

Teil D Schlussfolgerungen und Ausblick

18 Schlussfolgerungen

Norina Andres, Alexandre Badoux, Patrick Baer, Vinh Dang, Roni Hunziker, Andrea Irrniger, Michael Müller, Matthias Pfäffli, Severin Schwab, Nicolas Steeb, Andreas Sutter, Daniel Viviroli, Calvin Whealton, Christoph Hegg

Im Rahmen des Projektes EXAR wurden zwei Aufgabenstellungen gelöst: Zum einen wurde durch Kombination bestehender moderner Modelle und Ansätze eine Methodik erarbeitet, mit der homogenisierte Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdung durch Extremhochwasser entlang der Aare unterhalb der Alpenrandseen bestimmt werden können. Zum anderen wurde diese Methodik anschliessend erfolgreich angewendet, sodass hydrologische Überschreitungskurven entlang der Aare mit sehr seltenen Wiederkehrperioden erstellt werden konnten und die Gefährdung für ausgewählte Beurteilungsperimeter konkret aufgezeigt wurde. Die Anwendung der Methodik mit modernen Ansätzen zeigt die heutigen Möglichkeiten im Bereich der Gefährdungsabschätzung, sie zeigt jedoch auch, wo heute die Grenzen in der Verarbeitung und im Transfer von grossen Datenmengen liegen.

18.1 Hydrometeorologische Grundlagenerarbeitung

Für die Modellierung extremer, natürlicher Abflussereignisse ist der verwendete Niederschlagsinput von zentraler Bedeutung. Im Projekt EXAR wurde dazu der stochastische Wettergenerator GWEX verwendet. Damit wurde eine 300 000 Jahre lange Zeitreihe für Niederschlag und Temperatur für das gesamte Einzugsgebiet der Aare generiert. Statistische Analysen dieser ausserordentlich langen meteorologischen Zeitreihe suggerieren eine tiefe statistische Unsicherheit in Bezug auf die Genauigkeit dieser Angaben, auch für extreme Ereignisse. Der verwendete Wettergenerator konnte aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis allerdings nur mit Stationsmessreihen von je 85 Jahren Länge kalibriert werden. Deshalb wurden wesentliche Ressourcen darauf verwendet, die Ergebnisse zu plausibilisieren. So wurden sie zum Beispiel mit den Resultaten eines zweiten Wettergenerators (SCAMP) verglichen, der auf atmosphärischen und meteorologischen Analoga basiert. Die Tatsache, dass dieser zweite Wettergenerator zu ähnlichen Ergebnissen führte, stärkt das Vertrauen in die verwendeten Daten deutlich. Auch wurden die Niederschlagsmuster mit Fachleuten der MeteoSchweiz diskutiert und als plausibel befunden. Vertiefte Untersuchungen lieferten keine Hinweise auf unplausible meteorologische Ergebnisse, weshalb die Niederschlags- und Temperaturdaten des Wettergenerators GWEX als solide Arbeitsgrundlage angesehen werden können.

In einem nächsten Schritt wurden die Wetterinformationen als Eingangsgrössen für das hydrologische Modell HBV verwendet. Der entscheidende Schritt bei der hydrologischen Modellierung ist die Kalibrierung des Modells anhand von Messdaten. Dabei müssen, je nach verfügbaren Informationen, unterschiedlich viele Parameter für jedes Teileinzugsgebiet der Aare bestimmt werden. Aufgrund der Vielzahl von zu kalibrierenden Parametern und deren Interaktion ist das beste Ergebnis nicht eindeutig bestimmbar. Deshalb wurden für jedes Einzugsgebiet 100 Parametersätze bestimmt, die alle eine plausible Kalibrierung des Modells HBV darstellen. Von diesen 100 Parametersätzen wurden schliesslich pro Einzugsgebiet je drei ausgewählt und als Repräsentanten für die mittleren, oberen und unteren Parametersätze zur Berechnung der 300 000 Jahre langen Abflusszeitreihe verwendet. Durch die damit abgebildete Bandbreite an Resultaten konnte die Unsicherheit aus dem HBV-Modell abgeschätzt werden. Bei den Berechnungen mussten riesige Mengen an Input- und Outputdaten zwischen verschiedenen Speicherorten hin- und her transferiert werden. Dabei trat für ein Datenpaket von 11 000 Jahren ein Anwendungsfehler auf. Deshalb stand letztlich eine Abflusszeitreihe von 289 000 Jahren als Ergebnis der hydrologischen Modellierung für die weitere Verwendung zur Verfügung.

Das hydrologische Modell HBV ist nicht darauf ausgelegt, die unterschiedlichen Verhältnisse abzubilden, wie sie in einem Talfluss wie der Aare auf weiten Strecken vorherrschen. Deshalb wurden die mit HBV berechneten Ergebnisse für einzelne Teileinzugsgebiete der Aare mit dem hydraulischen Modell RS Minerve zusammengesetzt, um die Fortpflanzung von Hochwasserwellen in der Aare zu berechnen. Zur Modellkalibrierung von RS Minerve dienten Abflussmessungen und Angaben zu Fliesszeiten und Retentionseffekten aus dem detaillierten hydraulischen 2D-Modell BASEMENT. Der Vergleich der beiden Modelle zeigt, dass RS Minerve die Abflussverhältnisse sowohl im Bereich der gemessenen als auch der berechneten Daten zuverlässig darstellen kann. Folglich mussten nur Ereignisse mit Versagensszenarien in Bezug auf wasserbauliche Einrichtungen oder Rutschkörper mit dem deutlich aufwändigeren Modell BASEMENT gerechnet werden.

Durch den kombinierten Einsatz der Modelle GWEX, HBV und RS Minerve standen insgesamt 289 000 Jahre an synthetisch generierten Abflussganglinien für rund 80 Übergabe- und Transferpunkte entlang der Aare zur Verfügung. Diese Datenreihe wurde statistisch ausgewertet, um die zu erwartenden Abflussspitzen für Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode zwischen $1E+3$ und $1E+5$ Jahren zu bestimmen. Ein Vergleich der hydrometeorologischen Resultate mit statistischen Extrapolationen der Messungen des BAFU zeigte teilweise grössere Abweichungen. Während die Abweichungen in den Kopfeinzugsgebieten meist im zu erwartenden Rahmen lagen, wurden vor allem für Standorte entlang der Aare unterhalb der Jurarandseen im Vergleich zu den statistischen Extrapolationen grössere Abflusswerte festgestellt. Die Abweichungen entstehen zum einen dadurch, dass in den EXAR-Simulationen eine Überlastung der Juragewässerskorrektur ab einem gewissen Schwellenwert eingebaut ist. Abflusswerte in diesem Bereich wurden bislang nicht beobachtet, weshalb die auf den Messungen basierenden Extrapolationen diese Überlastung nicht adäquat abbilden. Zum anderen entstehen Abweichungen, weil die EXAR-Simulationen auf einer Auswertung von meteorologischen Zeitreihen basieren und angenommen werden kann, dass eine breitere Palette des möglichen Hochwassergeschehens abgebildet wird – so zum Beispiel das Zusammentreffen von Hochwasserspitzen aus der Aare und grossen Zuflüssen. Die historischen Ereignisse, deren Abflussspitzen generell kleiner sind als die höchsten simulierten Abflussspitzen mit EXAR, lassen sich gut in der Statistik einordnen. Aufgrund der durchgeführten Plausibilitätsuntersuchungen und Verifikationen kommen die Autoren zum Schluss, dass die simulierten Spitzenabflüsse realistisch sind. Einer der grössten Vorteile der hier vorgestellten Methodik ist, dass nicht nur Abflusswerte für gewisse Wiederkehrperioden generiert werden, sondern zusätzlich Ganglinien zur Verfügung stehen.

Auf eine Extrapolation auf noch seltenere Ereignisse als $1E+5$ Jahre Wiederkehrperiode wurde verzichtet, weil der verwendete Niederschlagsgenerator keine physikalische Grenze an maximal möglichen Niederschlägen über einem Einzugsgebiet wie der Aare berücksichtigt. Es ist anzunehmen, dass eine solche Grenze existiert, allerdings ist sie nach heutigem Kenntnisstand insbesondere für die in EXAR betrachteten Skalen nicht quantifizierbar und kann dementsprechend nicht in ein Modell eingebaut werden. Weiter wurden aus den genannten langen Abflussreihen typische Ganglinienverläufe für verschiedene Wiederkehrperioden ausgewählt, die für die nachfolgend erläuterten Analysen zum Verhalten von Bauwerken und potenziellen Rutschkörpern entlang der Aare verwendet wurden.

18.2 Einfluss von Schlüsselstellen auf die Hochwasserganglinien

Das Versagen von Bauten entlang der Aare oder die Auslösung von Rutschungen führt in den meisten Fällen nur lokal zu einer Veränderung der Überflutungen und hat nur einen geringen Einfluss auf die Hochwasserganglinie eines extremen Hochwassers. Ein Bauwerksversagen kann jedoch auch grossräumig wirken, wenn dadurch neue Fliesswege geschaffen oder grosse Retentionsvolumen aktiviert oder deaktiviert werden. In diesen Fällen wird das Bauwerk zu einer Schlüsselstelle im Gesamtsystem. Die meisten der insgesamt 421 inventarisierten Bauwerke und Rutschkörper konnten bereits nach einer kurzen Prüfung der hydraulischen Gegebenheiten als potenzielle Schlüsselstellen ausgeschlossen werden. Bei den verbleibenden Bauwerken und Rutschungen, bei denen nicht

a priori klar war, ob sie grossräumig oder lediglich lokal wirken, erfolgte eine genauere Analyse. Dies geschah in einem iterativen Prozess zwischen der Beurteilung des Versagens der Wasserbauten und der Rutschhänge sowie den hydraulischen Berechnungen. Zur Beurteilung der Bedeutung eines Bauwerks bzw. eines Versagensprozesses wurde der überregionale Effekt an spezifischen Stellen entlang der Aare ausgewertet, bei denen jeweils das gesamte Wasser in einem klar begrenzten Querschnitt durchfliessen muss.

Es wurde festgestellt, dass Brücken im Falle einer Verklauung in der Regel lediglich einen lokalen Aufstau, allenfalls mit lokaler Ausleitung aus dem Gerinne, zur Folge haben. Die Auswirkungen sind jedoch nur in einzelnen Fällen überregional feststellbar. Ebenso spielen die zahlreichen Laufwasserkraftwerke mit ihren Stauhaltungen im Gesamtsystem eine untergeordnete Rolle, weil deren Retentionsvolumina im Vergleich mit den bei Extremereignissen auftretenden Abflussvolumina klein sind.

Anders verhält sich dies für grosse Stauanlagen (Schiffenen, Rossens, Mühleberg, Wettingen), wo ein Sperrenbruch zu grossen Flutwellen führt, wie sie bei natürlichen Hochwasserereignissen nicht annähernd vorkommen. Die Sperrenbrüche, die oberwasserseitig des Bielersees auftreten, werden im Grossen Moos bis Solothurn allerdings stark gedämpft, sodass die Flutwellen unterhalb von Solothurn bereits viel kleiner sind als bei Aarberg.

Neben den Staumauerbrüchen sind die wasserbaulichen Einrichtungen im Grossraum Aarberg – sprich das Wehr Aarberg und der Hagneckkanal im Bereich der Walperswilbrücke – massgeblich dafür verantwortlich, wie viel Wasser im Ereignisfall durch Retention zurückgehalten wird. Die Bauwerke können dabei verschiedene Wirkungen erbringen: Die Sollbruchstelle am Hagneckkanal erhöht die Retention im Hochwasserfall im Grossen Moos und eine Breschenbildung auf der rechten Seite des Hagneckkanals führt zu grossen Ableitungen des Wassers direkt in Richtung Büren an der Aare, wodurch die Retention der Jurarandseen übersprungen wird. Gleiches gilt für einen Ausfall der HW-Entlastungen am Wehr Aarberg, bei dem es zu starken rechtsseitigen Ausuferungen in Richtung der Alten Aare kommt. Die Retentionswirkung der Jurarandseen wird auch in diesem Fall reduziert.

Die sechs oben genannten Standorte (Schiffenen, Rossens, Mühleberg, Wettingen, Aarberg und Hagneckkanal im Bereich Walperswilbrücke) wurden deshalb als Schlüsselstellen identifiziert, ihr Versagen kann die Ganglinie am nächsten Transferpunkt um mehr als 5 Prozent verändern (bezüglich Spitzenabfluss oder Volumen). Weiterführende Analysen haben aber gezeigt, dass alle diese Schlüsselstellen in den Beurteilungsperimetern Olten, Gösigen, PSI und Beznau zu Abflüssen führen, die mit den ausgewählten Ganglinien für die hydraulischen Simulationen bereits abgedeckt sind und dass die relativ tiefe Wahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse keine Veränderung oder Verschiebung der Auftretenswahrscheinlichkeiten mit sich bringt. Deshalb waren für diese Beurteilungsperimeter keine vertieften Analysen mit versagensbedingten Hochwasserganglinien aus dem Oberwasser notwendig. Anders sieht es für den Beurteilungsperimeter Mühleberg aus, wo der Bruch an einer der drei grossen Staumauern an der Aare bzw. an der Saane zu sehr grossen Überflutungen führen kann. Entsprechend wurden dort die oberwasserseitigen Schlüsselstellenversagen mitberücksichtigt.

18.3 Beurteilung der Gefährdung in den Beurteilungsperimetern

Für die Gefährdungsanalyse in den Beurteilungsperimetern wurden durch Niederschlag ausgelöste Extremhochwasser und durch Erbeben ausgelöste Sperrenbrüche untersucht. Zusätzlich wurde auf Gefährdungen infolge morphologischer Prozesse hingewiesen. Hierzu zählen zum Beispiel Seitenerosionen oder Flussverlagerungen.

18.3.1 Gefährdung durch Überflutung

Die Resultate der Gefährdungsanalysen bei den fünf Beurteilungsperimetern zeigen, dass je nach Lokalität des zu beurteilenden Referenzpunktes jeweils andere Szenarien eine massgebende Rolle spielen. Ob ein Standort überflutet wird oder nicht, hängt einerseits von dessen Lokalität und dem Höhenunterschied zur Aare ab und andererseits von den möglichen Einwirkungen und Prozessen in dessen Nähe.

Die Ergebnisse zeigen, dass zum Beispiel das Verklauen von nahe gelegenen Brücken zu einer höheren Gefährdung (das heisst einer höheren Wasserspiegellage) an den Referenzpunkten führen kann und infolge der Umströmung die angrenzenden Bereiche einer erhöhten Belastung ausgesetzt sind und somit verstärkte Oberflächenerosionen möglich sind. Dies ist bei den Beurteilungspereimetern Olten, Gösgen, PSI und Beznau der Fall. Hier bestimmen diese Szenarien die Form der Gefährdungskurve massgeblich. Obwohl durch den verklauungsbedingten Aufstau im Oberwasser von Brücken höhere Wasserspiegellagen erreicht werden, führen diese nur stellenweise zu Ausuferungen über die seitlichen Uferbegrenzungen (natürliches Terrain, Längsbauwerke oder Brückenwiderlager). Dies führt in den verschiedenen Beurteilungspereimetern bzw. an den Referenzpunkten zu folgenden Effekten:

- Die Referenzpunkte im Beurteilungspereimeter Olten sind nur bei einer Verklauung der Trimbacherbrücke im Zusammenspiel mit einem Hochwasser in der Grössenordnung von $1E-5$ /Jahr von Überflutungen betroffen.
- Im Beurteilungspereimeter Gösgen werden die Referenzpunkte in sämtlichen betrachteten Hochwasserszenarien überströmt, wenn die Fussgängerbrücke KKG verklaut.
- Beim Beurteilungspereimeter PSI kommt es nur bei einer Verklauung der PSI-Brücke in Kombination mit einem Hochwasser in der Grössenordnung von $1E-5$ /Jahr zu einer Überflutung der Referenzpunkte.
- Die höchste Gefährdung des Beurteilungspereimeters Beznau geht vor allem auf Fehlfunktionen am Stauwehr Beznau (n-3 oder n-n) respektive auf eine Verklauung der Brücke Beznauerstrasse am Oberwasserkanal zurück.

Es bleibt anzumerken, dass ein Einsturz von Brücken aufgrund der Belastung durch Schwemholz und erhöhtem Wasserdruck oder aufgrund eines ausgeprägten Kolks am Pfeilerfundament nicht beurteilt wurde, da dies hinsichtlich der Wasserspiegellage im Oberwasser eine Entschärfung darstellen würde. In Bezug auf weitere Gefährdungsbilder ist jedoch zu bedenken, dass bei einem Einsturz Trümmerteile im Gerinne liegen bleiben und als buhnenartige Strukturen strömungslenkend wirken können. Schlimmstenfalls ergibt sich dadurch eine Umlenkung des Gerinnes mit neuen, lokalen Strömungsangriffen und entsprechenden Seitenerosionen oder gar Laufverlagerungen, die in der vorliegenden Studie nicht beurteilt wurden.

Da im Bereich der Saanemündung und auf dem Aareabschnitt zwischen Mühleberg und Niederried mit Ausnahme des Fussgängerstegs Saanesteg keine Brücken vorhanden sind, spielen im Beurteilungspereimeter Mühleberg andere Bauwerke eine (allerdings untergeordnete) Rolle. Hier haben die Szenarien mit teilweise oder komplett geschlossenen Entlastungsorganen bei der Stauanlage Mühleberg sowie mit Rutschungen tiefe Wahrscheinlichkeiten, weshalb die Gefährdungskurve von den hydrologischen Szenarien ohne Bauwerksversagen dominiert wird.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass bei allen Beurteilungspereimetern die untersuchten Referenzpunkte ab einer gewissen Wiederkehrperiode von Hochwasser betroffen sind. Je nach Beurteilungspereimeter variiert diese zwischen $1E+3$ bis $1E+5$ Jahren. Es war nicht Gegenstand der Studie zu eruieren, ob diese Überflutungen einen Einfluss auf die Sicherheit von kritischen Infrastrukturen o.ä. haben können.

Die Analyse der Sperrenbrüche zeigt, dass beim BP Mühleberg je nach Standort mit Überflutungstiefen von mehreren Metern gerechnet werden muss. Die Bruchszzenarien können am ehesten Erdbebenereignissen zugeordnet werden, wobei für folgende drei Szenarien belastbare Abschätzungen zur Versagenswahrscheinlichkeit der Bauwerke unter Erdbebeneinwirkung vorliegen: Teilweiser Bruch der Stauanlage Mühleberg, Sperrenbruch der Bogenmauer Schiffenen und Sperrenbruch der Bogenmauer Rossens. Bei den Erdbebenszenarien handelt es sich um worst-case-Fälle, da die Flutwellen mittels einer plötzlichen Freigabe des massgebenden Sperrenquerschnitts simuliert wurden.

Gemäss den Resultaten verändern die morphologischen Prozesse die Wasserspiegel in den Beurteilungspereimetern maximal um ± 40 cm. Auflandungsprozesse im Mündungsbereich der Saane oder im Oberwasser des Stauwehrs Beznau bewirken eine Erhöhung der Wasserspiegel; die Glättung der Sohle und Inseln im Gerinne im Bereich des KKG hingegen eine Absenkung.

18.3.2 Gefährdung infolge von morphologischen Prozessen

Die Analyse der morphologischen Prozesse und des Sedimenthaushaltes der Aare ergab, dass die bei einem extremen Hochwasser auftretenden Sohlen- und Gerinneveränderungen nur lokal relevant sind. Der Grund dafür liegt im verhältnismässig flachen Gefälle des Flusses und der Tatsache, dass sich das morphologische System nach den Korrekturen der Aare (Kanderdurchstich, JGK I und II) über eine lange Zeit an die aktuellen Bedingungen anpassen konnte. Lokal wurden folgende Erkenntnisse in den einzelnen Beurteilungssperimetern gewonnen:

- Im Bereich des BP Mühleberg ist die morphologische Dynamik infolge des flachen Gefälles und des Rückstaus von der Saanemündung her gering. Trotzdem kann eine Seitenerosion am Prallhang des KKM wegen des fehlenden Uferschutzes nicht ausgeschlossen werden. Die Umlenkung der Strömung auf die Ufer durch Rutschkörper im Gerinne (z. B. Rutschung Brättele) führt zu lokalen Erosionserscheinungen an den Ufern. Ein Bruch der Stauanlage Mühleberg hat grosse Auswirkungen in Bezug auf die hydraulische Belastung des KKW-Areals und dessen Umland. In diesem Fall sind Terrainveränderungen in der gesamten Talebene möglich.
- Im Bereich des BP Olten sind keine grossräumigen morphologischen Veränderungen zu erwarten. Lokal sind bei der Brücke Trimbach oder bei der Bahnhofbrücke Erosionen im Widerlagerbereich infolge des ausgetretenen und zurückfliessenden Wassers möglich.
- Im Bereich des BP Gösgen bewirkt das kürzlich realisierte Revitalisierungsprojekt der Aare bei einem Extremereignis eine erhöhte Belastung der Ufer, da durch die Inseln die Strömung umgelenkt wird. Die nicht vorhandene Ufersicherung in der Flusschleife beim KKG erhöht die Wahrscheinlichkeit von Seitenerosionsprozessen (auf der Innen- und Aussenseite). Falls der Steg beim KKG verkleust, tritt flussaufwärts so viel Wasser aus dem Gerinne aus, dass das Areal des Kernkraftwerks und das Umland lokal stärkeren hydraulischen Belastungen ausgesetzt sind. Diese Belastungen könnten auch Kolk- und Rinnenbildungen auslösen.
- Im Bereich des BP PSI wird keine grosse morphologische Dynamik erwartet. Begrenzte Seitenerosionen am Aareufer können jedoch nicht ausgeschlossen werden, weil die Ufer nicht gesichert sind. Lokal stellen die Ausuferungen und das zurückfliessende Wasser eine Gefährdung für den Brückenkopf der Aarebrücke dar.
- Im BP Beznau stellen vor allem die grossen Schubspannungen und Fliessgeschwindigkeiten bei einer Überströmung des KKW-Areals sowie der Rückfluss des ausgeferten Wassers in die Aare und die daraus resultierenden Rückwärtserosionen eine Gefährdung dar.

Für die vorliegenden Untersuchungen mussten vereinfachte Annahmen bezüglich der vorhandenen Uferverbauungen oder des Bodenaufbaus getroffen werden. Auch waren keine detaillierten Unterlagen über die in den gefährdeten Zonen vorhandenen Gebäude bekannt. Die erarbeiteten Erkenntnisse stützen sich hauptsächlich auf die Analyse der Belastung und sind darum als Hinweise zu betrachten. Die Untersuchungen haben aber gezeigt, dass morphologische Prozesse bei Extremereignissen nicht vernachlässigt werden dürfen. Es wird deshalb empfohlen, die Hinweise als Anlass zu nehmen, im Rahmen von Detailuntersuchungen die lokalen Prozesse genauer abzuklären.

18.4 Fazit

Mit dem in diesem Projekt gewählten Vorgehen für die Abschätzung von extremen Hochwasserereignissen wurden bestehende Modelle zu einer Modellkette zusammengesetzt, die nach Kenntnisstand der Autoren noch nie für ein so grosses und topographisch komplexes Einzugsgebiet wie jenes der Aare angewandt wurde. Das Vorgehen hat dabei folgende Vorteile:

- Die Extremwertstatistiken der Abflüsse an einzelnen Standorten basieren im vorliegenden Projekt auf den Simulationen eines statistischen Wettergenerators, der grossräumige Niederschlagsmuster entwickelt, sowie auf hydrologischen und hydraulischen Simulationen, die das grossräumige Systemverhalten (Retention, Regulierung

von Seen usw.) berücksichtigen. In den Resultaten der Extremstatistik sind die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Standorten integriert, da die Extremhochwasserereignisse im ganzen System simuliert werden. Auch kann so die Retentionswirkung von Seen bei Hochwasserereignissen ausserhalb des Erfahrungsbereichs angemessen berücksichtigt werden.

- Erkenntnisse über den Einfluss von Versagensprozessen von Bauwerken am und im Wasser können explizit berücksichtigt werden. Das ist gerade in einem Einzugsgebiet wie der Aare mit teilweise grossen technischen Eingriffen (z. B. der Kanderdurchstich oder die Juragewässerkorrektion) von grosser Bedeutung.
- In der Gefährdungsanalyse in Bezug auf die Überflutung (Wasserspiegellage) von bestimmten Standorten wurden nicht nur rein hydrologische Ereignisse betrachtet. Stattdessen wurden diese mit dem Versagen von Bauwerken, mit Schwemmholz- und Rutschprozessen sowie mit morphologischen Prozessen kombiniert. Diesen Prozessverkettungen wurde anschliessend mittels Ereignisbaumanalyse eine Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet.
- Die gutachterliche Beurteilung der Auswirkungen von morphologischen Prozessen auf die Gefährdung ergab, dass diese bei Extremereignissen nicht zu vernachlässigen sind. Die Untersuchungen geben Hinweise, wo detailliertere Abklärungen angebracht sein könnten.

Diese Fortschritte waren möglich, weil modernste hydraulische 2D-Modelle eingesetzt wurden, um die Auswirkungen von extremen Hochwasserereignissen gross- und kleinräumig detailliert aufzuzeigen und zu analysieren.

Insgesamt und nach heutigem Stand des Wissens werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie als vertrauenswürdig und belastbar beurteilt, wobei auch bei diesem Vorgehen die in Kapitel 17 detailliert diskutierten Limitationen und Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

Die erarbeiteten Grundlagen, wie die Abflusszeitreihe von 289000 Jahren an den Übergabe- und Transferpunkten und die Extremwertstatistik an mehreren Standorten der Aare können für weitere Projekte verwendet werden. Eine erste Inwertsetzung dieser Grundlagen wurde bei der vorliegenden Gefährdungsanalyse mehrerer Beurteilungsperimeter aufgezeigt.