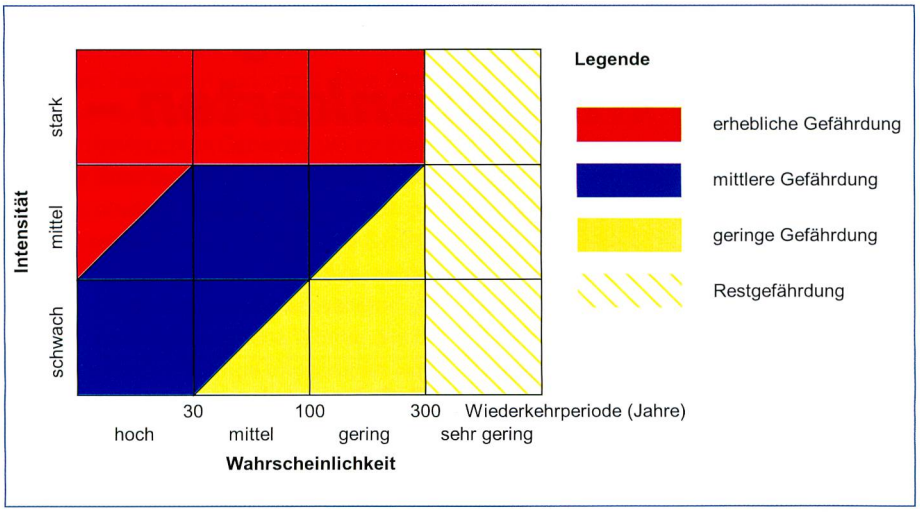

Bild 2. Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm (Gefahrenstufendiagramm, aus [2]).

beitungstiefen eingesetzt. Sie reichen von aufwändigen Modellrechnungen, über Beobachtungen bis hin zu rein gutachtlichen Einschätzungen.

Die Festlegung der Szenarien ist nicht immer einfach. Häufig reicht der Vergleich zwischen Soll und Ist allein nicht aus, oder er ist nicht möglich, weil ein oder mehrere Parameter nicht objektiv bestimmbar sind. In vielen Fällen müssen deshalb für die Szenarienbildung zusätzliche Kriterien festgelegt oder Unsicherheiten berücksichtigt werden. Im Gegensatz zur Festlegung der Gefahrenstufen und der Intensität gibt es dazu aber keine Empfehlungen. Jeder Gutachter muss sich deshalb auf seine Erfahrung abstützen. In der Regel werden die Szenarien mit dem Auftraggeber besprochen. Anhand der folgenden fünf Beispiele soll die Szenarienbildung diskutiert werden:

- Unsicherheiten bei Ereignisgrössen und Berechnungen
- Kapazität in Einschnitten und in Dammabschnitten
- Massgebende Prozess- und Ereignisgrösse
- Ufererosion
- Verklausungen

3.2 Unsicherheiten bei Ereignisgrössen und Berechnungen

Alle bei der Szenarienbildung wichtigen Parameter wie Ereignisgrösse, Kapazität, Belastung oder Widerstand sind mit Unsicherheiten behaftet. Anhand von einem Beispiel am Alpenrhein soll dargestellt werden, wie die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Abflussspitze (Ereignisgrösse) und der Wasserspiegelberechnung (Kapazität) die Gefahrenstufen beeinflussen kann. Die Daten wurden aus verschiedenen Studien über den Alpenrhein entnommen ([4] und [5]). Nähere Angaben über den Alpenrhein sind beispielsweise in [3] zu finden.

Als Beispiel wurde der Rheinkilometer 8,6 ausgewählt, welcher sich im Perimeter der Stadt Chur rheinaufwärts der Plessurmündung befindet (Bild 5). Das Querprofil ist in Bild 6 dargestellt. Weiter zeigt die Grafik die Bandbreiten der Abflussspitzen von Ereignissen mit unterschiedlichen Wiederkehrperioden (grau hinterlegt) sowie der Wasserspiegel (blau) und der Energiehöhen (rot) in Abhängigkeit des Abflusses.

Für die Berechnung der Wasserspiegel standen Querprofile mit einem Abstand von 200 m zur Verfügung. Der Rauigkeitsbeiwert der Sohle wurde nach Strickler in Abhängigkeit des Korndurchmessers d_{90} ermittelt und derjenige des Ufers wurde an einer Begehung geschätzt. Weil das Berechnungsmodell nicht mit Hilfe von bekannten Wasserspiegellagen geeicht werden konnte, wurden die Bandbreiten für die Wasserspiegel und Energiehöhen nach dem Fehlergesetz von Gauss ermittelt. Die charakteristischen Parameter und die geschätzten Fehler an den Eingangsgrössen können Bild 4 entnommen

Intensität	Überschwemmung	Ufererosion	Übermurung
stark	$h > 2$ m oder $v \times h > 2$ m²/s	$d > 2$ m	$h > 1$ m und $v > 1$ m/s
mittel	$2 \text{ m} > h > 0{,}5$ m oder $2 \text{ m}^2/\text{s} > v > 0{,}5 \text{ m}^2/\text{s}$	$2 \text{ m} > d > 0{,}5$ m	$h < 1$ m oder $v < 1$ m/s
schwach	$h < 0{,}5$ m oder $v \times h < 0{,}5 \text{ m}^2/\text{s}$	$d < 0{,}5$ m	keine

Bild 3. Kriterien (Richtwerte) für die Zuordnung der Gefahrenarten zu den drei verschiedenen Intensitätsklassen (aus [2]).

Parameter	Überschwemmung	geschätzter Fehler
Bettbreite	60,5 m	± 1 m
Böschungsneigung	33°	± 2°
Sohlenlage	554,38 m ü.M.	± 0,15 m
Gefälle	0,3%	± 0,015%
Rauigkeit Sohle	33 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$	± 4 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$
Rauigkeit Böschung	22,5 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$	± 4 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$

Bild 4. Charakteristische Parameter für die hydraulische Berechnung im Querprofil Rheinkilometer 8,6 mit Fehlerschätzung.

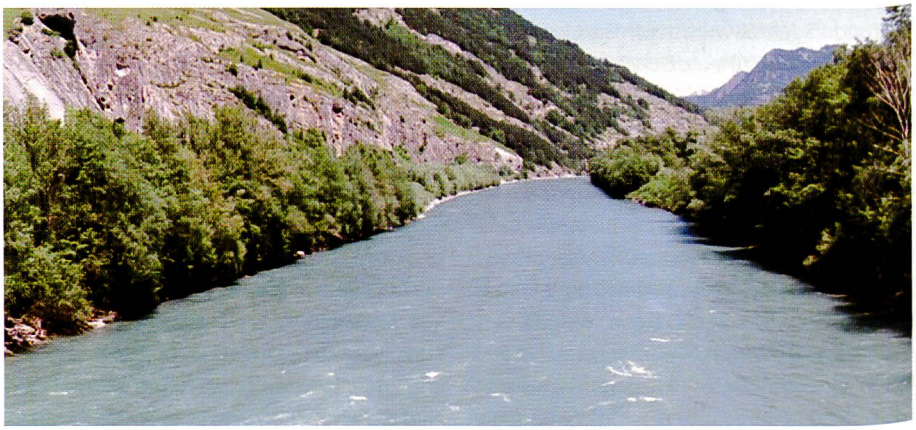

Bild 5. Alpenrhein bei Chur oberhalb der Plessurmündung (Blick flussabwärts).

werden. Die geschätzten Fehler an der Geometrie werden mit dem vergleichsweise grossen Querprofilabstand begründet.

Obwohl relativ geringe Fehler angenommen wurden, schwankt die Abflusskapazität in Bezug auf das linke Ufer mit 1850 bis 2350 m^3/s erheblich. Werden, wie in Bild 6 eingetragen, die ungünstigsten Kombinationen zwischen Wasserspiegel und Abflussspitze gewählt, so sind Ausuferungen bereits bei einem HQ_{30} respektive erst zwischen einem HQ_{100} und HQ_{300} möglich. Einem Szenario könnte also sowohl eine hohe (HQ_{30} oder kleiner) oder eine geringe Wahrscheinlichkeit (zwischen HQ_{100} und HQ_{300}) zugeordnet werden. Würde bei einem entsprechenden Szenario im Überflutungsgebiet eine mittlere Intensität resultieren, so könnte gemäss Bild 2 je nach Gutachter eine rote (Pessimist) oder eine gelbe Gefahrenstufe (Optimist) resultieren.

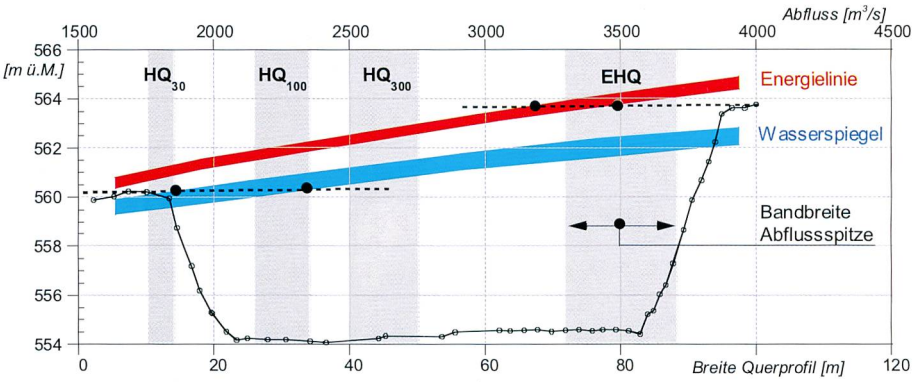

Bild 6. Abflusskapazität des Alpenrheins bei Chur im Querprofil km 8,600.

3.3 Kapazität in Einschnitten und in Dammabschnitten

Bei Flussabschnitten im Einschnitt oder bei Dammstrecken stellt sich immer wieder die Frage (Bild 7), bei welchem Kriterium die Kapazität erreicht respektive überschritten wird: Ist das bordvolle Gerinne massgebend? Muss ein Freibord entsprechend der Differenz zwischen Wasserspiegel und Energielinie oder ein konstanter Wert von zum Beispiel 1 m angenommen werden? Die Konsequenzen eines allfälligen Freibordes sollen wieder an einem Beispiel des Alpenrheins diskutiert werden, diesmal beim Rheinkilometer 79,4, welcher rund 10 km flussaufwärts des Bodensees liegt.

Flussaufwärts des Bodensees fliesst der Alpenrhein zwischen hohen Dämmen (Bild 8). In Bild 9 ist analog zu Bild 6 die Abflusskapazität im Querprofil Rheinkilometer 79,4 dargestellt. Die Abflussmengen für unterschiedliche Wiederkehrperioden sind wiederum als Bandbreite eingetragen. Hingegen sind diesmal Wasserspiegel und Energielinie ohne Fehlerbereich dargestellt. Wird der Wasserspiegel als Kriterium verwendet, so beträgt die Abflusskapazität 4500 m^3/s. Mit der Energielinie (sie wurde mit der mittleren Geschwindigkeit des gesamten Querschnitts von rund 3,1 m/s bestimmt) als massgebendes Kriterium können noch 3750 m^3/s abfliessen und bei einem Freibord von 1 m «nur» noch 3200 m^3/s. Je nach Kriterium schwankt die Abflusskapazität zwischen einem HQ_{100} und einem HQ_{300}, und dem Szenario Dammbruch können wiederum unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten respektive unterschiedliche Gefahrenstufen zugeordnet werden.

Die beiden Beispiele vom Alpenrhein zeigen, dass die Festlegung von Szenarien kriterienabhängig ist. Für die Szenariendefinition sind aus Gründen der Vergleichbarkeit deshalb einheitliche Kriterien wünschenswert, welche gleichzeitig auch bei der Massnahmenplanung verwendet werden sollten. Andernfalls besteht die Gefahr, dass bei der Gefahrenbeurteilung und der Massnahmenplanung mit unterschiedlichen Ellen gemessen wird. Für die Bestimmung der Abflusskapazität könnten die in Bild 10 dargestellten Kriterien verwendet werden. Als Parameter dienen der Wasserspiegel und der kinetische Energieanteil des Abflusses.

Im Einschnitt kann der Wasserspiegel als Kriterium für die Abflusskapazität herangezogen werden. Ein begrenztes Ausfliessen wegen zum Beispiel Wellenschlag würde so akzeptiert. Weil dies in einer Dammstrecke zu einer Instabilität mit einem Systemkollaps führen kann (aber nicht muss), wird als Kriterium die kinetische Energiehöhe ($v^2/2g$) vorgeschlagen. Zu diskutieren wäre, ob noch ein vom Umland (zum Beispiel Schadenpotenzial) und/oder Fliessgewässertyp abhängiger Korrekturfaktor α eingeführt werden sollte. Im Übergangsbereich würden die Kriterien interpoliert. Zudem würde der Grundsatz gelten, dass auch ein Abschnitt mit Dämmen so lange nicht als Dammstrecke gilt, als der Wasserspiegel tiefer als das gewachsene Terrain liegt. Die Wasserspiegel und die Energielinien sollten mit möglichst realistischen Mittelwerten bestimmt werden. Unsicherheiten (Änderung der Sohlenlage, Rauigkeitsannahmen, Berechnungsmodelle, Ereignisgrösse) könnten mit einem begründeten Zuschlag berücksichtigt werden. Da jedes Fliessgewässer ein Einzel- oder Spezialfall ist, sollten begründete Abweichungen von solchen Kriterienvorgaben möglich sein.

In Einschnitten und Dammstrecken kann auch die Wahrscheinlichkeit einer Ausuferung unterschiedlich betrachtet werden (Bild 7). Beim Einschnitt mit gleich hohen Ufern findet die Ausuferung links und rechts theoretisch gleichzeitig statt. Die Wiederkehrperiode eines entsprechenden Szenarios entspricht also der Wiederkehrperiode der Abflussspitze. Für Dammstrecken mit gleich hohen Dämmen wird in der Praxis häu-

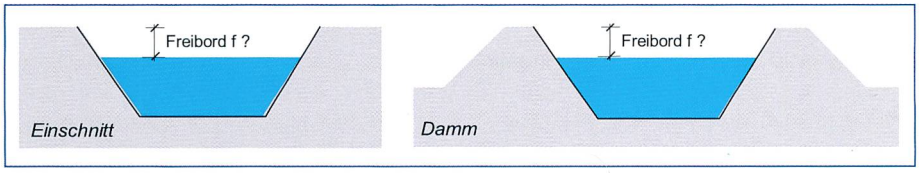

Bild 7. Flussabschnitt im Einschnitt (links) und mit Damm (rechts).

Bild 8. Typischer Alpenrheinabschnitt oberhalb des Bodensees. Blick vom rechten Vorland in Richtung Fussach.

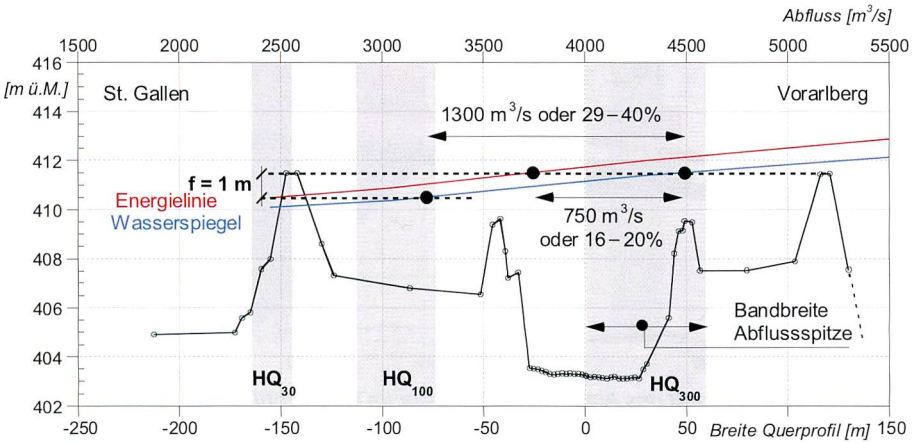

Bild 9. Abflusskapazität des Alpenrheins 10 km oberhalb des Bodensees im Querprofil km 79,4.

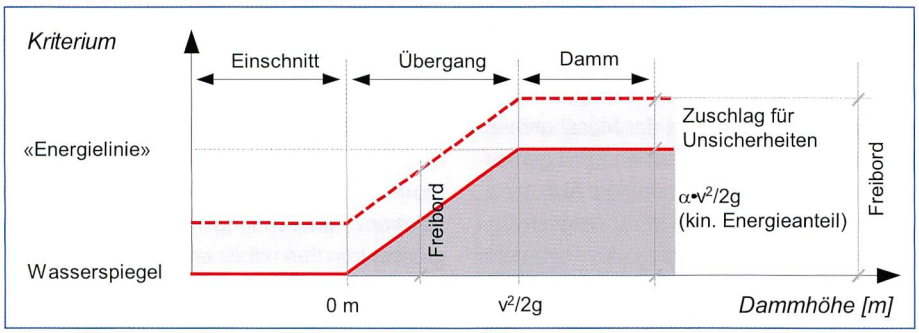

Bild 10. Mögliche Kriterien zur Festlegung der Abflusskapazität in Einschnitten und Dammstrecken (v: mittlere Fliessgeschwindigkeit, g: Gravitationskonstante, α: Korrekturfaktor).

fig auch dieser Ansatz verwendet, obwohl er im Fall eines Dammbruches vermutlich kaum zutrifft. Die Wahrscheinlichkeit, dass beide Dämme gleichzeitig brechen und sowohl links als auch rechts eine Bresche entsteht, ist sehr gering ist. Wird dies aber zum Beispiel bei einem 100-jährlichen Ereignis trotzdem angenommen, so hat das entsprechende Szenario eine theoretische Wiederkehrperiode von 100 Jahren. Wird angenommen, dass nur ein Damm bricht, so steigt die Wiederkehrperiode eines Ausuferungsszenarios auf 200 Jahre an. Soll die Beurteilung nach gleichen Regeln erfolgen wie die gängige Praxis bei der Projektierung von Schutzmassnahmen, so müsste ein 100-jährliches Ereignis unabhängig von Einschnitt oder Dammstrecke zu einem Ausuferungsszenario mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren führen.

3.4 Massgebende Prozess- und Ereignisgrösse

Eigentlich ging es bereits in den Abschnitten 3.2 und 3.3 um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Szenarios. Anhand eines weiteren Beispiels an der Lonza im Kanton Wallis soll dieses Thema noch aus der Sicht der massgebenden Prozess- und Ereignisgrösse diskutiert werden.

Für die Lonza wurden 1995 im Rahmen einer Untersuchung über die Geschiebeablagerungsproblematik im Gefällsknick beim Kegelhals die Bemessungsgrössen für das HQ_{100} bestimmt (Bild 11). Eine Besonderheit der Lonza ist, dass im Gefällsknick vom Kraftwerk Lötschen rund 21 m³/s Turbinierwasser zurückgegeben werden. Ist das Kraftwerk während eines Hochwassers in Betrieb, so ist die Mobilisierung von Geschiebe reduziert, weil ein Teil des Wassers nicht im Bachbett, sondern im Stollen abfliesst [7].

In Bild 12 sind die Ganglinien für das HQ_{100} in der Ausleitungsstrecke und nach der Rückgabe des Turbinenwassers dargestellt (blaue Kurven). Die Abflussspitze des HQ_{100} unterhalb der Rückgabe wurde auf 120 m³/s festgelegt und die Dauer des Hochwassers auf rund 15 h. Ohne Turbinierbetrieb wurde mit einem Geschiebeaufkommen von 29 000 m³ und mit Turbinierbetrieb mit 16 000 m³ gerechnet.

Am 15. Oktober 2000 fand in der Lonza ein Hochwasserereignis statt. Die Abflussspitze lag mit 90–95 m³/s deutlich unter dem Dimensionierungsabfluss (Bild 12, rote Kurven). Bezüglich Abflussspitze dürfte es sich um ein 70- bis 80-jährliches Ereignis gehandelt haben. Der Geschiebeeintrag in den Kegelbereich wurde aufgrund von Beobachtungen auf 30 000 bis 36 000 m³ veranschlagt. Diese Menge liegt deutlich über den für ein HQ_{100} geschätzten Werten, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass erst beim Abklingen des Hochwassers wegen der Verlandung des Unterwasserkanals der Turbinierbetrieb eingestellt werden musste. Der Grund, dass beim 70- bis 80-jährlichen Ereignis (Abflussspitze!) vom Oktober 2000 deutlich mehr Geschiebe im Einzugsgebiet mobilisiert wurde, ist der Dauer des Hochwasserereignisses respektive dem vergleichsweise sehr grossen Abflussvolumen zuzuschreiben. In Bezug auf das Abfluss- und Geschiebevolumen, welches näherungsweise bei grossen Einzelereignissen proportional zum Abflussvolumen ist, dürfte es sich um ein

Bild 11. Die im Sommer 2000 realisierten Sofortmassnahmen (überflutbare Brücke mittels seitlicher Dammbalken) verhinderten am 15. Oktober 2000 einen Ausbruch der Lonza im Bereich des Gefällsknickes in die Dörfer Gampel und Steg.

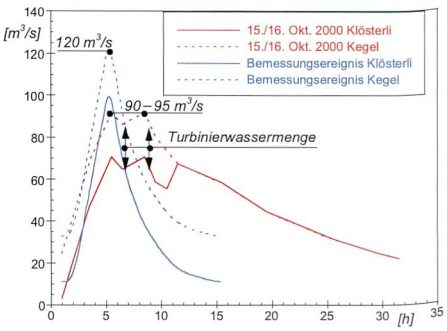

Bild 12. Vergleich von Abflussmenge und Dauer des Bemessungsereignisses mit dem Ereignis vom 15./16. Oktober 2000.

Bild 13. Beispiele von Ufererosionen der Val Mulin (Kanton Graubünden) vom 15. bis 17. November 2002 im Bereich des bewaldeten Kegelhalses (oben) und im neuen Bachbett auf dem Wildbachkegel (unten).

Bild 14. Beim Ereignis vom 15. bis 17. November 2002 verklausten zahlreiche Brücken über Wildbäche in den Emser Maiensässen, teilweise nur durch Geschiebe (links) oder durch Holz und Geschiebe (rechts).

Bild 15. Die Baumstämme (links) passierten den Durchlass des Dorfbaches unter der Kantonsstrasse (rechts) beim Ereignis vom 15. August 1997 in Sachseln, obwohl deren kleinste Abmessungen in der Grössenordnung des Durchlasses lagen.

deutlich selteneres Ereignis gehandelt haben. Das Beispiel der Lonza zeigt, dass nicht nur die Abflussspitze von Bedeutung ist, sondern auch Volumenbetrachtungen erforderlich sind, da zum Beispiel die Gefährdung im Gefällsknick auch von den mobilisierten Geschiebemengen abhängt.

3.5 Ufererosion

Besonders schwierig sind Szenarien mit Ufererosionen zu formulieren. Eine durchschnittliche Belastung der Ufer kann in der Regel noch abgeschätzt werden. Schwierig wird es bei Belastungsspitzen, welche in der Regel für den Kollaps von Uferschutzmassnahmen verantwortlich sind. Der Erosionswiderstand lässt sich hingegen kaum quantifizieren. Häufig sind alte, bestockte Uferschutzmassnahmen anzutreffen, deren Fundationstiefe nicht bekannt und deren Erosionswiderstand sehr heterogen ist. Am zuverlässigsten dürfte die Auswertung von Beobachtungen vergangener Ereignisse sein und nicht aufwändige Berechnungen der Belastung und Analysen des Widerstandes. Dabei sind sich Fragen zu stellen wie: Wie gross sind die bekannten Ereignisse? Wurden dabei Ufererosionen beobachtet? Falls ja, was war die Ursache und wie gross war das Ausmass? Hat sich in der Zwischenzeit etwas verändert (Eintiefung des Bachbettes, Änderung der Morphologie)?

Fast noch schwieriger als der Entscheid, ob eine Ufererosion möglich ist, sind Angaben über deren Ausmass. Dieses wird von verschiedenen Faktoren wie der Morphologie (gerade, mäandrierend oder verzweigt), dem Verhältnis respektive der Differenz von lokalem Transportvermögen zum Geschiebeaufkommen, der Vegetation oder der Geologie beeinflusst (Bild 13). Verschiedene Beispiele zeigen, dass sich Fliessgewässer ohne weiteres um die Grössenordnung von 1- bis 2-mal die Bettbreite (bei verzweigten Flüssen die Niederwasserspiegelbreite) verlagern (z.B. Melezza 1978, Reuss 1987, Sachslen 1997, Bünz oder Rotten im Pfynwald 2000). Wie die aufgezählten Beispiele zeigen, muss in vielen Fällen bei Ereignissen mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode $>\approx HQ_{100}$) mit einer Ufererosion in grösserem Ausmass, das heisst mit starker Intensität, gerechnet werden. Eine Unterscheidung von Intensitätsstufen bei der Ufererosion, wie es in den Empfehlungen vorgeschlagen wird (Bild 3), ist kaum praktikabel. Sie täuscht eine Beurteilungsgenauigkeit vor, welche mit noch so raffinierten Methoden und Modellen auch in Zukunft kaum je erreicht werden kann.

Gemäss Bild 2 entspricht eine starke Intensität immer der roten Gefahrenstufe, unabhängig von der Wahrscheinlichkeit. Eine

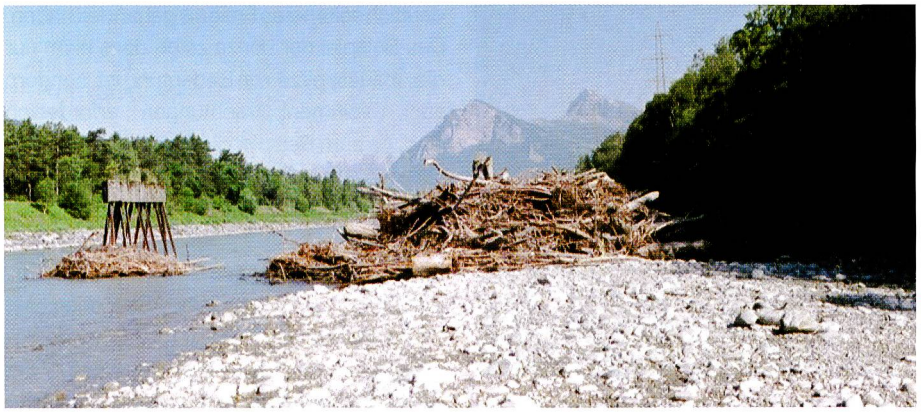

Bild 16. Teilverklausung des Alpenrheins bei alten Brückenpfeilern in der Bündner Herrschaft.

mögliche alternative Strategie bei der Berücksichtigung der Ufererosion zu den Empfehlungen wäre, entlang der Fliessgewässer konsequent einen roten Streifen auszuweisen. Abweichungen davon respektive der Verzicht müssten begründet werden. Die Streifenbreite könnte in Abhängigkeit der Morphologie und des Verbauungsgrades der Ufer bestimmt werden.

3.6 Verklausungen

Die Einschätzung der Verklausungswahrscheinlichkeit bei Engpässen, vor allem bei Brücken, ist bei der Szenariendefinition besonders schwierig und hat gleichzeitig grosse Konsequenzen für die Gefahrenbeurteilung. So führt zum Beispiel eine Verklausung von kleinen Bächen auf Wildbachkegeln in der Regel dazu, dass sich der Bach einen neuen Lauf sucht und nicht mehr im angestammten Gerinne abfliesst.

Massgebende Parameter für die Beurteilung eines Engpasses sind im Wesentlichen Durchflussquerschnitt (Grösse, Beschaffenheit), Geschiebe- und Holzaufkommen (Menge, Abmessungen), Morphologie (Bettbreite, Gefällsverhältnisse, Kurven) und Kapazität (Wasser und Geschiebe). Auch wenn die Einflussgrössen bekannt sind, so ist eine Beurteilung trotzdem schwierig respektive unsicher. Bei kleinen Querschnitten sind Verklausungen bei seltenen Ereignissen sowohl nur durch Geschiebe als auch durch Holz häufig anzutreffen (Bild 14). Das Beispiel von Sachseln zeigt aber, dass unter bestimmten Voraussetzungen Stämme mit Durchmessern, welche nur unwesentlich kleiner als die Durchlassöffnung sind, nicht zwingend zu einer Verklausung führen müssen (Bild 15, [8]). Bei grossen Flüssen wie beim Alpenrhein sind zwar Teilverklausungen möglich, aber eine Verstopfung des gesamten Abflussquerschnittes ist doch eher unwahrscheinlich (Bild 16). Am schwierigsten zu beurteilen sind mittelgrosse Fliessgewässer mit Bettbreiten um 10 m.

4. Schlussfolgerungen

Weil für die Szenarienbildung verschiedene Kriterien verwendet werden können, kann die Grösse und die Wahrscheinlichkeit eines Szenarios beeinflusst, wenn nicht gar gesteuert werden. Um möglichst vergleichbare Gefahrenkarten zu erarbeiten, reichen die vorliegenden Empfehlungen nicht aus. Es sollten auch Empfehlungen oder Checklisten für die Szenarienbildung erarbeitet werden, denn letztlich definieren die Szenarien respektive die in der Einleitung gestellten Fragen die Gefahrenkarten. Um Konflikte und Argumentationsnotstände bei der Planung von Schutzmassnahmen zu vermeiden, sollten bei der wasserbaulichen Beurteilung die gleichen Grundsätze angestrebt werden wie sie bei der Bemessung verwendet werden.

Die Strategie der Berücksichtigung der Ufererosion in den Gefahrenkarten ist zu überprüfen. Beispielsweise könnte entlang der Fliessgewässer konsequent ein roter Streifen ausgewiesen werden und Abweichungen davon müssten begründet werden.

Die Wiederkehrperiode eines Szenarios muss nicht immer identisch mit der Wiederkehrperiode der Abflussspitze sein. Leider liegt das Schwergewicht von hydrologischen Untersuchungen und Verfahren bei der Bestimmung respektive Einordnung der Hochwasserspitzen. Verschiedene Ereignisanalysen (Wallis 2000 oder Graubünden 2002) deuten darauf hin, dass vermehrt das Augenmerk auf das Abfluss- und damit auf das Geschiebevolumen gelegt werden muss.

Beim Geschiebeaufkommen kann zudem die Veränderung der Disposition im Einzugsgebiet die Zuordnung der Jährlichkeit zusätzlich erschweren. Beispielsweise kann es nach dem Ausräumen eines Wildbaches durch ein grosses Ereignis Jahre bis Jahrzehnte dauern, bis sich wieder umfangreiche Geschiebemengen im Bachlauf angesammelt haben. Hier stellt sich die Frage, auf welche Disposition des Einzugsgebietes die Szenarien abgestützt werden sollen.

Referenzen

[1] *Zarn, B.* (1988): Grundlagen für die Ausscheidung von Gefahrenzonen, insbesondere bezüglich Hochwasser, zuhanden des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (Wasser und Geologie), 1988.

[2] Bundesämter für Wasserwirtschaft (heute Wasser und Geologie), Raumplanung sowie Umwelt, Wald und Landschaft (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen.

[3] *Zarn, B.* (1999): Der Alpenrhein – ein Kieslieferant? wasser, energie, luft, 91. Jahrgang, Heft 7/8, 157–164.

[4] *Fäh, A.; Cavelti, B.; Zarn, B.; Müller-Lemans, H.* (2002): The Flood Estimation Puzzle in: Proceedings of the International Conference on Flood Estimation, March 6–8, 2002, Berne, Switzerland, 469–478.

[5] IG Flussbau Alpenrhein (2002): Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal (unveröffentlicht); im Auftrag der internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Flussbau.

[6] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (1985): Lonza Gampel-Steg, Studie über die Hochwassergefährdung durch die Lonza in Gampel und Steg, im Auftrag der Alusuisse-Lonza Energie AG und der Gemeinden Steg und Gampel, August 1995.

[7] *Abgottspon, E.; Seiler, J.; Zarn, B.; Zimmermann, M.* (2001): Hochwasser vom Oktober 2000 in der Lonza: Temporäre Schutzmassnahmen verhindern Millionenschäden; wasser, energie, luft, 93. Jahrgang, Heft 3/4, 87–92.

[8] Bundesamt für Wasserwirtschaft (1998): Ereignisdokumentation Sachseln, Studienbericht Nr. 8/1998.

Anschrift des Verfassers

Dr. *Benno Zarn*, dipl. Bau-Ing. ETH, Hunziker, Zarn & Partner AG, Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau, CH-7013 Donat/Ems.