

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 101 (2009)
Heft: 3

Artikel: Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare
Autor: Liener, Serena / Mani, Peter / Roth, Heinz
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941944>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare

■ Serena Liener, Peter Mani, Heinz Roth, Bernhard Schudel

1. Ausgangslage

Nach verheerenden Hochwassern, wie 1999 im Berner Oberland oder 2002 entlang der Elbe, sollte mit der Studie «Extreme Hochwasserereignisse im Kanton Bern» (geo7 et al., 2007) untersucht werden, ob derartige Extremereignisse auch im Einzugsgebiet der Aare möglich sind. Die Studie wurde im Sommer 2005 gestartet und bezog die Erkenntnisse aus dem Hochwasser vom August 2005 mit ein.

2. Zielsetzung

Die Studie soll Erkenntnisse bezüglich Ausmass und Auswirkungen extremer grossräumiger Hochwasserereignisse liefern. Daraus sollen in einem zweiten Schritt die erforderlichen Katastrophen-Vorsorgemassnahmen abgeleitet werden können. Die Studie soll zudem Schutzdefizite aufzeigen und Grundlagen für Gefahrenkarten und Seestands-Regulierungen zur Verfügung stellen.

Die Studie kann aufgrund des grossräumigen Ansatzes keine Aussagen über mögliche lokale, z.B. durch Gewitter ausgelöste, Grossschadensereignisse machen. Bei solchen Ereignissen können lokal höhere Abflusswerte als die in der Studie berechneten resultieren. Für die Szenarien und die resultierenden Abflüsse wird im Sinne der Studienzielsetzung keine statistische Einordnung vorgenommen.

3. Überblick Vorgehen

Das Hauptgewicht der Studie liegt zum einen bei der Analyse von Prozessabläufen, die zu extremen Hochwasserereignissen führen können, zum andern bei der Untersuchung der Auswirkungen von solchen Hochwassern. Mit einem systemanalytischen Ansatz wurden verschiedene Szenarien für die Entstehung von extremen Hochwassern untersucht. Dazu wurden in einem ersten Schritt, basierend auf früher abgelaufenen Ereignissen, verschiedene hydrometeorologische Szenarien definiert.

Für die hydrologische Simulation von extremen Abflüssen wurde ein dynamisches Systemmodell erstellt. Im Modell sind die wichtigsten Teileinzugsgebiete sowie die Seen des Untersuchungsgebiets als Teilmodelle abgebildet. Das Untersuchungsgebiet Aare Murgenthal wurde dazu in insgesamt 36 Teileinzugsgebiete (TEG) unterteilt. Für jedes TEG erfolgte die Simulation einer Abflussganglinie. Für die Oberland- und Jurarandseen können zusätzlich die Seepiegel sowie die Seeausflüsse simuliert werden. Im hydraulischen System des Untersuchungsgebiets existieren Schlüsselstellen, d.h., Stellen mit im Vergleich zum oberhalb liegenden System reduzierter maximaler Durchflusskapazität. Solche Schlüsselstellen limitieren den Abfluss in den unterliegenden Gerinneabschnitten und stellen eine wichtige Grundlage für die Abflussmodellierung dar. Die Schlüsselstellen bilden auch die potenziellen Ausbruchstellen.

Um Schlüsselstellen auszuscheiden, wurden die Abflusskapazitäten der Aare und ihrer Zuflüsse ermittelt und mit

den bestehenden Hochwasserstatistiken verglichen. Die Ermittlung der Abflusskapazitäten erfolgte entweder mit bestehenden Grundlagen (Geschiebehaltstudien, Gefahrenkarten, Wasserbaupläne) oder es wurden neue Berechnungen durchgeführt.

In Gebieten, in welchen grossflächige Überflutungen zu erwarten sind, wurde mittels einer instationären zweidimensionalen Abflusssimulation untersucht, wie gross die Dämpfungswirkung der Überflutung auf die Hochwasserspitzen ist. Dabei wurde eine Zuflussganglinie, die aus den Simulationen zum Gesamtsystem bestimmt wurde, am oberen Modellrand als Eingabegrösse definiert und eine Ausflussganglinie am unteren Modellende berechnet.

4. Meteoszenarien

Aus den bisherigen Ereignissen, die in weiten Teilen des Untersuchungsgebiets zu Problemen geführt haben, lassen sich gemäss Vorstudie (geo7 2003) folgende Ereignistypen ableiten:

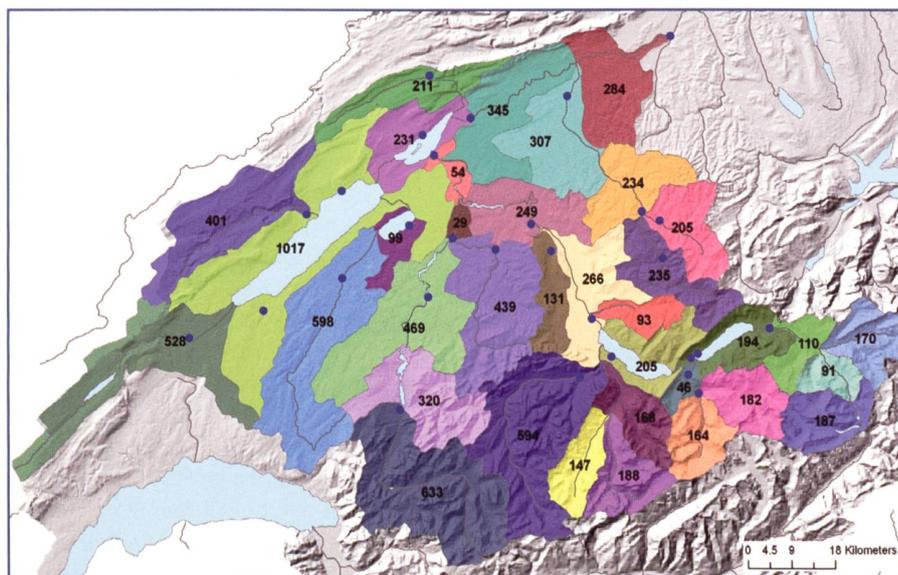


Bild 1. Einzugsgebiet Aare Murgenthal mit Gliederung der Teileinzugsgebiete (Gebietsgrössen in km²) sowie den berücksichtigten Abflussmessstationen (blaue Punkte).

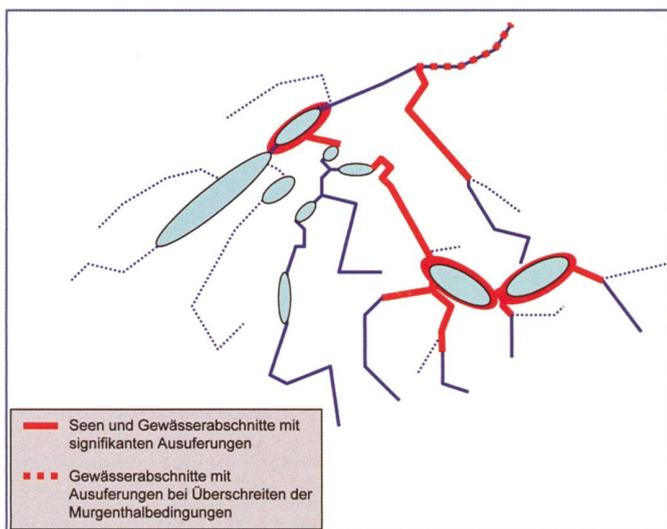


Bild 2. Hochwassergebiete Ereignistyp A (zwei bis dreitägiger Starkniederschlag).

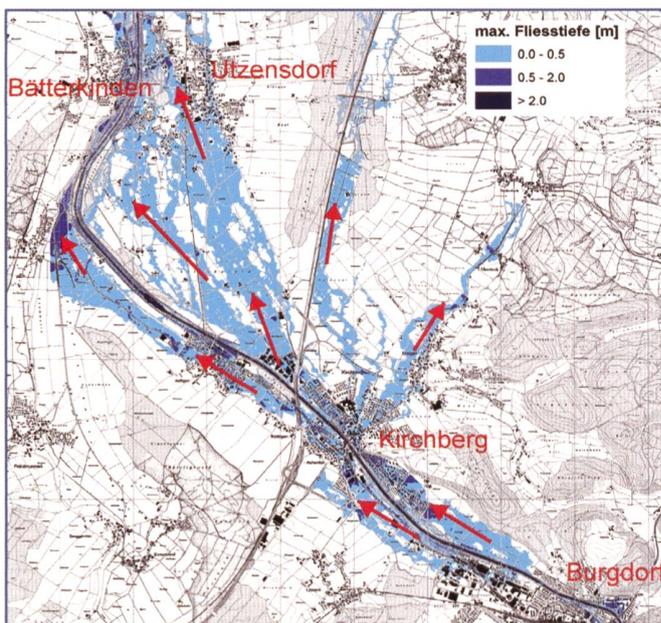


Bild 3. Maximale Überflutungsflächen im Gebiet Kirchberg (Ereignistyp A).

- Ereignistyp 1: Intensive Schneeschmelze in den Voralpen und Alpen im Frühling/Frühsummer kombiniert mit intensiveren Niederschlägen führen zu hohen Seeständen in Thuner- und Brienersee. Der hohe Seestand im Thunersee führt zu einem hohen Abfluss in der Aare. Je nach Niederschlagsverteilung können auch in der Saane hohe Abflüsse auftreten, was zu hohen Seeständen in den Jurarandseen führen kann.
- Ereignistyp 2: Schneeschmelze im Mittelland im Spätherbst oder im Winter, die durch einen Warmlufteinbruch zusammen mit intensiverem Regen ausgelöst wird, führt zu einem sehr grossen Wasseranfall aus dem Mittelland. Vom Hochwasser hauptsächlich betroffen sind die Unterläufe der Aare und der Saane sowie die Broye, die Orbe und die Menthue. Die Folge daraus sind hohe Seestände in den Jurarandseen.
- Ereignistyp 3: Einzelne grossräumige Niederschlagsereignisse mit höherer Intensität führen zwar zu hohen Abflüssen in den Flüssen, sind aber bezüglich Zuflussvolumen zu den Seen nicht unbedingt problematisch. Eine Abfolge von solchen Ereignissen innerhalb kurzer Zeit führt jedoch auch in Bezug auf die Volumina in den Jurarandseen und in Thuner- und Brienersee zu Problemen.

Die Auswertung der bisherigen Ereignisse inklusive August 2005 zeigt, dass auch ungünstigere Ereignisverläufe möglich gewesen wären. Deshalb muss davon ausgegangen werden, dass grundsätzlich grössere Ereignisse als die bisher

bekanntes möglich sind. Da es jedoch sehr unwahrscheinlich ist, dass bisher vollständig unbekanntes Witterungsverläufe auftreten werden, konnte bei der Definition der Szenarien von den drei bekannten Ereignistypen ausgegangen werden.

Für die Szenarienbildung mussten in einem ersten Schritt die niederschlagsreichsten Ereignisse im Untersuchungsgebiet in der Referenzperiode 1901 bis 2004 herausgesucht werden. Betrachtet wurden Dauerstufen von ein bis drei Tagen, sieben, 10, 15, 20, 25 und 30 Tagen. Für diese Ereignisse wurden die Niederschlagsfelder bestimmt. Zur szenarischen Verstärkung kamen zwei Verfahren zur Anwendung:

- Räumliche Verschiebung der Niederschlagsfelder unter Berücksichtigung der Wetterlage.
- Ereignisspezifisches Anheben von wesentlichen Niederschlagsparametern sowie Verschiebung der Lage des Maximums im zeitlichen Verlauf.

Für diese Szenarien wurden Varianten bezüglich Schneelage, Füllungsgrad der Kraftwerkspeicher und Seestände definiert. Bei der Szenarienbildung wurde immer darauf geachtet, dass diese physikalisch plausibel und in sich konsistent sind.

5. Ergebnisse

Ausgehend von den im Rahmen der Systemanalyse durchgeführten Simulationen wurden sieben massgebende Szenarien, die zu drei Ereignistypen zusammengefasst werden können, ausgeschieden.

- Typ A: Intensiver Niederschlag von zwei bis drei Tagen, kombiniert mit

- hohem Seestand im Berner Oberland
- Typ B: Abfolgen von Niederschlagswellen während 14–30 Tagen
- Typ C: Ereignisse mit Schnee bis in tiefe Lagen, kombiniert mit Niederschlag bei gleichzeitiger Erwärmung.

Da als Niederschlagsinput Tagesniederschläge eingesetzt wurden, entsprechen die simulierten Abflussspitzen in etwa dem maximalen gleitenden 24h-Mittel. Die simulierten maximalen Abflüsse können deshalb je nach Gebietscharakteristik deutlich unter den maximal möglichen Stundenwerten liegen.

Die Extremhochwasser-Studie legt den Schwerpunkt auf den «globalen» Aspekt. Dammbürche und Verklausungen an Brücken werden daher nur sehr zurückhaltend berücksichtigt. Mit diesem Vorgehen ist einerseits gewährleistet, dass die Ganglinie nicht durch unwahrscheinliche Prozesse im Oberlauf verkleinert wird. Andererseits ist die Überflutungsfahr lokal möglicherweise zu günstig dargestellt. Für eine lokale Betrachtung des Extremhochwassers müsste möglicherweise von pessimistischeren Annahmen ausgegangen werden.

5.1 Zwei- bis dreitägiger Starkniederschlag (Ereignistyp A)

Der Ereignistyp A zeigt eine ähnliche Hochwassersituation, wie sie im August 2005 aufgetreten ist. Der massgebende Niederschlag fällt innerhalb von drei Tagen. Der Niederschlagsschwerpunkt liegt in den Alpen und Voralpen und hat folgende Auswirkungen auf die Seen und Flüsse (siehe Bild 2):

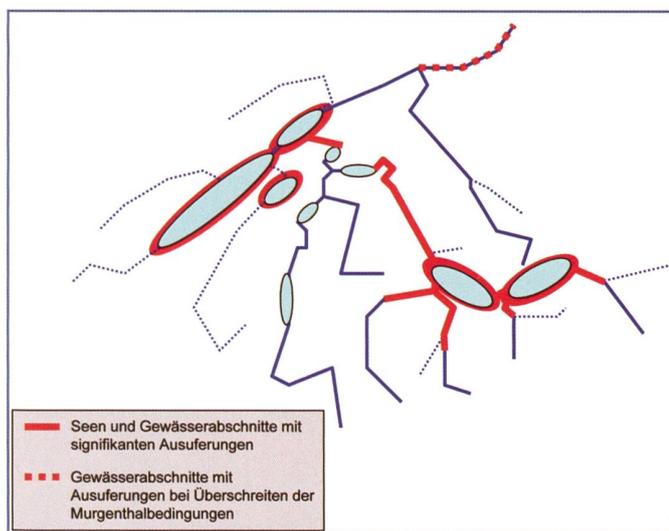


Bild 4. Hochwassergebiete Ereignistyp B (14–30-tägiger Niederschlag).

- Zuflüsse zu Thuner-/Brienzersee >50% über dem Abfluss beim HW 05
- Seen über dem Niveau beim HW 05: Thunersee 0.75 m, Brienzersee 1.5 m, Bielersee >0.5 m
- Keine HW am Neuenburger- und Murtensee
- Dauer des HW: Brienzersee fünf Tage, Thuner- und Bielersee 10 Tage
- Aare in Bern: 700 m³/s

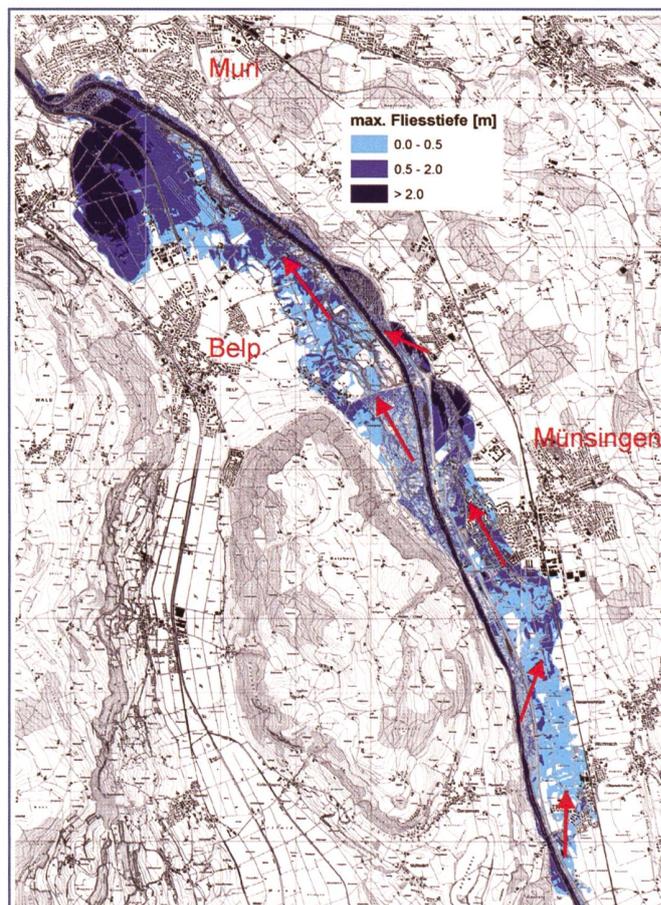
An der Emme können hauptsächlich im Unterlauf Hochwasser auftreten, welche das Ausmass von 2005 deutlich übersteigen: für die Emme–Luterbach beispielsweise um 200 m³/s. Dies führt im Raum Kirchberg zu grossräumigen Überflutungen, die auch das Siedlungsgebiet von Utzensdorf und Bätterkinden sowie möglicherweise die Neubaustrecke der SBB betreffen können (Bild 3). An der Aare kommt es unterhalb der Einmündung der Emme nur bei Überschreiten der Murgenthalbedingung (Abfluss Aare Murgenthal >850 m³/s) zu Überflutungen.

5.2 14–30-tägiger Niederschlag (Ereignistyp B)

Der Ereignistyp B ist charakterisiert durch Niederschlagsperioden und Niederschlagsabfolgen von 14–30 Tagen Dauer. Beim massgebenden Szenario werden drei Niederschlagswellen simuliert, von denen die letzte die intensivste ist. Das Niederschlagszentrum liegt in den Alpen und im Jura. Es sind folgende Auswirkungen auf die Seen und Flüsse zu erwarten (siehe Bild 4):

- Zuflüsse zu Thuner-/Brienzersee sind grösser als die Spitzenabflüsse beim Hochwasser 2005
- Der Pegel des Thunersees steigt 1 m über das Niveau des Hochwassers 2005

Bild 5 (rechts oben). Maximale Überflutungsflächen zwischen Thun und Bern (Ereignistyp B).



an, die Pegel der Jurarandseen übersteigen den höchsten Stand seit der zweiten Juragewässerkorrektur um mehr als zwei Meter.

- Die Aare in Bern erreicht eine Abflussspitze von 780 m³/s.
- Zwischen Thun und Bern treten grossflächige Aareausuferungen auf.
- Am Bielersee überschreitet der Seepegel die Hochwassergrenze während 25 Tagen.

Im Gebiet zwischen Thun und Bern kommt es bei diesem Ereignistyp zu grossflächigen Ausuferungen. Das Wasser tritt im Bereich von Kiesen nach rechts aus und kann ab Wichtrach einen grösseren Teil der Aareebene überschwemmen. In Münsingen beträgt die Überflutungsbreite etwas mehr als 1 km. Bei der Chlihöchstettenau fliesst das Wasser wieder zurück in die Aare (Bild 5). Trotz der grossflächigen Überflutung ist die Reduktion der Hochwasserspitze bescheiden. Sie wird von etwa 780 m³/s auf etwa 760 m³/s reduziert. Die Spitze wird nur um etwa sechs Stunden verzögert. Der Grund für die geringe Abflussschwächung liegt in der Tatsache, dass die Zuflussganglinie unterhalb des Thunersees eine lange, «träge» Spitze aufweist; zudem handelt es sich um eine fließende und nicht um eine stehende Retention.

5.3 Niederschlag und Schneeschmelze (Ereignistyp C)

Beim Ereignistyp C wird angenommen, dass Niederschlagsereignisse von sieben oder von 30 Tagen Dauer in Kombination mit intensiver Schneeschmelze im Mittelland auftreten. Der Niederschlag führt zusammen mit der Schneeschmelze zu hohen Abflussvolumina. Ohne Schneeschmelze kommt es höchstens lokal zu Hochwasserabflüssen.

Es sind folgende Auswirkungen auf die Seen und Flüsse zu erwarten (siehe Bild 6):

- Die Pegel der Jurarandseen steigen bis 1.5 m über die Hochwassergrenze
- Das Hochwasser dauert am Bielersee ca. 30 Tage
- Im Oberland treten keine Hochwasser auf, da mit intensiver Schneeschmelze in mittleren und tiefen, nicht aber in erhöhten Lagen gerechnet wird.

Die ausgewählten Szenarien zeigen in erster Linie mögliche Extremereignisse für die Aare und die Juraseen auf. In den einzelnen Teileinzugsgebieten können ebenfalls extreme Abflussspitzen simuliert werden. Die Szenarien sind aber nicht darauf ausgelegt, dass in sämtlichen Gerinneabschnitten maximale Abflüsse auftreten.

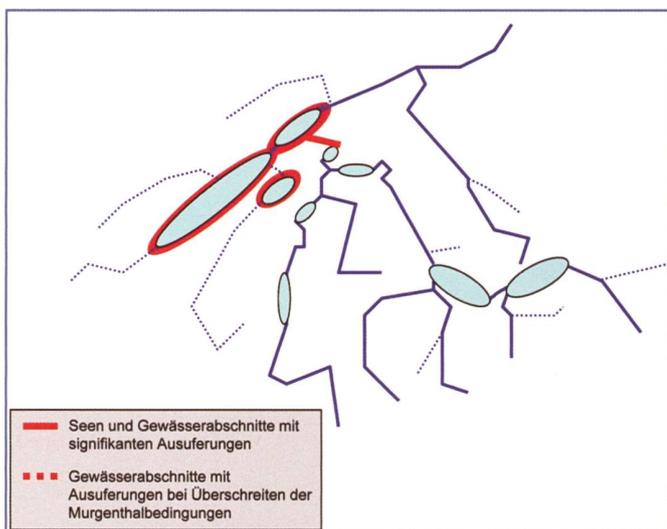


Bild 6. Hochwassergebiete Ereignistyp C (Niederschlag und Schneeschmelze)

<p>Typ A: Intensiver Niederschlag von 2-3 Tagen, kombiniert mit hohem Seestand im Berner Oberland</p>	<p>Verkehr: Unterbruch wichtiger Bahnlinien und Strassen im Oberland; Bödeli Interlaken unpassierbar; Überflutung Bahnlinie Thun-Bern und Autobahn bei Münsingen; Verkehrswege an der Emme überflutet; Gefährdung A1 und Neubaustrecke SBB (Emmeunterquerung)</p> <p>Siedlung: Insgesamt rund 7500 – 8000 Wohngebäude mit knapp 80'000 Einwohnern sowie ca. 130 Sonderobjekte und Infrastrukturanlagen (Spitäler, Altersheime, Betriebe aus Risikokataster etc.) betroffen</p>
<p>Typ B: Niederschlagsabfolgen von 14-30 Tagen</p>	<p>Verkehr: Unterbruch wichtiger Bahnlinien und Strassen im Oberland; Bödeli Interlaken unpassierbar; Überflutung Bahnlinie Thun-Bern und Autobahn bei Münsingen; Unterbruch Autostrasse und Bahnlinie am Bielersee Nordufer, Zihikanal unpassierbar</p> <p>Siedlung: Insgesamt rund 7500 – 8000 Wohngebäude mit knapp 80'000 Einwohnern sowie ca. 130 Sonderobjekte und Infrastrukturanlagen (Spitäler, Altersheime, Betriebe aus Risikokataster etc.) betroffen</p>
<p>Typ C: Niederschlag (7-30 Tage) in Kombination mit Schneeschmelze im Mittelland</p>	<p>Verkehr: Unterbruch Autostrasse und Bahnlinie am Bielersee Nordufer, Zihikanal unpassierbar</p> <p>Siedlung: Nidau durch Seeüberflutung stark betroffen und Biel durch Schuss gefährdet; insgesamt ca. 1200 Wohngebäude. Industriegebiet von Cressier überflutet</p>

Tabelle 1. Ereignistyp und Auswirkungen auf Verkehr und Infrastruktur im Kanton Bern.

6. Auswirkungen

Grossräumige Überflutungen sowie lokale Erosionsprozesse können wichtige Verkehrswege beeinträchtigen und ganze Talschaften von der Umwelt abschneiden. Zudem werden entlang der untersuchten Hauptgewässer und der Seen zahlreiche Wohngebäude durch Überflutung betroffen (siehe *Tabelle 1*).

7. Schlussfolgerungen

Beim Ereignistyp A (zwei- bis dreitägiger Starkniederschlag) können die Abflüsse und Seepegel sehr rasch ansteigen, wie das Hochwasser im August 2007 zeigte. Dies erfordert ein optimales Warnsystem und ein rasches Reagieren der Behörden. Bei den Ereignistypen B (14–30-tägiger Niederschlag) und C (Niederschlag und Schneeschmelze) stellen einerseits die hohen Abflüsse und Seepegel, andererseits die lange Dauer eines Ereignisses hohe Anforderungen an die Ereignisbewältigung. Die lange Ereignisdauer verschärft die Probleme massiv. Wenn beispielsweise im Gebiet Bielersee eine Raffinerie, Wasserfassungen oder Abwasserreinigungsanlagen während 25–30 Tagen unter Wasser stehen, hat dies grosse Auswirkungen.

Die Anzahl der direkt betroffenen Personen wird Evakuierungen in grösserem Stil erfordern. Vor allem bei länger andauernden Ereignissen werden aber noch weit grössere Personenkreise wegen defekter

Infrastrukturanlagen (Wasser- und Energieversorgung, Abwasserentsorgung) auf Unterstützung durch den Bevölkerungsschutz angewiesen sein.

Vor allem im Berner Oberland können unterbrochene Verkehrsverbindungen dazu führen, dass ganze Talschaften nicht mehr auf dem Landweg erreichbar sind. Auch hier müssen alternative Versorgungssysteme aufgebaut werden.

Extremereignisse, wie sie in der Extremhochwasserstudie beschrieben werden, stellen sehr hohe Anforderungen an das Risikomanagement und an die Katastrophenorganisation. Wenn man die Entwicklung der letzten Jahre anschaut und die Prognosen zur Klimaerwärmung berücksichtigt, muss man davon ausgehen, dass solche Ereignisse wahrscheinlicher werden.

Damit solche Situationen gemeistert werden können, müssen entsprechende Handlungsstrategien, z.B. für den Bevölkerungsschutz oder den Regulierdienst, entwickelt werden. Mit der vorliegenden Studie werden Grundlagen für die Ausarbeitung solcher Strategien zur Verfügung gestellt. So kann verhindert werden, dass ein Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare den Kanton unvorbereitet trifft.

Für den Kanton Bern bedeutet dies, dass für die Bewältigung von extremen Ereignissen eine Katastrophenorganisation verfügbar sein muss, die während Wochen

einsatzfähig und in der Lage ist, eine fortlaufende Lagebeurteilung über das ganze Kantonsgebiet vorzunehmen. Dies erfordert entsprechende personelle Ressourcen und Kommunikationsverbindungen, die auch im Katastrophenfall intakt sind und eine genügend grosse Übermittlungskapazität bieten.

Dank

Die Autorin und Autoren danken den Mitverfassern Peter Billeter, Michael Schilling, Guido Lauber sowie der Begleitgruppe der Studie «Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare» für ihre Beiträge und Ideen.

Literatur

geo7, 2003: Hochwassersicherheit im Kanton Bern, Vorstudie
 geo7, IUB, Hunziker, Zarn & Partner, Emch + Berger AG, 2007: Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare

Anschrift der Verfasser

Serena Liener, Peter Mani, geo7
 Neufeldstrasse 5–9, CH-3012 Bern
 serena.liener@geo7.ch, peter.mani@geo7.ch

Heinz Roth, Tiefbauamt des Kantons Bern

Reiterstrasse 11, CH-3011 Bern
 heinz.roth@bve.be.ch

Bernhard Schudel, Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Reiterstrasse 11

CH-3011 Bern, bernhard.schudel@bve.be.ch