Zeitschrift: Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern

Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern

Band: 65 (2017)

Artikel: Und immer wieder herrschte Wassernot : Geschichte der Hochwasser im Emmental seit 1275

Autor: Weingartner, Rolf / Hofer, Patrick / Zbinden, Eveline

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-960364

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: 12.07.2025

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

Und immer wieder herrschte Wassernot

Geschichte der Hochwasser im Emmental seit 1275

Rolf Weingartner, Patrick Hofer, Eveline Zbinden, Tom Reist

Einleitung

Ausgangslage

Was liegt näher, als einen Aufsatz zur Hochwassergeschichte des Emmentals mit Gotthelfs Erzählung «Die Wassernot im Emmental» zu beginnen? Mit der Beschreibung der Entstehung und des Ablaufs des katastrophalen Hochwassers vom 13. August 1837 hat Gotthelf die Emme und deren Hochwasser weitherum bekannt gemacht.

> *Das Emmental ist ein Hügelland, düster aussehend von weitem, aber lieblich und heimelig in der Nähe. […] Eng begrenzt ist der Horizont von waldigen Hügeln, an deren Fuss die unzähligen Täler sich ziehen, von rauschenden Bächen bewässert, die in stillem Murmeln ihr Geschiebe wälzen. […] Aber wie still und unscheinbar die Wässerchen scheinen, sie brausen alle auf in unzähmbarer Wut, durchbrechen alle Dämme und lassen zittern und beben die Anwohner.* (Gotthelf 1840/1925)

Immer wieder wurde das Emmental von Hochwasser betroffen. Viele erinnern sich sicherlich noch an die angespannte Hochwassersituation im Juli 2014 und – damit verbunden – an die extremen Verwüstungen im obersten Einzugsgebiet der Emme. So schreibt die Neue Zürcher Zeitung am 10. März 2015 in der Rückschau auf das Hochwasserjahr 2014:

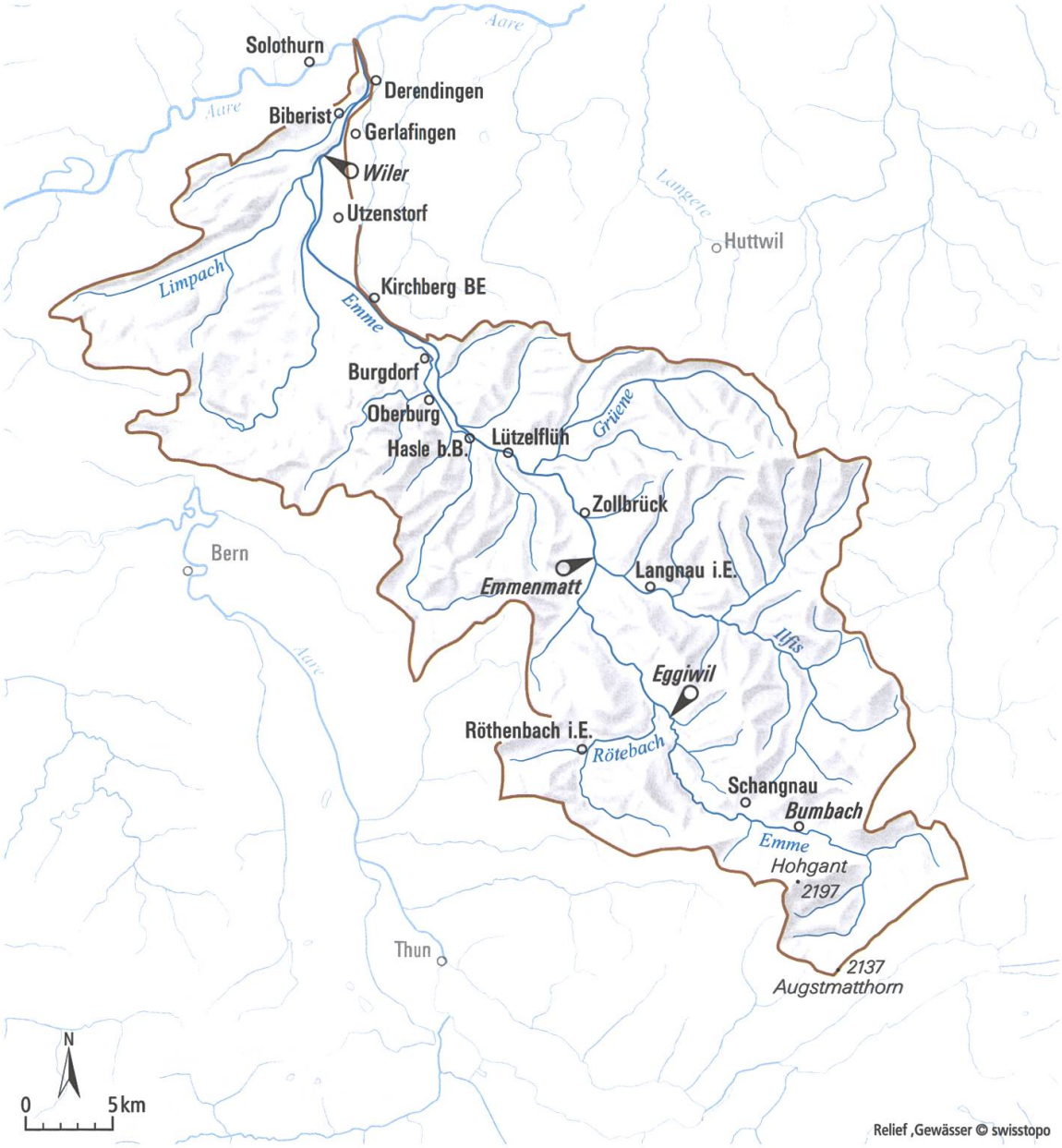
> *Allein in Schangnau im Kanton Bern verursachten Gewitter Ende Juli Schäden in der Höhe von rund 16 Millionen Franken. Die Wassermassen der Emme wälzten sich zeitweise quer durch den Ortsteil Bumbach, über-*

fluteten Häuser, beschädigten Maschinen und Autos und lösten Hangrutsche aus. (NZZ 2015)

Im selben Artikel wird darauf hingewiesen, dass die Emme seit Urzeiten als Wildbach bekannt und ihre Unberechenbarkeit sprichwörtlich sei. Die Emme, das Emmental und dessen Bewohnerinnen und Bewohner bilden seit jeher eine Schicksalsgemeinschaft. Der Schutz vor Hochwasser war stets ein Thema und ist es heute noch. Entlang der Emme befinden sich in den von Hochwassern gefährdeten Gebieten viele Wohnhäuser, Gewerbe- und Industriebetriebe sowie Infrastrukturen. Die flache, gut zugängliche Talebene ist im hügeligen Napfbergland trotz der Hochwassergefährdung ein begehrtes Baugebiet. So befinden sich in der Gemeinde Burgdorf 48 Prozent aller Gebäude im Bereich der durch Hochwasser gefährdeten Zonen (Mobiliar Lab 2016).

Abbildungen 1/2: Das Hochwasser am 24. Juli 2014 hat im Oberlauf grosse Schäden verursacht und z. B. die Brücke bei Bumbach zerstört (Bild links). Im Unterlauf (rechts: Emme in Burgdorf) konnten die Wassermassen dagegen weitgehend schadlos abgeleitet werden. (Bilder: Demian Schneider)

Sogar ausserhalb des Emmentals sind die Emme-Hochwasser von Bedeutung. Sie waren wesentlich dafür verantwortlich, dass die erste Juragewässerkorrektion von 1868–1891 durchgeführt wurde (Vischer 2003). Die Emme führte damals bei Hochwasser erhebliche Mengen an Geschiebe und transportierte es bis zum Einlauf in die Aare. Dadurch wurde die Aare flussaufwärts gestaut, was zwischen Büren und Solothurn zu Überschwemmungen führte. In der Zwischenzeit ist dieses Problem weitgehend gelöst, aber eine andere hydrologische Fernwirkung der Emme bleibt nach wie vor bestehen, wie Aebischer (1997) beschreibt. Er konnte anhand der Analyse der grössten Hochwasser des Rheins in Basel seit 1800 zeigen, dass die Emme und die Thur entscheidend für die Ausprägung der Hochwasserspitzen des Rheins in Basel sind, da beide Flüsse unterhalb der grossen Seen in die Aare bzw. den Rhein münden und somit ihre Hochwasserspitzen nicht durch Seen gedämpft werden.



Figur 1: Das Emmental im Überblick. (Kartengrundlage: Swisstopo)
Mit einem Symbol sind die Abflussmessstationen des Bundesamts für Umwelt in Eggiwil, Emmenmatt und Wiler eingezeichnet.

Aus dieser kurzen Zusammenstellung geht klar hervor, dass die Emme einen grossen Einfluss auf das Emmental und auch auf das Hochwassergeschehen in Aare und Rhein ausübt. Mit dem Blick zurück bis ins 13. Jahrhundert wollen wir die heutige Hochwassersituation in einen grösseren zeitlichen Kontext stellen. So wollen wir die Frage beantworten, ob es zeitliche Phasen mit bedeutend grösseren Hochwassern als heute gegeben hat. Solche Informationen sind sehr wichtig, um die langfristige Wirksamkeit der aktuellen Hochwasserschutzmassnahmen zu beurteilen und das Restrisiko abschätzen zu können.

Zielsetzung
Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, eine möglichst vollständige Übersicht über die grossen Emme-Hochwasser seit dem 13. Jahrhundert zu erstellen und diese Hochwasser bezüglich ihrer Intensität und der von ihnen verursachten Schäden zu beurteilen und zu vergleichen. Dazu sollen die bestehenden Übersichten und Dokumentationen der Emme-Hochwasser gezielt ergänzt und erweitert werden. Basierend auf diesen Grundlagen lässt sich das aktuelle Hochwassergeschehen in den Kontext der letzten Jahrzehnte und Jahrhunderte stellen.

Bisherige Untersuchungen
Die «Unwetterchronik der Schweiz» (Röthlisberger 1991) erfasst zahlreiche Hochwasser der Emme, ohne allerdings genauere Angaben zu deren Intensität zu machen. Auch Gees (1997) und Reist (2002) erstellten Dokumentationen zur Hochwassergeschichte des Emmentals. Dabei klassierte Gees (1997) die Hochwasser anhand von Schadensintensitäten. Reist (2002) vermittelte nicht nur einen Überblick über die Hochwasser der Emme, sondern rekonstruierte auch das Gotthelf-Hochwasser von 1837. Dabei wurden auch die Niederschlags- und Abflussmengen des Ereignisses geschätzt (Weingartner und Reist 2004). Pfister (1999) betont in seinem Buch «Wetternachhersage», dass es im Laufe der Jahrhunderte in der Schweiz immer wieder Phasen gab, in denen Hochwasser häufiger und mit höherer Intensität auftraten, so beispielsweise im 19. Jahrhundert (Schmocker-Fackel und Naef 2010). Schulte et al. (2015) analysierten die zeitliche Häufung grosser Hochwasser im Berner Oberland auf der Zeitskala der letzten 2000 Jahre. Sie fanden einen Zusammenhang mit den Sonnenzyklen, Sommertemperaturen und Trockenheiten im Frühjahr. Dies ist ein Erklärungsmuster. In der Literatur gibt es unzählige Hypothesen zur Entstehung solcher Phasen mit häufigeren Hochwassern (Schmocker-Fackel und Naef 2010). Mit der vorliegenden Analyse soll die Dokumentation der Emme-Hochwasser ergänzt und zurück bis ins 13. Jahrhundert erweitert werden. Die Grundlagen dazu liefern Hofer (2014) und Zbinden (2016).

Hydrogeographische Charakterisierung der Emme

Die Emme entspringt im Gebiet zwischen Augstmatthorn und Hohgant und mündet bei Solothurn in die Aare. Ihr Einzugsgebiet hat eine Fläche von 939 km^2 und eine mittlere Gebietshöhe von 860 m ü. M. Im Emmental sind idealtypisch wesentliche Faktoren vereint, welche die Bildung von Hochwassern fördern:

- Intensive und ergiebige Niederschläge: Die häufigen sommerlichen konvektiven Niederschläge (Gewitter) weisen vergleichsweise hohe Intensitäten auf. Für das benachbarte, mit der Emme vergleichbare Einzugsgebiet der Langeten in Huttwil konnte Diezig (2006) belegen, dass Schauer- und Kurzzeitregen bei weitem die häufigsten Ursachen

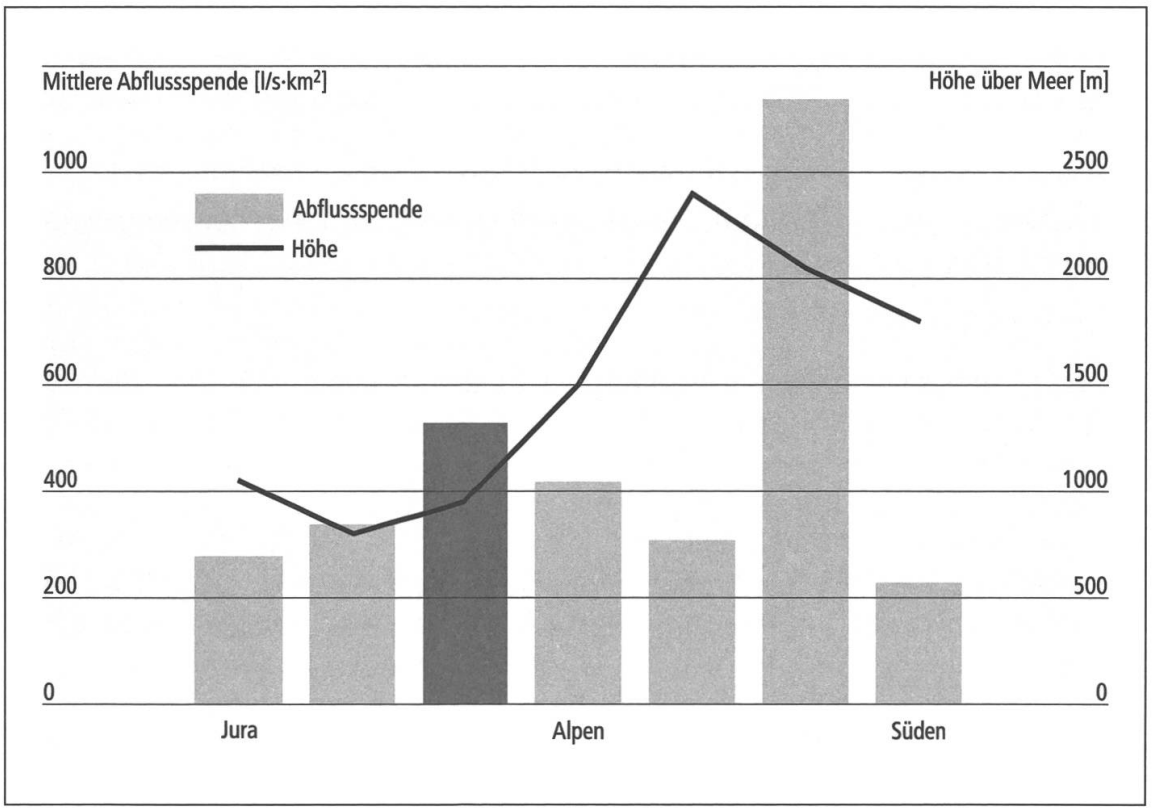
auch für die grossen Hochwasser sind. Aber auch Dauerregen und Regen-auf-Schnee-Ereignisse können zu grösseren Hochwassern beitragen, sie sind aber von untergeordneter Bedeutung.

- Der meist schlecht durchlässige Untergrund in den steilen Hanglagen führt zu einem dichten Gewässernetz (2–3 km/km²) und als Konsequenz zu sehr hohen Abflussmengen (Figur 2).

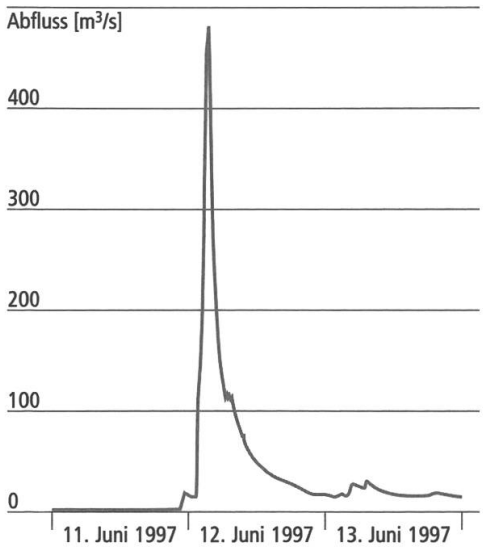
- Es sind keine Speicher vorhanden, welche die Hochwasser dämpfen.

- Immer wieder wird auch argumentiert, dass die massive Entwaldung des Emmentals im 19. Jahrhundert zu einer Verschärfung der Hochwassersituation geführt habe. Diese Hypothese ist allerdings umstritten (Germann und Weingartner 2003): Die besser durchlässigen Waldböden mögen zwar einen gewissen Einfluss auf Hochwasser ausüben, ihr Effekt ist aber bei grossen Niederschlagsereignissen vernachlässigbar klein.

Aufgrund dieser Faktenlage erstaunt es deshalb nicht, dass das Emmental die höchsten Hochwasserspenden der Alpennordseite aufweist (Figur 2); als Abflussspende versteht man die pro Flächeneinheit erzeugte Abflussmenge.



Figur 2: Mittlere Hochwasserspenden der Schweiz auf einem Nord-Süd-Profil im Vergleich. Dunkelgraue Säule: Emmental / Voralpen. (Daten: BAFU)



3a

3b

Figur 3a: Ganglinie des Hochwassers vom 12.6.1997, Messstation Emme-Emmenmatt. (Daten: BAFU)

Figur 3b: Symbolische Darstellung des Hochwassers von 1837 als Emmeschlange.

Figur 3 zeigt eine typische Ganglinie der Emme. Diese ist charakterisiert durch eine kurze Anstiegszeit, eine ausgeprägte Spitze mit hoher Abflussmenge und einem schnellen Auslaufen. Der kurze prägnante Anstieg ist einerseits das Ergebnis kurzer, intensiver Niederschläge, welche oftmals nur ein Teileinzugsgebiet im Oberlauf betreffen. Zudem führt die grosse Reibung an der Flusssohle im Bereich der Wasserfront zur Bremsung des Wassers, so dass das nachfolgende Wasser schneller fliesst, zur Wasserfront vorstösst und diese zu einer steilen Front aufbaut. Das Bild der *Emmeschlange* mit dem hochragenden Gesicht in Gotthelfs «Wassernot» symbolisiert diese Verhältnisse treffend. «*Die Emmeschlange ist ausgebrochen, vom grünen Zwerglein mit mächtigem Tannenbaum geleitet.*» (Gotthelf in Vischer 2003)

Der Mensch kämpfte seit Jahrhunderten gegen die verheerenden Hochwasser. Im 18. Jahrhundert wurde den meist armen BewohnerInnen der flussnahen Talgebiete, den «Schachen», die Schwellenpflicht – also eine Art lokaler Hochwasserschutz – auferlegt: Die armen Schachenleute sollten Schwellen erstellen, um das Übertreten der Emme zu verhindern – eine Pflicht, welche sie mehr schlecht als recht erfüllen konnten. In den Jahren 1886 bis 1910 wurde die Emme etappenweise verbaut, eingeengt und begradigt (Frank 1992). Die vielen grossen Hochwasser im 19. Jahrhundert lieferten dazu offenbar gute Argumente. Im Weiteren machte sich die Lobby der Förster, welche die Abholzung grosser Waldflächen für die Zunahme der Hochwasser im 19. Jahrhundert verantwortlich machte (Figur 6), nicht nur für eine Wiederaufforstung im Emmental stark, sondern sie war auch dafür verantwortlich, dass der Schutz des Waldes früh im Wasserbaupolizeigesetz und im Waldgesetz verankert wurde (Pfister 2005).

Daten und Methoden

Datentypen

Um eine möglichst vollständige Übersicht über die grossen Hochwasser seit dem 13. Jahrhundert zu erstellen, mussten verschiedene Quellen und sowohl qualitative wie quantitative Daten analysiert werden.

Qualitative Daten

Bei den qualitativen Daten handelt es sich um Schriftquellen mit Berichten zu Hochwasserereignissen zwischen 1275 und 2014 und um Bildquellen, welche den Zeitraum 1837 bis 2014 abdecken. Neben den Übersichten von Röthlisberger (1991), Gees (1997) und Reist (2002) analysierten wir weitere 84 Schrift- und Bildquellen, wobei die Zahl der Bildquellen vergleichsweise klein ist. Diese Quellen sind grösstenteils Sekundär- oder Tertiärquellen und nur vereinzelt Primärquellen. Primärquellen stammen von Personen, die Augenzeugen eines Hochwasserereignisses waren. Wurde ein solcher Ereignisbericht viel später von einer weiteren Person verwendet, um über dasselbe Ereignis zu berichten, spricht man von einer Sekundärquelle. Bei den eingangs erwähnten Übersichten, die auf Primär- und Sekundärquellen basieren, handelt es sich um Tertiärquellen.

Die Datendichte und -qualität der qualitativen Quellen ist unterschiedlich: Vor 1850 sind nur wenige, hauptsächlich grosse Schäden verursachende Hochwasser dokumentiert. Solche Dokumentationen vermitteln wertvolle Hinweise zu den einzelnen Hochwasserereignissen. Allerdings können durch die subjektive Wahrnehmung des Beobachters oder die ungenaue Überlieferung eines Ereignisses Unsicherheiten und Fehler entstehen. Deshalb ist der Quellenkritik grosse Beachtung zu schenken. Nach 1850 wurden auch kleinere Hochwasserereignisse beschrieben. Allgemein sind hier die Ereignisse detaillierter dokumentiert.

Quantitative Daten

Seit 1897 ist die Abflussmessstation an der Emme in Emmenmatt in Betrieb (Figur 1). Sie ist wegen der langen Messreihe für unsere Analysen von zentraler Bedeutung, obschon ihr Einzugsgebiet (Fläche 443 km^2) nicht das ganze Einzugsgebiet der Emme abdeckt. Zwischen 1897 und 1909 wurden an dieser Station nur Wasserstände aufgezeichnet. Gees (1997) rechnete aber die höchsten Wasserstände mit Hilfe eines hydraulischen Modells in Abflusswerte um. Seit 1910 werden die Abflüsse [m^3/s] kontinuierlich beobachtet. Aus dieser Zeitreihe lassen sich die Jahresmaxima ableiten, also die höchsten Abflussmengen, welche jedes Jahr gemessen wurden. Zusätzlich quantifizierte Gees (1997) vier grosse Hochwasser der Emme im Zeitraum von 1830 bis 1895, in den Jahren 1837, 1846, 1866 und 1891.

Um die Hochwasser unterschiedlicher Perioden vergleichen zu können, verwenden wir hier einfache statistische Kennwerte wie Median, Mittelwert und Maximum. Zur Beschreibung der Jahr-zu-Jahr-Variabilität der Jahreshochwasser dient der normierte Interquartilsrange (IQR). Je grösser dieser Wert ist, umso grösser ist die Variabilität.

Methodisches Vorgehen

Die unterschiedlichen Datentypen erfordern ein differenziertes methodisches Vorgehen. Das Ziel muss dabei sein, dass die Daten und Informationen der verschiedenen Datenquellen direkt vergleichbar sind.

Analyse der qualitativen Daten

Die Schaffung einer strukturierten, plausiblen und zielorientierten Sammlung, Interpretation und Klassifizierung von Hochwassern stellt eine grosse Herausforderung dar (Hofer 2014). In der vorliegenden Studie wurden einerseits diejenigen Emme-Hochwasser verwendet, bei denen Schäden dokumentiert sind und andererseits diejenigen, bei denen vermutet werden muss, dass sie Schäden verursachten.

Um die Hochwasser über die Zeit vergleichen zu können, müssen alle Ereignisse anhand einheitlicher Kenngrössen beschrieben werden. Im Idealfall sind das Kenngrössen des Abflusses. Da solche Daten für den Zeitraum vor 1800 überhaupt nicht verfügbar sind, müssen qualitative Daten wie Schadenmeldungen verwendet werden.

Die in den historischen Quellen erwähnten Schäden sind ein geeigneter Indikator für die Abschätzung des Ausmasses eines Hochwassers, zumal über solche Schäden über Jahrhunderte hinweg regelmässig berichtet wurde. Einerseits können daraus Schadenssummen abgeleitet werden (Gees 1997); andererseits liefert allein schon die Art der Objekte, welche während eines Ereignisses in Mitleidenschaft gezogen wurden, wichtige Informationen zur Schadensintensität (Pfister und Hächler 1991).

Das in dieser Studie angewandte Klassifizierungssystem umfasst im Wesentlichen drei Schritte:

1. Beurteilung der Schadensintensität

Die in den Quellen dokumentierten Hochwasserschäden wurden nach den folgenden Kriterien beurteilt:

- Eine Beschädigung eines Objektes bedeutet einen kleineren Schaden als dessen Zerstörung.
- Ist in einer Schriftquelle von mehreren Objekten die Rede, die von

einem Hochwasser beschädigt wurden, so wird der Schaden als höher eingestuft, als wenn lediglich ein Objekt betroffen war.

- Werden bei einem Ereignis Schäden unterschiedlichen Ausmasses erwähnt, so erfolgt die Klassierung des Hochwassers aufgrund des grössten dokumentierten Schadens.

2. Beurteilung der räumlichen Betroffenheit

Angaben, welche Flächen bei einem Hochwasserereignis überschwemmt wurden, finden sich in historischen Quellen eher selten. Für die Ermittlung der Räume, die von einem Hochwasserereignis betroffen waren, wurde deshalb die Länge jener Flussabschnitte bestimmt, in deren Umland Schäden auftraten (Hofer 2014).

3. Klassifizierung des Hochwasserereignisses

Aus der Kombination der Schadensintensität und der räumlichen Betroffenheit lässt sich nun ein Hochwasserereignis genauer beschreiben und klassieren (Hofer 2014). Es ergeben sich insgesamt neun mögliche Kombinationen, welche ihrerseits in vier Klassen eingeteilt werden:

1: *Leichtes Hochwasserereignis*

2: *Mittleres Hochwasserereignis*

3: *Schweres Hochwasserereignis*

4: *Katastrophales Hochwasserereignis*

Dabei handelt es sich vor allem um eine Beurteilung aus Schadenssicht. Wegen des weitgehend fehlenden Hochwasserschutzes vor ca. 1890 ist die Schadenshöhe aber ein guter Indikator für die hydrologische Intensität eines Hochwassers.

Um Phasen grösserer Schadensintensität besser erkennen zu können, wurden nur die *schweren* und *katastrophalen* Hochwasser betrachtet (Hofer 2014). Ein spezielles Verfahren – das gleitende Mittel über 35 Jahre – diente zur Identifizierung dieser Phasen (vgl. Figur 6).

Analyse der quantitativen Daten

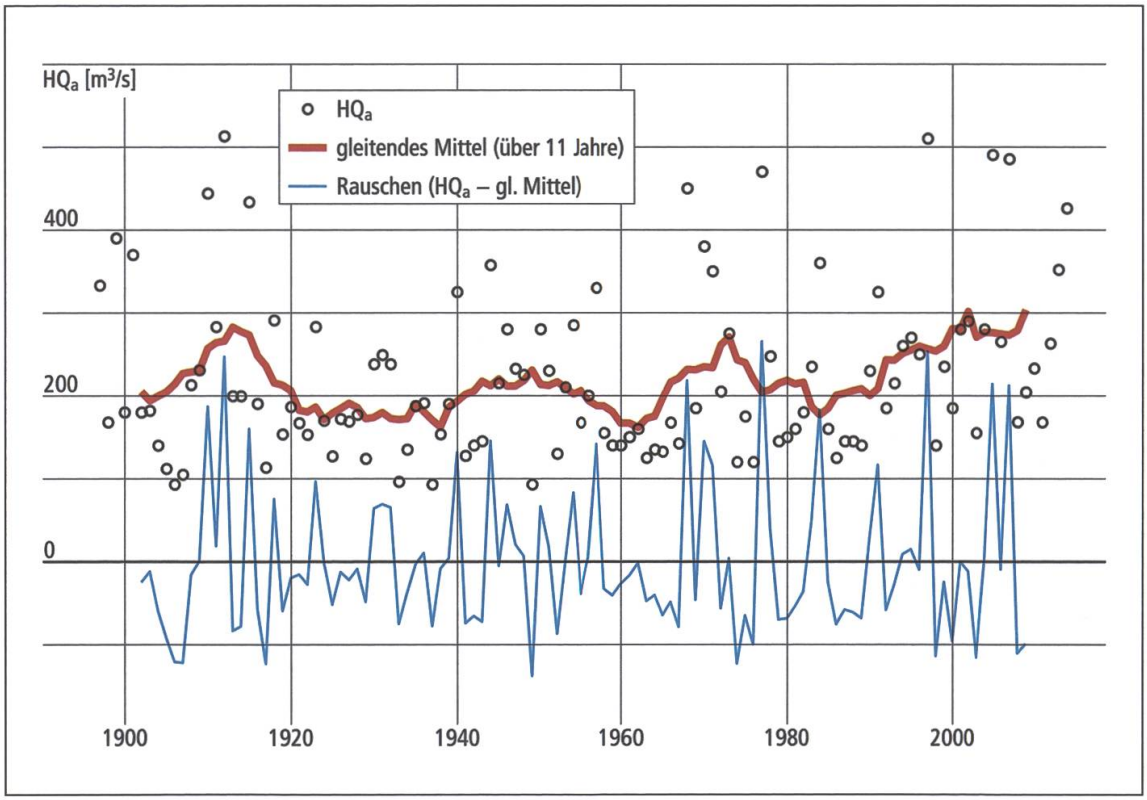
Für die Einordnung der heutigen Hochwasserverhältnisse der Emme im 20. Jahrhundert verwendeten wir die Zeitreihe der grössten Hochwasser pro Jahr (Jahresmaxima). Daraus wurde das gleitende Mittel über elf Jahre berechnet, um die zeitliche Veränderung der Hochwasser besser erkennen zu können. Die Differenz zwischen beobachtetem Wert und dem gleitenden Mittelwert lässt sich als *Rauschen* bzw. Variabilität des Systems interpretieren.

Resultate

Hochwasserspitzen der Emme seit 1897

In Figur 4 sind die in jedem Jahr vom BAFU beobachteten und von Gees (1997) für den Zeitraum von 1897 bis 1909 berechneten grössten Hochwasserspitzen als Einzelwerte sowie als gleitendes Mittel dargestellt. Es fallen die grossen Werte und entsprechend höheren gleitenden Mittel zu Beginn und am Ende der Zeitreihe auf. Zwischen etwa 1915 und 1964 sind nur Hochwasser unter rund 400 m^3/s aufgetreten, davor und danach erreichen und überschreiten einzelne Hochwasser den Wert von 500 m^3/s (Tabelle 1). Die grössten Hochwasserspitzen wurden 1912 und 1997 beobachtet. Ihre Spitzenabflüsse betrugen je rund 510 m^3/s.

Bezogen auf die heutige Situation ist die Zunahme der Intensität der Hochwasser seit Mitte der 1960er Jahre auffällig, wobei sich die Jahr-zu-Jahr-Variabilität gegenüber der Periode 1915–1964 nicht verändert hat (Figur 4, Rauschen, und Tabelle 1).



Figur 4: Hochwasserverhältnisse im Einzugsgebiet der Emme-Emmenmatt (Fläche: 443 km²), Periode 1897–2014 (Daten: BAFU und Gees 1997): Dargestellt sind die jährlichen Hochwasserspitzen (HQa) und deren gleitendes Mittel über 11 Jahre. Die blaue Linie ergibt sich aus der Differenz zwischen HQa und dem gleitenden Mittel. Während die rote Linie die zeitliche Entwicklung der Hochwasserspitzen aufzeichnet, beschreibt die blaue Linie die nicht direkt erklärbare Variabilität der Hochwasserspitzen, das sog. Rauschen.

Kenngrösse	1897–1914	1915–1964	1965–2014
Mittelwert [m³/s]	240,9	193,2	244,6
Median [m³/s]	199,5	171	222,5
Maximum [m³/s]	513	433,5	510
IQR [–]	0,68	0,48	0,49

Tabelle 1: Kennwerte der jährlichen Hochwasserspitzen der Station Emme-Emmenmatt der Perioden 1897–1914, 1915–1964 und 1965–2014. (Daten: BAFU und Gees 1997)

Rekonstruierte Hochwasserspitzen des 19. Jahrhunderts

Gees (1997) hat die grössten Hochwasserereignisse des 19. Jahrhunderts ab 1830 rekonstruiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Hochwasserspitze von 1837 *(Gotthelf-Hochwasser)* gehört mit jener von 1912 und 1997 zu den grössten drei der letzten 200 Jahre.

Jahr	Spitze [m³/s]	Schadensausmass
1837	525	katastrophal
1846	420	katastrophal
1866	230	leicht
1891	370	katastrophal

Tabelle 2: Abflussspitzen der grössten Hochwasserereignisse der Emme in Emmenmatt, rekonstruiert von Gees (1997) im Vergleich mit den klassierten Schäden.

Beschreibung und Klassifikation der Hochwasser seit 1275

Zeitreihe der Hochwasserschäden

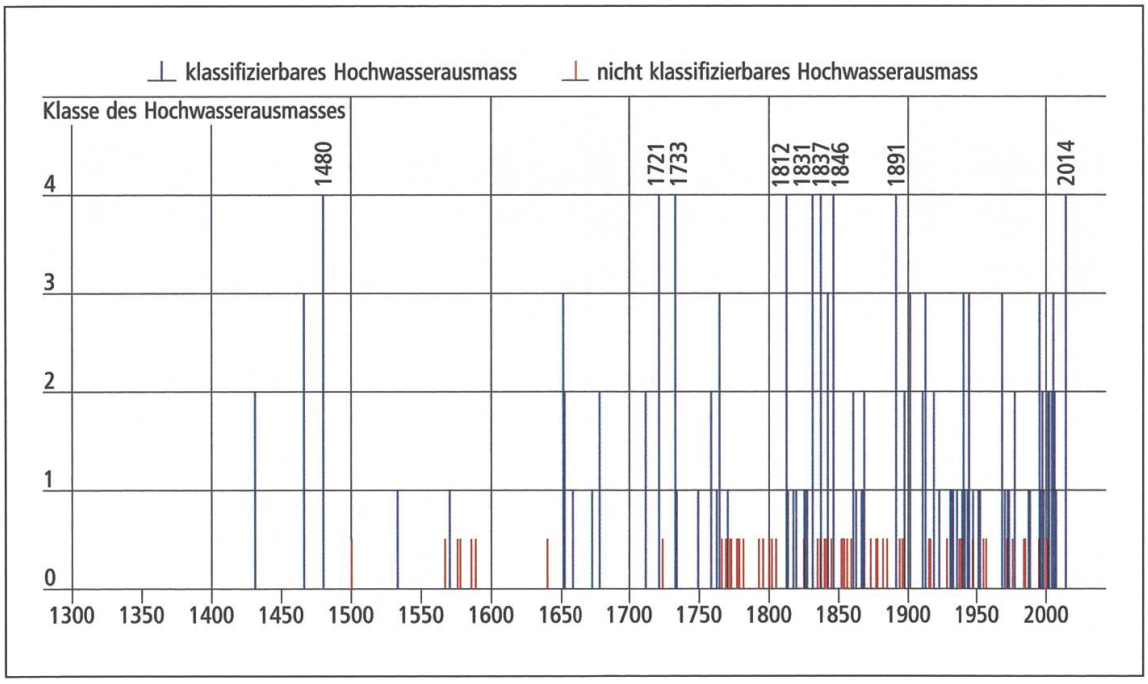
Den zu Beginn des Kapitels erwähnten Quellen konnten rund 500 Beschreibungen zu 156 verschiedenen Hochwassern entnommen werden (Hofer 2014). Das älteste Schaden verursachende Hochwasser, das in den Quellen gefunden wurde, datiert aus dem Jahr 1275 (Schaller-Donauer 1937).

Die Anzahl dokumentierter Schadensereignisse nimmt über die Jahrhunderte zu: 3 Ereignisse im 15. Jahrhundert, 7 im 16. Jahrhundert, 6 im 17. Jahrhundert, 26 im 18. Jahrhundert und 46 im 19. Jahrhundert. Ab dem 19. Jahrhundert sind die grossen Hochwasser nahezu vollständig erfasst. Vorher hing die Berichterstattung einerseits von der Anwesenheit und dem Interesse eines Chronisten und andererseits davon ab, ob überhaupt nennenswerte Schäden auftraten. In diesem Zusammenhang gilt es zu berücksichtigen, dass die fluss-

nahen, überschwemmungsgefährdeten Schachen erst unter dem Bevölkerungsdruck des 16. Jahrhunderts besiedelt wurden (Dubler 2012) und damit vorher kaum Schäden an Wohngebäuden entstehen konnten. Flussnahe Infrastrukturen wie Brücken und Stege sowie Gewerbebetriebe wie Mühlen waren aber bereits vorhanden.

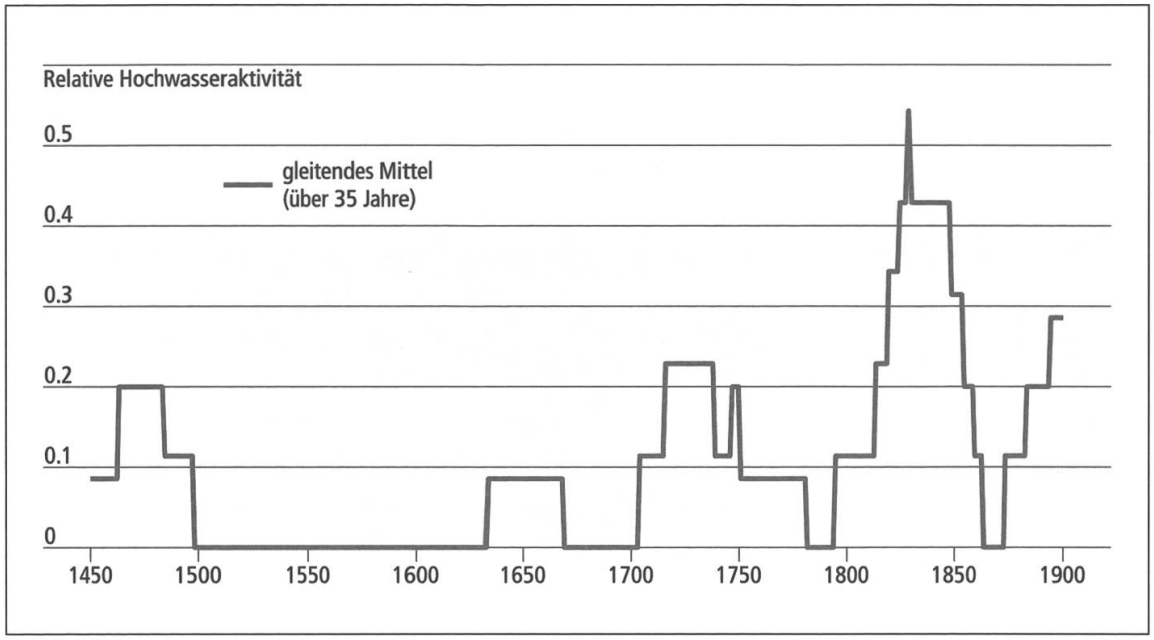
Von den insgesamt 156 ermittelten Ereignissen konnten 83 Ereignisse, für die alle benötigten Informationen vorlagen, klassiert werden (Figur 5). Das erste stammt aus dem Jahr 1431, das letzte aus dem Jahr 2014. Die Auszählung der Ereignisse ergibt das folgende Bild:

- 9 *katastrophale* Hochwasser (Klasse 4)
- 13 *schwere* Hochwasser (Klasse 3)
- 18 *mittlere* Hochwasser (Klasse 2)
- 43 *leichte* Hochwasser (Klasse 1)
- 73 Hochwasser konnten nicht klassiert werden. Sie sind in Figur 5 mit einem Wert von 0.5 dargestellt.



Figur 5: Ausmass der Schäden durch Hochwasser an der Emme zwischen 1275 und 2014.
1: *leicht;*, **2:** *mittel;*, **3:** *schwer* **und 4:** *katastrophal;* **0.5:** *Hochwasser nicht klassierbar.*

Um Phasen mit grossen Hochwasserschäden besser zu erkennen, wurden aus den Schadensdaten gleitende Mittel berechnet, die in Figur 6 dargestellt sind. Diese Grafik ist aber nur bis um 1890 eindeutig interpretierbar, weil nur in der Zeit vor der systematischen Verbauung der Emme ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Schadensklasse und Ausmass eines Hochwassers bestand. Deutlich erkennbar ist das Maximum in der Mitte des 19. Jahrhunderts, verur-



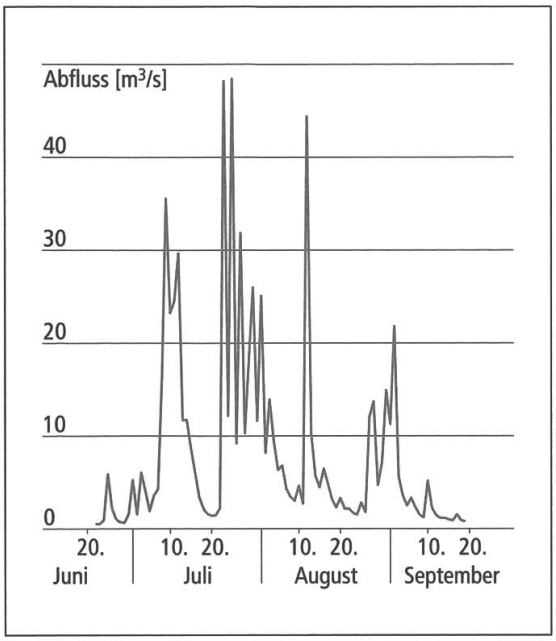
Figur 6: Gleitender Mittelwert (n = 35 Jahre) der Schadensintensität der Periode 1450–1890. Basis: Hochwasser mit Schadensklassen 3 (schwer) und 4 (katastrophal).

sacht durch Häufung katastrophaler Hochwasser, wie Figur 5 zeigt. Auffallend ist zudem die lange Periode ohne dokumentierte schwere und katastrophale Hochwasser im 16. und zu Beginn des 17. Jahrhunderts.

Wir gehen davon aus, dass die katastrophalen Hochwasser (Klasse 4) nahezu vollständig erfassbar sind, weil sie wegen ihrer Intensität und den damit zusammenhängenden Schäden immer die Aufmerksamkeit der zeitgenössischen Chronisten weckten. Das erste katastrophale Ereignis seit 1275 fand im Jahr 1480 statt. Danach wurde über 200 Jahre kein solches Hochwasser mehr erwähnt. Die meisten katastrophalen Hochwasser – nämlich fünf – traten im 19. Jahrhundert auf, nota bene in einem Zeitraum von achtzig Jahren. Zu diesen gehört auch das Hochwasser vom August 1837, welches Gotthelf sehr detailliert beschrieb. Dabei sind Ähnlichkeiten mit dem Hochwasser vom Juli 2014 erkennbar.

Hochwasser 1837 und 2014 im Vergleich

Beim Juli-Hochwasser 2014 war das Schadensausmass trotz der verbauten Emme sehr gross. Betroffen war vor allem der Oberlauf: *«In den frühen Morgenstunden [des 24. Juli] ist im oberen Emmental, besonders in der Region Marbach und Schangnau innerhalb kurzer Zeit sehr viel Regen niedergegangen. Bis zu 100 [mm] waren es örtlich»* (NZZ 2014). An der Station Emme-Eggiwil wurde ein kurzzeitiger Spitzenabfluss von 338 m^3/s beobachtet, was einem mehr als 100-jährlichen Ereignis entspricht (BAFU 2015). Nennenswert ist, dass der Sommer 2014 und insbesondere der Juli von einer Abfolge grosser Hochwasser betroffen war, wie der Verlauf der Tagesmittel in Figur 7 zeigt. Deutlich erkennbar ist das rasche Ansteigen und auch Ausklingen des Abflusses. Aussergewöhn-



Figur 7: Tagesmittel des Abflusses an der Station Emme-Eggiwil von Mitte Juni bis Mitte September 2014. Einzugsgebietsfläche: 124 km². (BAFU 2014)

lich ist, dass im Oberlauf innerhalb von zwei Tagen zwei sehr grosse Ereignisse auftraten.

Die hydrologische Situation am 24. Juli 2014 ist mit jener des Gotthelf-Hochwassers vom August 1837 vergleichbar: Beide Ereignisse wurden im Oberlauf ausgelöst – 2014 im Oberlauf der Emme, 1837 im Rötebach, der unterhalb Eggiwil linksseitig in die Emme mündet (Figur 1) – und bei beiden Ereignissen führten die hohen Abflüsse auch im Unterlauf zu Schäden.

Gotthelf (1838) schreibt zum Ereignis von 1837: *«Der Zusammenfluss der Emme und des diesmal mächtigeren Rötenbachs war fürchterlich.»*

Er erwähnt dann,

- dass es in Lützelflüh (Figur 1) nur wenig geregnet habe: *«Kleine Tropfen waren gefallen, ein schöner Regen strich gegen Abend übers Land»;*
- dass die Hochwasserwelle aus dem Rötenbach auch im Unterlauf zu einer Katastrophe führte: *«Wo keine Felsen ihr im Wege standen, ging die Emme in nie gesehener Fülle über beide Ufer weg. […] Die durch die Brücken gehemmte Emme bäumte Tanne auf Tanne, Trämel auf Trämel, bis weit oberhalb der Brücken türmten sich die krachenden Holzhaufen. […] Röthenbach, Eggiwyl, Schüpbach zerstört, Äschau, Bubeneisägen weggenommen, unzählige Menschenleben verloren.»* (Gotthelf 1838)

Beim Ereignis im Juli 2014 waren die Schäden im Unterlauf um einiges geringer. Berichten zufolge wurden vor allem die Verbauungen der Emme beschädigt und in Lauperswil und Signau kam es zu Ausuferungen (Andres et al. 2015; Gemeindeverwaltung Eggiwil 2014). Gemäss der Gemeindeverwaltung Eggiwil (2014) betrug der Schaden im Unterlauf um die zwei Millionen Franken. Mit annähernd 16 Millionen Franken waren die Schäden im Oberlauf rund achtmal grösser.

Diskussion

Methodische Aspekte

Der Abfluss der Emme wird schon seit über 100 Jahren gemessen. Die Länge der Messreihe ist beachtlich, und zwar sowohl im nationalen wie internationalen Kontext. Trotzdem genügen diese Daten nicht, um einen zeitlich umfassenden Überblick über das Hochwassergeschehen zu erhalten. Deshalb ist eine Beurteilung von Hochwassern, die in der Zeit vor der direkten Messung aufgetreten sind, essentiell, vorausgesetzt natürlich, dass solche Hochwasser überhaupt dokumentiert sind. Eine solche Beurteilung kann Abflussmessungen zwar nicht ersetzen, aber es lassen sich Erkenntnisse zum Ausmass von Hochwasserereignissen gewinnen. Gleichzeitig können Ereignisse aus der Sicht der verursachten Schäden vergleichbar gemacht werden. Für den Zeitraum vor der systematischen Verbauung der Emme – also vor etwa 1890 – kann die Zeitreihe der Schäden dazu verwendet werden, die grossen und sehr grossen Hochwasser zu identifizieren. Dank der von Gees (1997) rekonstruierten Spitzenabflüsse der grössten Hochwasser in den Jahren 1837, 1846, 1866 und 1891 bestehen auch Angaben zu Spitzenabflüssen aus der Zeit vor der systematischen Messung des Abflusses, so dass ein direkter Vergleich zwischen Spitzenabfluss und den Schäden bzw. der Schadensbeurteilung möglich ist, wie er in Tabelle 2 vorgenommen wird. Auf den ersten Blick ist der Zusammenhang zwischen der Abflussspitze eines Hochwassers und dem Schadensausmass vielleicht nicht einleuchtend, wurde doch bereits ein Hochwasserereignis mit 370 m^3/s als katastrophal bezeichnet. Betrachtet man aber diese vier Hochwasser etwas genauer, wie das Scherrer et al. (2012) getan haben, so macht diese Zuweisung durchaus Sinn.

1837: Dass das Hochwasser von 1837 katastrophal war, wurde bereits beschrieben.

1846: *«Die ‹Berner Volkszeitung› bringt ausführliche Berichte über die Verheerungen, welche die Regenwitterung vom 24. [August] in Bern, Emmenthal, in Kirchberg, Lützelflüh und anderen Orten verursacht hat. […] Kein Bach ist in seinem Bette geblieben und die Niederungen sind überall unter Wasser. […] Die Emme hat furchtbar gehaust.»* (Scherrer et al. 2012)

› Die Beurteilung *katastrophal* in Tabelle 2 ist zutreffend.

1866: Nach Scherrer et al. herrschte lokal grosse «Wassernoth». Bedeutende Schäden in verschiedenen Gegenden des Kantons [Bern], besonders im Seeland, in Trub, Lenk und Gsteig. Im Einzugsgebiet der Emme war insbesondere das Einzugsgebiet der Ilfis (Figur 1) stark betroffen.

› Die Beurteilung *leicht* in Tabelle 2 unterschätzt das Hochwasser vermutlich, aber es war sicherlich nicht *katastrophal.*

1891: Das Ausmass des Hochwassers im Juni 1891 war verheerend, wie der Bericht von Scherrer et al. (2013) mit dem Zitat «*Grosse Wasserverheerungen im Emmental*» belegt. Der anschliessende ausführliche Bericht zeigt dann das katastrophale Ausmass dieses Ereignisses.

› Unsere Beurteilung *katastrophal* ist stimmig.

Hochwassergeschehen ab 1837

Basierend auf den vorliegenden quantitativen Daten lassen sich seit 1837 drei Phasen unterteilen (Figur 4 und Figur 5):

1837–1914:
Phase 1 mit grossen bis sehr grossen Hochwassern; kein massgeblicher Hochwasserschutz bis etwa 1890.

1915–1964:
Phase 2 mit relativ kleinen Hochwassern und realisierten Massnahmen zum Hochwasserschutz.

nach 1964:
Phase 3 mit grossen bis sehr grossen Hochwassern und weiter optimiertem Hochwasserschutz.

Die Phase 2 liegt im Bereich der von Pfister (2009) postulierten «Katastrophenlücke», also einer Phase, in der auf der Alpennordseite keine oder nur sehr wenige grosse Hochwasser aufgetreten sind. Die Figur 4 belegt, dass zwischen 1915 und 1964 nur Spitzenabflüsse unter 400 m^3/s aufgetreten sind, was ein Hinweis auf die Katastrophenlücke ist. In dieser Phase waren das mittlere und das maximale Hochwasser deutlich kleiner (Tabelle 1). Die Ursache der Katastrophenlücke ist weitgehend noch nicht geklärt, zumal sie in dieser zeitlichen Ausprägung nur auf der Alpennordseite beobachtet wurde. Die Katastrophenlücke hatte zur Folge, dass der Hochwasserschutz in der Schweiz vielerorts vernachlässigt wurde und gleichzeitig ein Bauboom stattfand, was in der Kombination verheerende Auswirkungen hatte.

Phase 1 und Phase 3 sind sich sehr ähnlich. Die Kennwerte der Hochwasser bewegen sich in ähnlichen Grössenordnungen. Einzig die Jahr-zu-Jahr-Variabilität ist in der ersten Periode höher (Tabelle 1). Ein wesentlicher Unterschied zwischen Phase 1 und 3 besteht aber beim Hochwasserschutz: In der Phase 1 (bis etwa 1890) existierten nur lokale Schutzmassnahmen, während in Phase 3 ein umfassender und im Laufe der Zeit sogar optimierter Hochwasserschutz vorhanden ist (Frank 1992).

Was bedeutet das nun aus der Sicht des Hochwasserrisikos R, das wie folgt definiert ist:

$$R = H * V * E$$

R: Hochwasserrisiko
H: Hochwassergefahr
V: Verletzlichkeit der Gebäude
E: Anzahl der Gebäude, welche durch Hochwasser gefährdet sind (exponierte Gebäude)

Das Hochwasserrisiko ist also das Produkt aus Hochwassergefahr, Anzahl gefährdeter Gebäude und der Verletzlichkeit dieser Gebäude. Mit folgendem fiktiven Beispiel soll das Hochwasserrisiko erklärt werden: In einem Flusstal ohne Gebäude ist das Hochwasserrisiko klein. Sind im selben Flusstal die hochwassergefährdeten Gebiete aber stark besiedelt und sind zudem die Gebäude wenig hochwassersicher gebaut, weisen also eine hohe Verletzlichkeit auf, ist das Hochwasserrisiko sehr hoch.

In Phase 1 war die Hochwassergefahr viel grösser als in Phase 3. Schon kleinere Hochwasser waren gefährlich, da umfassende Hochwasserschutzmassnahmen fehlten. Trotz einem im Vergleich zu heute relativ kleinen Anteil exponierter Gebäude war das Hochwasserrisiko hoch. Es entstanden denn auch sehr viele Schäden, wie Figur 5 belegt.

Mit der Realisierung des baulichen Hochwasserschutzes nahmen Hochwassergefahr und damit auch das Hochwasserrisiko markant ab. Letzteres ist kleiner als im 19. Jahrhundert. Gleichzeitig besteht aber heutzutage ein grosses Restrisiko. Wie ist das gemeint? Meist sind die Hochwasserschutzmassnahmen auf ein 100-jährliches Ereignis dimensioniert (Dimensionierungshochwasser). Wie das Beispiel des Juli-Hochwassers 2014 im oberen Emmental belegt, werden Schäden heutzutage mehrheitlich durch Ereignisse verursacht, die das Dimensionierungshochwasser übersteigen. Diese aussergewöhnlichen Ereignisse müssen also berücksichtigt werden, wenn es um einen integralen Hochwasserschutz geht, und es sind Massnahmen zu fördern, welche das Restrisiko vermindern. Dieses Restrisiko ist im Emmental nicht nur hoch, sondern es hat sich im Laufe der Jahrzehnte und insbesondere seit den 1950er Jahren massiv verstärkt. Grund dafür ist die Entwicklung der exponierten Gebäude in den hochwassergefährdeten Talebenen der Emme. Dies soll am Beispiel von Burgdorf, der Gemeinde mit einem der höchsten Hochwasserrisiken im Emmental, erläutert werden: 48 Prozent der Gebäude liegen in der Gefahrenzone und sind damit potenziell durch Hochwasser gefährdet (Mobiliar Lab 2016). Das sind rund 2700 Gebäude mit einem Sachwert von rund 4 Milliarden Franken. Nach Niggli (2000) haben die

Sachwerte in den hochwassergefährdeten Gebieten von Burgdorf zwischen 1900 und 1985 um rund das Dreieinhalbfache zugenommen. Der Ausprägung und der zeitlichen Entwicklung möglicher Gebäudeschäden ist also bei der Betrachtung des Hochwasserrisikos besondere Beachtung zu schenken. Das Bundesamt für Umwelt fordert deshalb schon seit längerem einen sogenannten «risikobasierten Hochwasserschutz», der nicht nur die Hochwassergefahr, sondern eben auch die Entwicklung der gefährdeten Sachwerte mitberücksichtigt (Camenzind & Loat 2014). Der risikobasierte Hochwasserschutz zeigt den Weg auf, aber für seine Umsetzung ist ein Umdenken in Politik und Gesellschaft notwendig.

Hochwassergeschehen seit 1275

Aufgrund unserer Analysen sind in den Jahren 1480, 1721, 1733, 1812, 1831, 1837, 1912, 1997, 2005 und 2007 sehr grosse Hochwasser aufgetreten. Dabei wurden die Grössen der Hochwasser vor 1837 aufgrund der überlieferten Schäden, danach durch das Überschreiten eines Schwellenwerts des Abflusses (480 m^3/s) bestimmt. Ein Spitzenabfluss an der Station Emme in Emmenmatt (Fläche 443 km^2) von 500 Kubikmeter pro Sekunde entspricht einer Spitzenabflussspende von rund 1100 Liter pro Sekunde und Quadratkilometer (Figur 2). Dies kann als Richtwert für mittelgrosse voralpine Einzugsgebiete angesehen werden. Man beachte allerdings, dass die Spitzenabflussspenden mit kleiner werdender Gebietsfläche in der Regel zunehmen. So betrug die Spitzenabflussspende im Teileinzuggebiet der Emme in Eggiwil (Fläche: 124 km^2) beim katastrophalen Ereignis im Juli 2014 rund 2500 Liter pro Sekunde und Quadratkilometer. Es flossen also von jedem Quadratkilometer im Mittel bis zu 2500 Liter pro Sekunde ab. Diese Zahl alleine lässt die Dynamik eines solchen Hochwasserereignisses erahnen. Sie weckt auch Verständnis dafür, dass die gefährlichen Prozesse nicht nur auf Gerinne und Uferzone beschränkt waren, sondern dass überall Schäden durch Oberflächenabfluss und Rutschungen entstanden.

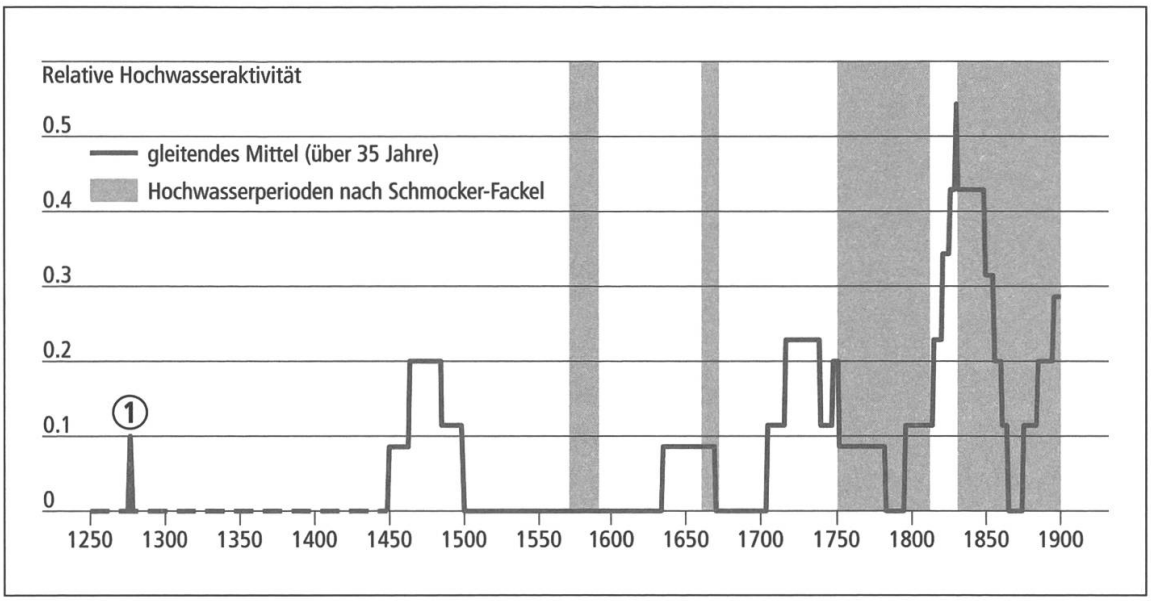
Interessant und in der heutigen Debatte bezüglich der Auswirkungen der Klimaänderung auf das Hochwassergeschehen durchaus bedenkenswert ist die Figur 8, welche deutlich belegt, dass im Hochwassergeschehen Phasen unterschiedlicher Hochwasserintensität auftreten. Solche Phasen sind von unterschiedlicher Länge. Die Daten der Emme und vieler anderer nordalpiner Einzugsgebiete belegen, dass wir uns seit den 1990er Jahren in einer Phase mit häufigeren und intensiven Hochwassern befinden. Wie die Figur weiter zeigt, besteht bei vielen von uns festgestellten Phasen eine gute Übereinstimmung mit jenen von Schmocker-Fackel & Naef (2010). Eine Ausnahme bildet das 16. Jahrhundert, in dem nach Schmocker-Fackel & Naef eine Phase grösserer Hochwasser aufgetreten war, wir in unserer schadenbasierten Hochwasserreihe aber nur kleine oder nicht klassierbare Hochwasser festgestellt haben (Figur 5). Bemerkenswert ist ferner, dass in unseren Quellen im 14. Jahrhundert keine grossen Ereignisse erwähnt sind, obschon in der Schweiz vielerorts sehr grosse und teil-

weise sogar die grössten Hochwasser der letzten 1000 Jahre aufgetreten sind (Zbinden 2016). Wie sind diese Unterschiede im 14. und 16. Jahrhundert zu erklären? Eine entscheidende Rolle dürfte dabei die Siedlungsgeschichte des Emmentals gespielt haben: Der hochwassergefährdete Talboden, im Emmental Schachen genannt, wurde erst im 16. Jahrhundert besiedelt, so dass trotz grosser Hochwasser vermutlich keine nennenswerten Schäden aufgetreten sind, weshalb Berichte von Chronisten ausblieben.

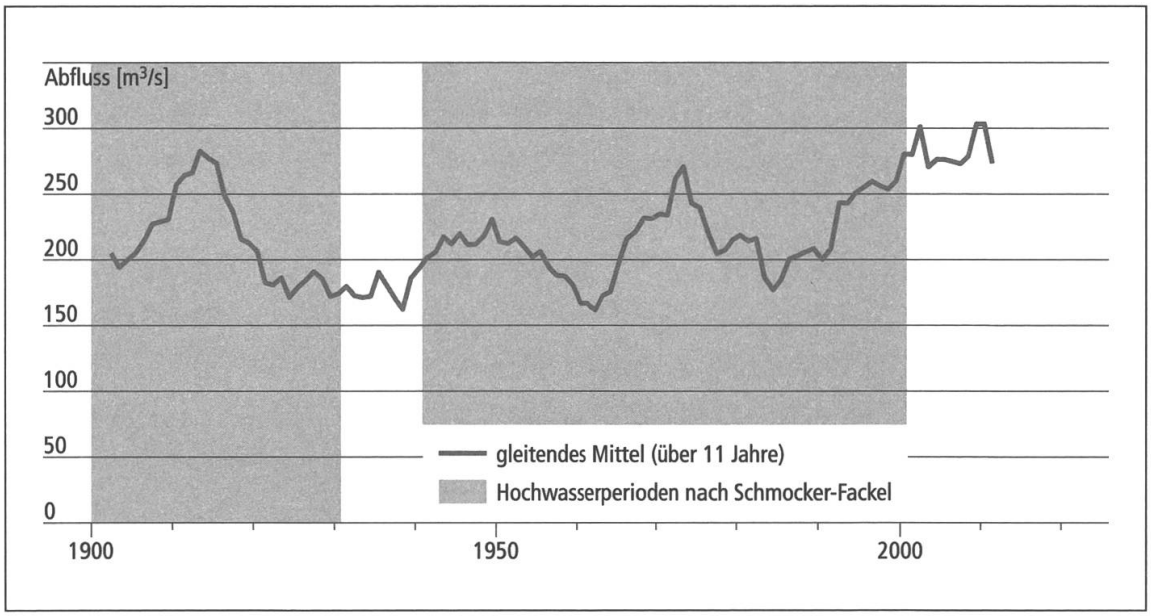
Für das Auftreten von Phasen unterschiedlicher Hochwasserintensitäten gibt es in der Literatur unterschiedliche Erklärungsmuster (Pfister 2009; Glur et al. 2013). So fanden Schulte et al. (2015) im Berner Oberland einen Zusammenhang zwischen Phasen intensiverer Hochwasser und klimatisch kälteren Perioden. Diesen Aspekt haben wir in unseren Untersuchungen allerdings nicht weiterverfolgt.

Schlussfolgerung und Ausblick

Aktuell befinden wir uns in einer Phase häufiger Hochwasser. Unsere Analysen belegen, dass solche Phasen im Laufe der Zeit immer wieder aufgetreten sind und dass sie über Jahrzehnte anhalten können (Figur 8). Erklärungsmuster dafür gibt es viele, endgültige Antworten allerdings noch keine. Das erschwert eine Abschätzung, wie sich die Hochwassersituation der Emme in Zukunft entwickeln könnte. Wir wissen aber, dass die Intensität der Niederschläge mit der Klimaerwärmung zunimmt (Akademien der Wissenschaften Schweiz 2016), womit bei der sehr direkt auf Niederschläge reagierenden Emme natürlich eher mit einer Zunahme der Hochwasserspitzen gerechnet werden muss. Dazu kommt noch, dass sich auch die Hochwassersaison verlängern wird. Bisher traten die grossen Hochwasser im Emmental vor allem in den Sommermonaten auf. Dies wird zwar vermutlich weiterhin so bleiben, aber die Wahrscheinlichkeit, dass auch im Frühling und im Herbst grössere Hochwasser auftreten können, wird zunehmen. Im schlimmstmöglichen Fall werden sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten die beschriebenen Phänomene und Prozesse überlagern, was zu häufigeren und stärkeren Hochwassern führen könnte. Es wurde und wird im Emmental sehr viel getan, um die Hochwassergefahr zu minimieren. Im Rückblick kann der bauliche Hochwasserschutz an der Emme als Erfolgsgeschichte bezeichnet werden. Bereits vor über hundert Jahren wurde die Emme begradigt und kanalisiert, wodurch die Hochwassergefahr massiv verkleinert werden konnte. Als Folge der Einengung der Emme durch Hochwasserdämme erhöhte sich aber die Fliessgeschwindigkeit, was zu einer fortschreitenden Sohlenerosion und einer Unterspülung der Schutzdämme führte. Zuerst mit Querwerken, Schwellen, später auch mit naturnahen Massnahmen wie Flussaufweitungen in der Art der «Emme-Birne» bei Kirchberg, versuchte man, das Gleichgewicht wieder herzustellen. Gleichzeitig – und das gilt nicht nur für das Emmental – haben sich die Sachwerte (Bauten, Infrastrukturen) in Ufernähe, welche bei einem extremen



Figur 8a: Phasen grosser Hochwasser im Emmental zwischen 1275 und 1900 im Vergleich mit den von Schmocker-Fackel & Naef (2010) für die Periode ab 1500 ausgewiesene Phasen häufiger Hochwasser (schraffierte Bereiche). ① Erstes erwähntes aber nicht klassierbares grosses Hochwasser.



Figur 8b: Gleitendes Mittel der beobachteten Jahresmaxima der Station Emme-Emmenmatt im Vergleich mit den von Schmocker-Fackel & Naef (2010) ausgewiesenen Phasen häufiger Hochwasser (schraffierte Bereiche).

Hochwasser beschädigt werden können, in den letzten Jahrzehnten massiv erhöht. Diesem Punkt wird in Zukunft besondere Beachtung zu schenken sein. Heute wird an der Emme ein moderner Hochwasserschutz betrieben, welcher einer ganzheitlichen gemeindeübergreifenden Strategie folgt, wie sie in der Studie Emme 2050 ausgearbeitet wurde (Frank 1992). Wie die Erfahrungen in

der Schweiz zeigen, sind die politischen und finanziellen Rahmenbedingungen für Hochwasserschutzprojekte immer dann am besten, wenn wiederholt grosse Hochwasser aufgetreten sind. Der Schutz vor Hochwasser stellt aber eine Daueraufgabe dar, die man auch in Phasen mit weniger intensiven Hochwassern nicht vernachlässigen darf. Und historische Quellen wie Gotthelfs «Wassernot» tragen wesentlich dazu bei, dass das Wissen um die möglichen Gefahren auch an zukünftige Generationen weitergegeben werden kann.

Dank

Wir danken Demian Schneider und Christoph Matti, den beiden Projektleitern Wasserbau beim Oberingenieurkreis IV, der für das Gebiet Emmental und Oberaargau zuständig ist, für die konstruktiven Bemerkungen bei der Schlusslesung des Aufsatzes.

Bibliographie

Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2016: Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports, Vol. 11, Nr. 5.

Andres, Norina / Badoux, Alexandre / Hegg, Christoph, 2015: Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2014. Rutschungen, Murgänge, Hochwasser und Sturzereignisse. In: Wasser Energie Luft, 107/1. Baden: 47–54.

Aebischer, Heiner, 1997: Räumlich-zeitliche Analyse der Rhein-Hochwasser im 20. Jahrhundert. In: Publikation Gewässerkunde, 190. Diplomarbeit. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

BAFU [Bundesamt für Umwelt], 2014: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2013. Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Bundesamt für Umwelt: Umwelt-Zustand Nr. 1411, Bern.

BAFU [Bundesamt für Umwelt], 2015: Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz 2014. Abfluss, Wasserstand und Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Bundesamt für Umwelt: Umwelt-Zustand Nr. 1511, Bern.

Barriendos, Mariano / Ruiz-Bellet, Josep Lluis / Tuset, Jordi / Mazón, Jordi / Balasch, Josep Carles / Pino, David / Ayala, J. L., 2014: The «Prediflood» database of historical floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula) AD1035-2013, and its potential applications in flood analysis. In: Hydrology and Earth System Sciences 18:4807–4823.

Camenzind, Reto / Loat, Roberto, 2014: Risikobasierte Raumplanung – Synthesebericht zu zwei Testplanungen auf Stufe kommunaler Nutzungsplanung. Nationale Plattform Naturgefahren/ Bundesamt für Raumentwicklung/Bundesamt für Umwelt, Bern.

Diezig, Robert, 2006: Hochwasserprozesstypen in der Schweiz: eine prozessorientierte Typisierung grosser Hochwasserereignisse in ausgewählten schweizerischen Einzugsgebieten. In: Publikation Gewässerkunde, 361. Diplomarbeit. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

Dubler, Anne-Marie, 2012: Emmental. Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte. In Historisches Lexikon der Schweiz (HLS). Online verfügbar unter: http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D8495.php. Zuletzt aktualisiert: 29.11.2012. Zuletzt geprüft: 17.01.2017.

Frank, Felix, 1992: Emme 2050: Die Emme wieder ins Gleichgewicht bringen. Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis IV, Bern.

Gees, Andreas, 1997: Analyse historischer und seltener Hochwasser in der Schweiz. Bedeutung für das Bemessungshochwasser. In: Geographica Bernensia, Grundlagenforschung, Reihe G, 53. Dissertation. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

Gemeindeverwaltung Eggiwil, 2014: Unwetter vom 24. Juli 2014 / Informationen. Online verfügbar unter http://www.eggiwil.ch/no_cache/aktuell/single-pid/article/unwetter-vom-24-juli-2014-informationen. html?tx_ttnews[backPid]=64\&cHash=7570c37bd0b6344902ac1bec946113a5. Zuletzt aktualisiert: 30.07.2014. Zuletzt geprüft: 19.01.2017.

Germann, Peter/Weingartner, Rolf, 2003: Hochwasser und Wald – das forsthydrologische Paradigma. In: Jeanneret, François/Wastl-Walter, Doris/Wiesmann, Urs/Schwyn, Markus: Welt der Alpen – Gebirge der Welt – Ressourcen, Akteure und Perspektiven. Verlag Haupt, Bern/Stuttgart/Wien: 127–141.

Glaser, Rüdiger, 2013: Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt.

Glur, Lukas/Wirth, Stefanie/Büntgen, Ulf/Gilli, Adrian/Haug, Gerald/Schär, Christoph/Beer, Jürg/Anselmetti, Flavio, 2013: Frequent floods in the European Alps coincide with cooler periods of the past 2500 years. In: Scientific Reports 3: 2770.

Gotthelf, Jeremias, 1838: Die Wassernot im Emmental. In: Hunziker, R.; Blösch, H. (Hg.), 1925: Jeremias Gotthelf (Albert Bitzius). Sämtliche Werke in 24 Bänden, Bd. 15, Erlenbach-Zürich.

Gotthelf, Jeremias, 1840: Die Armennot. In: Hunziker, R.; Blösch, H. (Hg.), 1925: Jeremias Gotthelf (Albert Bitzius). Sämtliche Werke in 24 Bänden, Bd. 15, Erlenbach-Zürich.

Hänggi, Pascal/Weingartner, Rolf, 2011: Inter-annual variability of runoff and climate within the upper Rhine River basin, 1808–2007. In: Hydrological Science Journal, Vol. 56, Nr. 1: 34–50.

Hofer, Patrick, 2014: Hochwasser an der Emme. Vergleich der Hochwasser der letzten 30 Jahre mit früheren. Bachelorarbeit. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

Köplin, Nina/Schädler, Bruno/Viviroli, Daniel/Weingartner, Rolf, 2014: Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. In: Hydrological Processes Vol. 28, Nr. 4: 2567–2578.

Mobiliar Lab, 2016: Dem Hochwasserrisiko auf der Spur. Online verfügbar unter: http://www.hochwasserrisiko.ch/index.html. Zuletzt aktualisiert: 2016. Zuletzt geprüft: 16.01.2017.

Niggli, Matthias, 2000: Schadenpotential entlang von Fliessgewässern. In: Publikation Gewässerkunde, 236. Diplomarbeit. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

NZZ [Neue Zürcher Zeitung], 2014: Wassermassen wälzen sich durch Kanton Solothurn. 24.07.2014.

NZZ [Neue Zürcher Zeitung], 2015: Mehr Tote, weniger Schäden. 10.03.2015.

Pfister, Christian, 1999: Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Verlag Paul Haupt, Bern.

Pfister, Christian, 2005: Von Goldau nach Gondo. Naturkatastrophen als identitätsstiftende Ereignisse in der Schweiz des 19. Jahrhunderts. In: Pfister, Christian/Summermatter, Stephanie: Katastrophen und ihre Bewältigung. Perspektiven und Positionen. Berner Universitätsschriften Nr. 49. Verlag Haupt, Bern/Stuttgart/Wien: 53–78.

Pfister, Christian, 2009: Die «Katastrophenlücke» des 20. Jahrhunderts und der Verlust traditionalen Risikobewusstseins. In: GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society Vol. 18, Nr. 3: 239–246.

Pfister, Christian/Hächler, Stefan, 1991: Historische Hochwasser. In: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement; Bundesamt für Wasserwirtschaft; Eidgenössisches Departement des Innern; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Landeshydrologie und -geologie: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Ergebnisse der Untersuchungen, Bern: 121–126.

Reist, Tom, 2002: «Die Emmenschlange ist losgebrochen […]» – Simulation des historischen Hochwassers vom 13. August 1837 im Rötenbach i. E. Publikation Gewässerkunde Nr. 271. Diplomarbeit. Phil.nat. Fakultät, Universität Bern.

Röthlisberger, Gerhard, 1991: Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. In: Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Band 330, Verlag Flück-Wirth, Teufen.

Schaller-Donauer, Alfred, 1937: Chronik der Naturereignisse im Urnerland 1000–1800. Verlag Buchdr. M. Gamma & Cie, Flüelen.

Scherrer, Simon / Frauchiger, Roger / Margreth, Michael, 2012: Massgebende Hochwasserabflüsse an der Ilfis und an verschiedenen Seitenbächen. Technischer Bericht 11/157. Reinach.

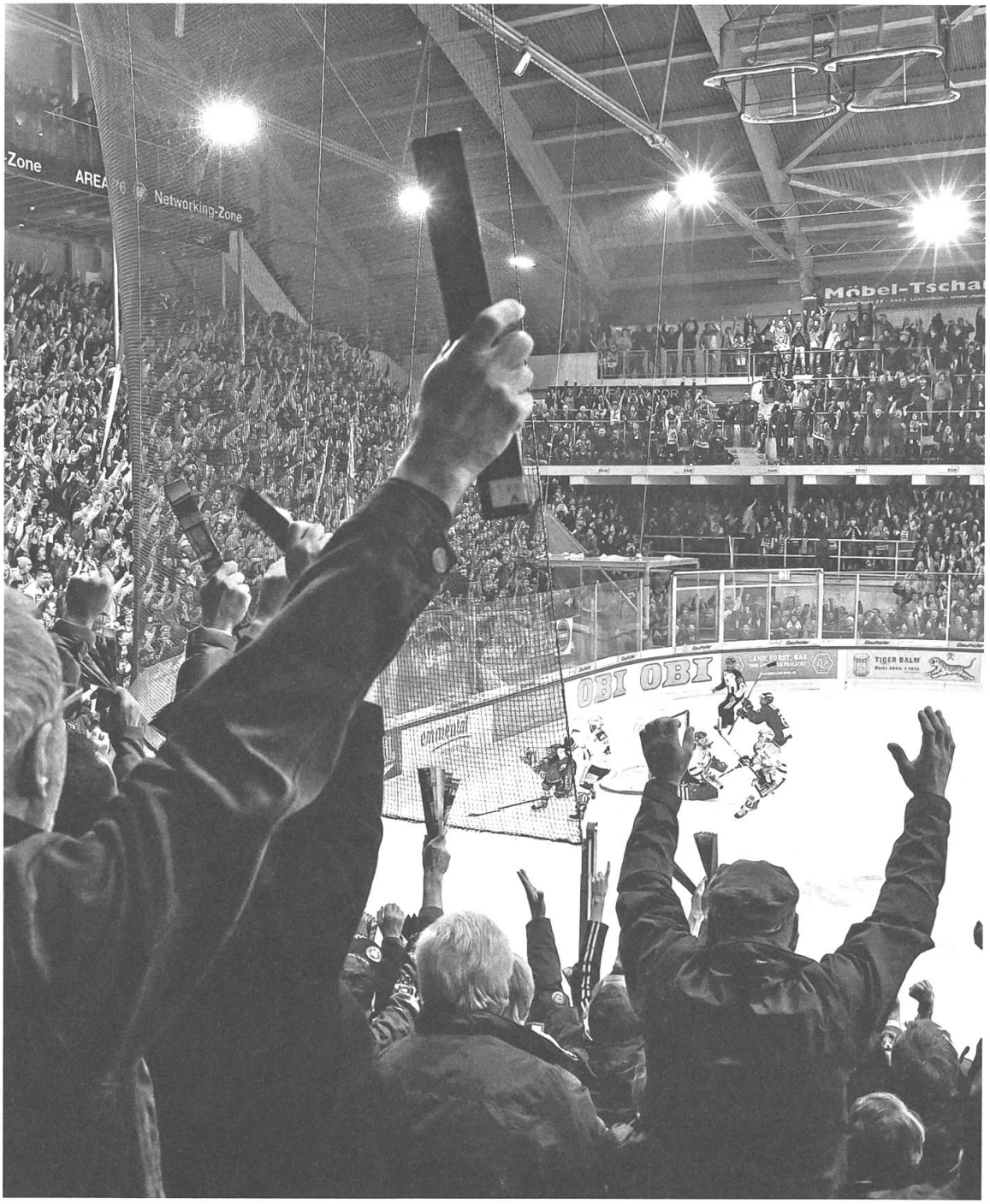
Schmocker-Fackel, Petra / Naef, Felix, 2010: Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. In: Hydrology and Earth System Sciences 14: 1581–1594.

Schulte, Lothar / Peña, Juan Carlos / Carvalho, Filipe / Schmidt, Thomas / Julià, Ramon / Llorca, Jaime / Veit, Heinz, 2015: A 2600-year history of floods in the Bernese Alps, Switzerland: frequencies, mechanisms and climate forcing. In: Hydrology and Earth System Science 19: 3047–3072.

Vischer, Daniel L., 2003: Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert. In: Bundesamt für Wasser und Geologie: Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 5, Biel.

Weingartner, Rolf / Reist, Tom, 2004: Gotthelfs «Wassernot im Emmental» – Hydrologische Simulation des Extremhochwassers vom 13. August 1837. In: Pfister, Christian / Summermatter, Stephanie: Katastrophen und ihre Bewältigung. Perspektiven und Positionen. Berner Universitätsschriften Nr. 49. Verlag Haupt, Bern-Stuttgart-Wien: 21–41.

Zbinden, Eveline, 2016: Hochwasser des 14. Jahrhunderts in der Schweiz mit besonderem Fokus auf die Seewasserstände im herausragenden Hochwasserjahr 1343. In: Bundesamt für Umwelt: Vorstudie zu EXAR. Abschlussbericht 24.11.2016.


Networking-Zone
Möbel-Tscha
OBI OBI
TIGER BALM