

## BESTIMMUNG VON BEMESSUNGSABFLÜSSEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON HOCHWASSERZYKLEN UND SCHWELLENPROZESSEN

Serena Liener<sup>1</sup>, Ursin Caduff<sup>2</sup> and Heinz Roth<sup>3</sup>

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Hochwasser der Jahre 1999, 2005 und 2007 führten in einzelnen Einzugsgebieten dazu, dass die Bemessungsabflüsse nach jedem Ereignis korrigiert werden mussten. Deshalb wollte der Kanton Bern neue Bemessungsabflüsse nicht nur basierend auf Abflussdaten bestimmen. Zusätzlich sollten auch Hochwasserzyklen sowie Schwellenprozesse, welche im Einzugsgebiet ablaufen können, bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen berücksichtigt werden.

**Keywords:** Bemessungsabfluss, Hochwasserhäufigkeit, Extremwertstatistik

### ABSTRACT

Several flood events in Switzerland in 1999, 2005 and 2007 showed, that design flood values for major rivers have been fixed much to low. Therefore the Canton Bern (CH) wanted to fix design flood discharge not only considering measured runoff. The knowledge about flood event cycles and threshold processes in the catchment area should also be considered while determining design flood values.

**Keywords:** design flood discharge, flood frequency, extreme value statistics

### EINLEITUNG

Der Kanton Bern wurde in den letzten Jahren mehrmals schwer von Hochwasserereignissen betroffen. Im Mai 1999 führte eine intensive Schneeschmelze in Kombination mit einem stärkeren Niederschlagsereignis zu grossflächigen Überflutungen entlang des Thunersees und der Aare. 2005 waren es grossräumige und intensive Niederschläge im Berner Oberland, die in grossen Teilen des Kantons zu Schäden führten. Zwei Jahre später, im August 2007 waren eher das Mittelland und der Jura vom Hochwasser betroffen. Die Ereignisse haben unter anderem dazu geführt, dass die statistisch bestimmten Bemessungsabflüsse nach jedem Hochwasser nach oben korrigiert werden mussten.

### ZIELSETZUNG

Für Hochwasserschutz-Massnahmen sowie für die Erarbeitung von Gefahrenkarten und die allgemeine Festlegung von Bemessungsgrössen sind Angaben zur „Jährlichkeit“ von zu erwartenden Spitzenabflüssen erforderlich. Im Rahmen eines Projektes sollten für die mittelgrossen Einzugsgebiete (10 – 500 km<sup>2</sup>) des Kantons Bern Abflüsse von verschiedenen Jährlichkeiten bestimmt werden. Die Festlegung soll historische Ereignisse und regionalen Zyklen sowie mögliche Schwellenprozesse neben den Abflussmessungen mit berücksichtigen.

---

<sup>1</sup> Dr. Serena Liener, *geo7*, Neufeldstrasse 5 – 9, 3008 Bern, Switzerland (e-mail: serena.liener@geo7.ch)

<sup>2</sup> Ursin Caduff, *geo7*, Switzerland

<sup>3</sup> Heinz Roth, Tiefbauamt Kanton Bern, Switzerland

## VORGEHENS KONZEPT

Basis der Festlegung von Abflüssen bestimmter Jährlichkeiten für Gewässer mit langen Messreihen sind in der Regel statistische Analysen von Messdaten. Nachfolgend wird ein Verfahren beschrieben, welches es ermöglichen soll, Abflüsse bestimmter Jährlichkeiten unter Berücksichtigung von regionalen Zyklen zu bestimmen. Ein ähnliches Verfahren haben beispielsweise Blöschl und Merz (2008) vorgeschlagen. Der Einfluss der Klimaänderung konnte im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden, da keine konkreten hydrologischen Daten vorliegen.

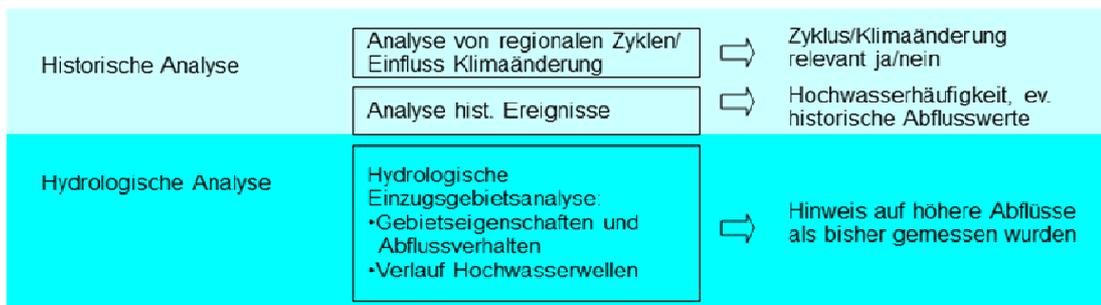
Das Vorgehen gliedert sich in 3 Teile, die nachfolgend beschrieben sind:

- a) Erarbeiten von Grundlagen (Historische und hydrologische Analyse)
- b) Synthese und Bewertung der Grundlagen
- c) Festlegen von Dimensionierungswerten

## ERARBEITEN VON GRUNDLAGEN

Zur Bestimmung von Dimensionierungswerten werden in einem ersten Schritt die massgebenden historischen und hydrologischen Grundlagen erarbeitet (siehe **Fig. 1** Erarbeitung der Grundlagen zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen

Fig. 1). Die erforderlichen Arbeiten sind nachstehend detailliert beschrieben.



**Fig. 1** Erarbeitung der Grundlagen zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen

**Fig. 1** Basics for determining design flood discharges

### Historische Analyse

Ein Blick zurück bis ins 16. Jahrhundert zeigt, dass es schon früher Phasen mit erhöhter Hochwasserhäufigkeit gegeben hat. Naef et al. (2008) zeigt, dass an verschiedenen Gewässern in der Schweiz ereignisreiche Phasen zwischen 1560 und 1590, 1740 und 1790 sowie 1870 und dem beginnenden 20. Jahrhundert aufgetreten sind. Ruhigere Phasen traten u.a. in der Mitte des 20. Jahrhunderts auf. Es sind zudem Unterschiede zwischen einzelnen Regionen resp. Gewässern auszumachen.

Für die historische Analyse werden die historischen Hochwasserereignisse der untersuchten Gewässer aufgearbeitet und analysiert. Dabei interessieren einerseits die Häufigkeit und andererseits das Ausmass der Hochwasserereignisse. Die historischen Hochwasserdaten können Hinweise auf die Hochwasserhäufigkeit geben. Falls möglich, sollen die Abflussmengen von historischen Hochwassern quantifiziert und zur Verbesserung der Extremwertstatistik eingesetzt werden. Zudem können historische Abflüsse Hinweise auf mögliche Schwellenprozesse liefern, wenn sie deutlich über den gemessenen Abflüssen liegen.

### Hydrologische Analyse

In der hydrologischen Analyse werden in einem ersten Schritt die Gebietseigenschaften sowie das Abflussverhalten bei Hochwasserereignissen analysiert. Dabei soll für die untersuchten Gebiete nach Hinweisen gesucht werden, ob deutlich grössere Abflüsse als die bisher maximal beobachteten auftreten können. Wesentliche Bestandteile dieser Untersuchungen sind:

- **Analyse der grössten gemessenen Hochwässer**  
Für den grössten Abfluss der Messreihe sollen die Niederschläge und die Abflüsse genauer analysiert werden. Diese Analyse zeigt auf, bei welchen Niederschlagsszenarien das Gebiet mit Hochwasser reagiert. Eventuell können Parameter eruiert werden, die während des Ereignisses gar nicht so gross waren (z.B. räumliche Ausdehnung des Niederschlages, Niederschlagsintensität, Vorfeuchte, ...). Dies würde als Hinweis dienen, dass noch grössere Ereignisse vorstellbar wären.
- **Analyse massgebender technischer Bauten**  
Grosse Speicherseen/Stollen, welche die Abflüsse massgeblich beeinflussen, müssen in ihrer Wirkung analysiert und allenfalls bei der Festlegung der Dimensionierungsabflüsse berücksichtigt werden. Dabei interessiert der Einfluss der Speicherseen/Stollen auf die gemessenen Spitzenabflüsse sowie auf zukünftige Spitzenabflüsse. Durch die Analyse der Jahresmaxima (Mittelwert, Standardabweichung), wie auch durch Abflussmessungen ober- und unterhalb der Speicherseen wird versucht, den Einfluss abzuschätzen.

Aus diesen Untersuchungen kann sich ein Hinweis ergeben, dass grössere Abflüsse als bisher gemessen wurden, möglich sind. Zudem wurden weitere Indikatoren definiert, welche Hinweise auf mögliche Schwellenwerte liefern können. Sie sind nachfolgend beschrieben und in Tab. 1

Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse und Kriterien für Bewertung der Indikatoren

**Tab. 1** aufgelistet:

- **Analyse des Bodens und des geologischen Untergrundes**  
Basierend auf verfügbaren Datengrundlagen (z.B. vorhandene hydrologische Studien, Geologischer Atlas, Bodeneignungskarte CH, Geotechnische Karte CH) sollen die für das Abflussverhalten massgebenden Gebietseigenschaften wie Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit des Untergrundes bestimmt werden. Liegen grössere Flächen des Einzugsgebietes auf durchlässigem Untergrund oder über stark speicherfähigen Böden, verfügt ein Gebiet über eine stark gedämpfte Abflussreaktion. Hier können bei extremen Niederschlagsverhältnissen die vorhandenen Speicher gefüllt werden und eine übermässige Abflussreaktion ist als Folge möglich.  
Abflussprozesskarten, welche Hinweise auf die Abflussbereitschaft von Einzugsgebieten geben, könnten dort wo sie vorliegen, anstelle der Gebietseigenschaften (Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit) als Grundlage für die Ausscheidung von Schwellenprozessen verwendet werden. Gebiete mit grossen Gebietsanteilen, die stark abflusswirksam sind, müssten generell höhere gemessene Spitzenabflüsse aufweisen, als Gebiete mit geringer Abflussbereitschaft. Im Rahmen des beschriebenen Projektes wurden die Durchlässigkeit und die Speicherfähigkeit als Indikatoren bestimmt.
- **Volumenabflusskoeffizient**  
Der Volumenabflusskoeffizient ist der Quotient von Abfluss und Niederschlag, bezogen auf das grösste Hochwasser. Ein kleiner Volumenabflusskoeffizient deutet auf eine Speicherung des Niederschlages hin. Werden dieselben Speicher im Ereignisverlauf bei ähnlichen Niederschlägen überfüllt, können allenfalls deutlich höhere Abflüsse auftreten.

Tab. 1 Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse und Kriterien für Bewertung der Indikatoren

**Tab. 1** fasst die verschiedenen Hinweise darauf, dass grössere Abflüsse möglich sind, als bisher gemessen wurden, zusammen. Zudem zeigt sie die Bewertung der Hinweise. Je mehr Hinweise vorhanden sind, umso wichtiger ist die Analyse und Berücksichtigung von allfälligen Schwellenprozessen.

**Tab. 1** Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse und Kriterien für Bewertung der Indikatoren

**Tab. 1** Indicators showing reduced runoff reaction or unknown threshold processes and criteria for evaluating the indicators

Indikator	Bewertung	
	+	++
Hinweis aus historischer Analyse für deutlich höhere Abflüsse als grösstes gemessenes Hochwasser (=Q <sub>max</sub> )	Ereignis ev. deutlich grösser	Ereignis deutlich grösser
Anteil am EZG mit grosser Permeabilität der Geologie [%]	> 33%	> 50%
Anteil am EZG mit mässigem bis sehr gutem Wasserspeichervermögen des Bodens [%]	> 66%	> 80%
Hochwasser- oder Niederschlagsverlauf denkbar, welcher zu deutlich grösseren Abflüssen führen kann	Hochwasser > 1.2 * Q <sub>max</sub>	Hochwasser > 1.5 * Q <sub>max</sub>
Volumenabflusskoeffizient des grössten gemessenen Hochwassers	< 0.5	< 0.33

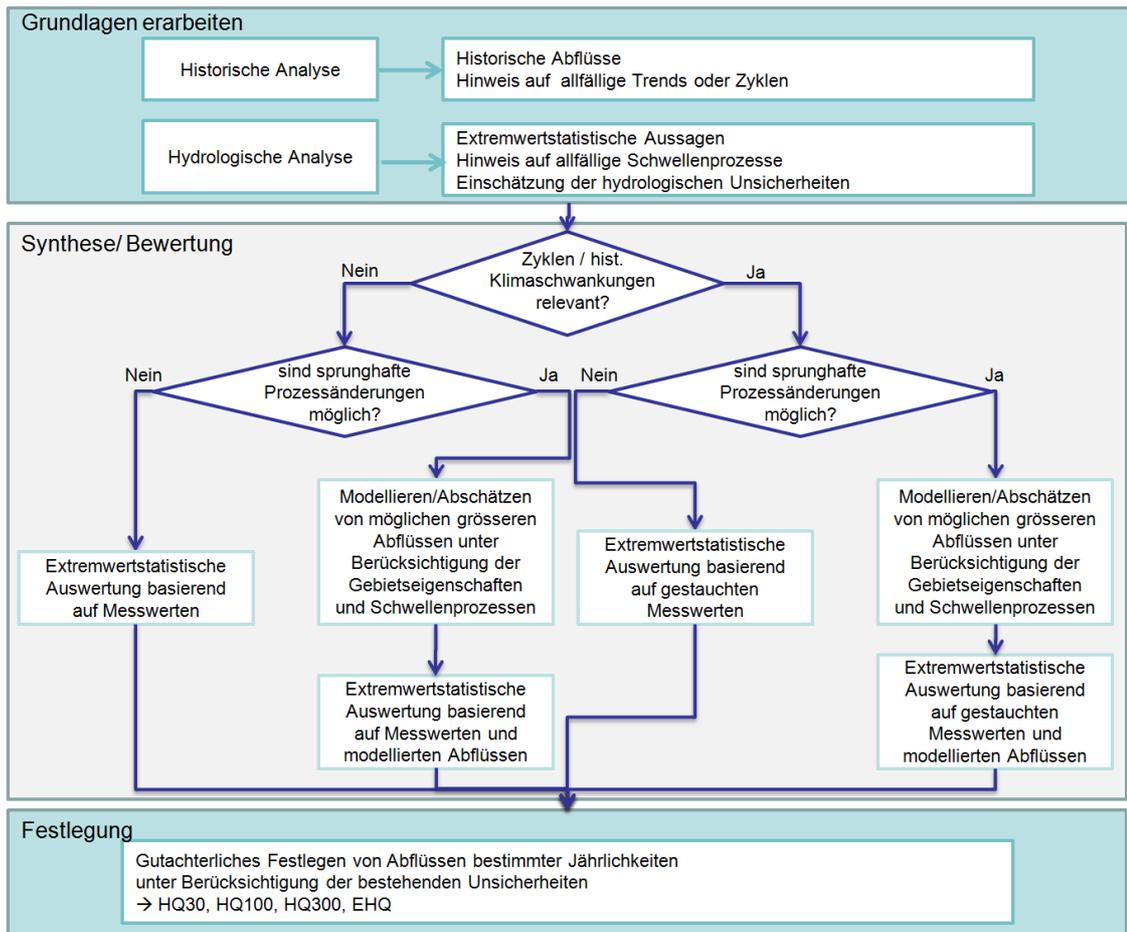
## SYNTHESE UND BEWERTUNG DER GRUNDLAGEN

Gemäss dem Vorgehensschema in Fig. 2 werden nach der hydrologischen Analyse die Spitzenabflüsse (HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub> und EHQ) bestimmt. Als EHQ wurden diejenigen Abflüsse verstanden, die deutlich ausserhalb des Erfahrungshorizontes liegen. Grundsätzlich basiert die Festlegung der Abflüsse auf extremwertstatistischen Auswertungen der Messdaten. Wenn Zyklen, resp. Trends eine Rolle spielen können oder wenn aufgrund der hydrologischen Analyse mit deutlich grösseren Abflüssen gerechnet werden muss, wird das Vorgehen angepasst.

Sofern keine Zyklen, resp. Trends sowie keine Hinweise auf grössere Abflüsse vorliegen, wird basierend auf den Messdaten gemäss Empfehlung BWG (2003) eine extremwertstatistische Auswertung durchgeführt und die Werte (HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub> und EHQ) bestimmt.

Wenn Zyklen, resp. Trends als relevant beurteilt werden, wird eine „gestauchte“ Extremwertstatistik gemäss Naef et al. (2008) durchgeführt. Dabei wird der hochwasserarmen Periode einer Messreihe ein um Faktor 2 oder 3 reduziertes Gewicht zugewiesen. Stauchung um Faktor 2 bedeutet, dass von zwei aufeinanderfolgenden Jahreshochwassern das kleinere, bei der Stauchung um Faktor 3 von drei Jahreshochwassern die beiden kleineren nicht berücksichtigt werden. Mit der gestauchten Datenreihe wird die Extremwertstatistik gemäss Empfehlung BWG (2003) durchgeführt und die Spitzenabflüsse HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub> und EHQ bestimmt. Diese so bestimmten Abflüsse repräsentieren ereignisreiche Perioden besser.

Wenn Hinweise vorliegen, dass deutlich grössere Abflüsse als die bisher gemessenen auftreten können, wird eine einfache Modellierung oder Abschätzung von möglichen grösseren Abflüssen vorgenommen. Im Idealfall basiert eine solche Abschätzung auf historisch rekonstruierten Werten. Basierend auf den Messdaten sowie den modellierten Abflüssen wird eine extremwertstatistische Auswertung durchgeführt.



**Fig. 2** Vorgehensschema zur Bestimmung von Abflüssen bestimmter Jährlichkeit (HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub>, EHQ) für kleine bis mittelgrosse Einzugsgebiete

**Fig. 2** Procedure for determining discharge of a certain return period (HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub>, EHQ) for small to medium-sized catchments

## FESTLEGEN VON DIMENSIONIERUNGSABFLÜSSEN (HQDIM)

Die Festlegung der definitiven Dimensionierungswerte erfolgt gutachterlich als Diskussion unter ExpertInnen. Es gelten folgende Grundsätze:

- Die Wahl der Abflüsse bestimmter Jährlichkeiten erfolgt in der Regel innerhalb der Bandbreite (Mittelwert  $\pm$  Vertrauensintervalle) der statistisch ermittelten Abflüsse verschiedener Jährlichkeiten. Abweichungen von dieser Bandbreite müssen begründet werden.
- Bei grosser Unsicherheit sollten die Abflüsse eher im Bereich der Obergrenzen der Vertrauensintervalle gewählt werden. Gemäss Empfehlung der KOHS (2007) soll aufgrund der bestehenden Unsicherheiten in Bezug auf die Klimaänderung das schlimmste zu erwartende Szenario betrachtet werden, um daraus den Raumbedarf der Fliessgewässer zur Ableitung von Extremereignissen festzulegen. Dieser Raum soll gesichert werden.
- Ist die Unsicherheit gering, kann ein Wert im Bereich der Mittelwerte als Dimensionierungswert festgelegt werden.
- Die Abflüsse HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub>, HQ<sub>300</sub> und EHQ dienen als Grundlage für die Erarbeitung resp. Überarbeitung von Gefahrenkarten.

- Zusätzlich zu den Abflüssen und den aus der Extremwertstatistik erhaltenen Vertrauensintervallen sollte auch über die bestehende Unsicherheit und über mögliche Schwellenprozesse diskutiert werden.

In der gutachterlichen Diskussion werden die Dimensionierungswerte bestimmt. Falls die Unsicherheiten betreffend Hydrologie als gross erachtet werden, können weitergehende hydrologische Abklärungen initiiert werden.

Zusätzlich zu den Dimensionierungswerten werden die Grösse und das Ausmass des Überlastfalles bestimmt. Der Überlastfall muss in einem Verbauungskonzept ebenfalls berücksichtigt werden. Je grösser die mögliche Überlast und je grösser die Unsicherheit, desto wichtiger ist die Berücksichtigung des Überlastfalles bei baulichen Massnahmen.

Für die Festlegung von Dimensionierungsabflüssen sollten zusätzlich zu den hydrologischen Aspekten auch die Limiten sowie die Machbarkeit von technischen Schutzmassnahmen berücksichtigt werden.

Es ist selbstverständlich, dass die Grundlagen und Vorschläge für Dimensionierungswerte, die in diesem Bericht stehen, periodisch überarbeitet werden müssen.

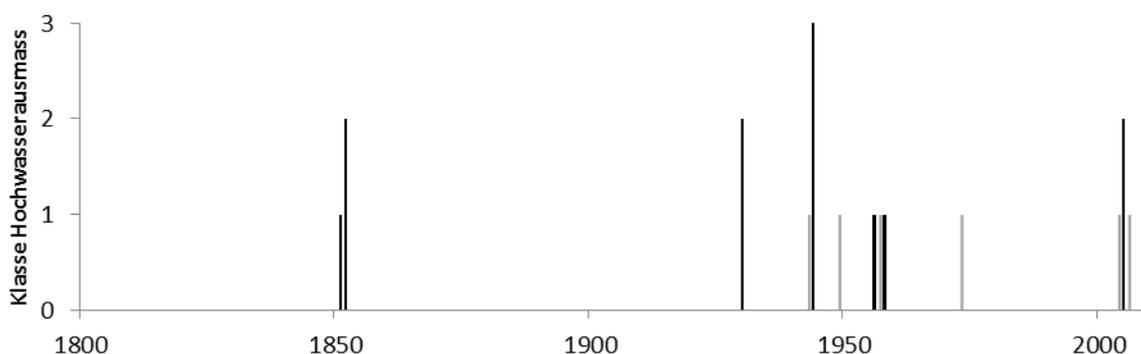
Gemäss diesem Vorgehen wurden für insgesamt zehn Gewässer im Kanton Bern Abflüsse verschiedener Jährlichkeiten festgelegt. Nachfolgend werden die Resultate um zwei Einzugsgebiete näher vorgestellt.

### BEISPIEL SIMME OBERWIL

Die Simme (Oberwil) umfasst ein Einzugsgebiet von 344 km<sup>2</sup> und entwässert den westlichen Teil des Berner Oberlandes. Die Geologie im Einzugsgebiet der Simme ist reichhaltig, besteht das Einzugsgebiet aus ultrahelvetischen Sedimentschuppen, der Niesendecke, einer unterpenninischen Sedimentdecke, der Breccien-Decke und der Klippen-Decke, mittelpenninischen Sedimentdecken und der Simmen- und Getsdecke, zwei oberpenninische Sedimentdecken. Letztere Decken weisen eine sehr geringe Permeabilität auf, bei Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes ist die Permeabilität von sehr gering bis hoch fast gleichmässig über das gesamte Einzugsgebiet verteilt.

#### Historische Analyse

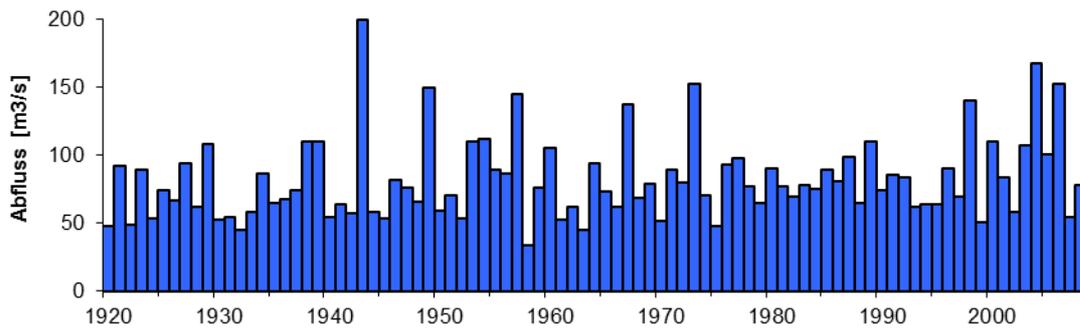
Die historischen Ereignisse wurden aus den Ereigniskatastern der Gemeinden Boltigen und Oberwil zusammengetragen. Hochwasser mit unterschiedlichem Schadensausmass sind in Fig. 3 dargestellt. Sie werden ergänzt mit Hochwassern, die basierend auf den Abflussdaten bestimmt wurden.



**Fig. 3** Historische Hochwasser der Simme – Oberwil (schwarz), ergänzt mit gemessenen Hochwasserereignissen (grau), wenn: Abfluss > mittleres Jahresmax. + 2 \* Standardabweichung

**Fig. 3** Historical floods in the Simme – Oberwil (black) completed with measured floods (grey), if: runoff > mean of maximal annual runoff + 2 \* standard deviation

## Hydrologische Analyse



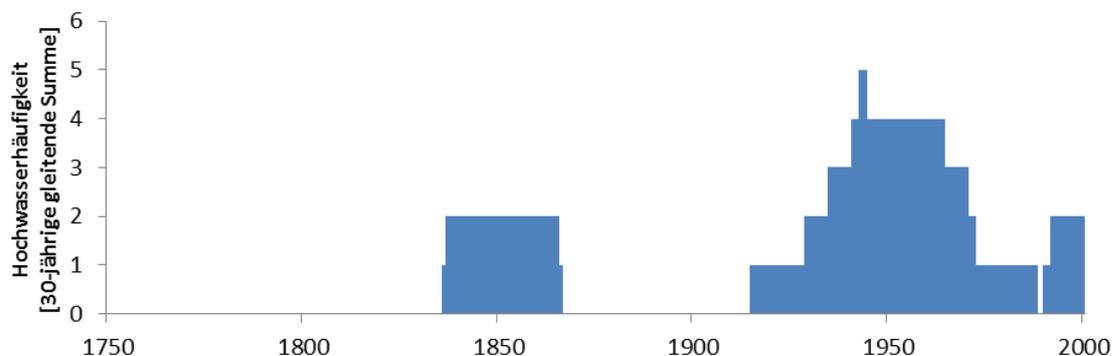
**Fig. 4** Jahresmaxima der Simme – Oberwil seit Beginn der Abflussmessung (Daten: BAFU)

**Fig. 4** Maximal annual runoff in the Simme – Oberwil during runoff measurement (data: BAFU)

## Synthese

Gesamtschweizerisch wird Mitte des 20. Jahrhunderts eine hochwasserarme Periode beobachtet (Naef et al., 2008). Die Resultate der historischen Analyse der Simme – Oberwil bestätigen dies nicht. Genau das Gegenteil ist der Fall (siehe Fig. 5). In der Mitte des 20. Jahrhunderts traten häufig Hochwasser auf, zwischen den Hochwassern von 1958 und 2005 wurde jedoch nur noch ein Ereignis gezählt (1974). Um 1900 traten ebenfalls kaum Hochwasserereignisse auf.

Da die Messreihe (1920 – 2010) einige Hochwasser umfasst, wird eine extremwertstatistische Auswertung basierend auf den Messwerten (ohne Stauchung) durchgeführt. Als Vergleich werden zudem die Jahre 1920 – 1943, in denen keine Hochwasser gemessen wurden, mit dem Faktor 2 gestauchet und extremwertstatistisch ausgewertet.



**Fig. 5** Die 30-jährige gleitende Summe der Hochwasser aus Fig. 3 zeigt eine hochwasserreiche Zeit in der in der Mitte des 20. Jahrhunderts und die darauf folgende hochwasserarme Zeit gegen Ende des 20. Jahrhunderts

**Fig. 5** The 30 years floating sum of flood events (Fig. 3) shows a period with many floods in the middle of the 20th Century

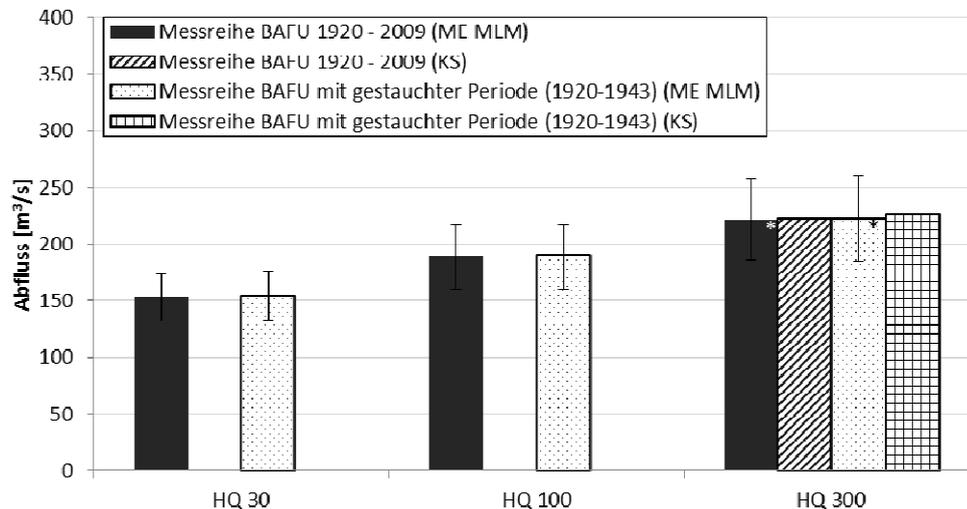
## Analyse bezüglich sprunghafter Prozessänderungen

Die hydrologische Analyse ergibt Hinweise auf sprunghafte Prozessänderungen. Dies einerseits, weil mehr als 30% des Einzugsgebietes eine grosse Durchlässigkeit aufweisen. Weiter haben hydrologische Modellierungen mit extremen Niederschlagsszenarien (Schwanbeck et al., 2008) gezeigt, dass auch höhere Abflüsse als bisher gemessen denkbar wären.

## Extremwertstatistische Auswertung

Bei der extremwertstatistischen Auswertung der Simme – Oberwil wurden folgende zwei Serien verwendet:

- **Messreihe BAFU 1920 – 2009**
- **Messreihe BAFU mit gestauchter Periode (1920 – 1943)**  
Die hochwasserarme Periode von 1920 – 1943 wird mit dem Faktor 2 gestaucht.



**Fig. 6** Zusammenstellung der Abflussmengen bestimmter Jährlichkeiten für die Simme – Oberwil. \*Die Extrapolation auf diese Jährlichkeit wird nicht empfohlen, da die Jährlichkeit grösser ist als die Messreihenlänge mal den Faktor 3

**Fig. 6** Results of different extreme value statistics for the Simme in Oberwil. \*The extrapolation to this return period is not recommended, because the return period is longer than three times the measurement period

Die erhaltenen Abflüsse mit oder ohne Stauchung der Jahre 1920 – 1943 unterscheiden sich nur geringfügig. Für die Abflüsse des HQ<sub>30</sub> und HQ<sub>100</sub> wurden die Mittelwerte der extremwertstatistischen Auswertung, für das HQ<sub>300</sub> der Mittelwert der Berechnungen mit der Methode Kleeberg/Schumann verwendet. Da es mehrere Hinweise auf Schwellenprozesse gibt und zudem insgesamt eher wenige Hochwasser bekannt sind, besteht hier aber eine grosse Unsicherheit.

**Tab. 2** Vorschlag zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen

**Tab. 2** Proposal for design flood discharge

Jährlichkeit	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]
HQ <sub>30</sub>	160
HQ <sub>100</sub>	190
HQ <sub>300</sub>	230

## BEISPIEL GÜRBE – BURGISTEIN

Das Einzugsgebiet der Gürbe – Burgistein befindet sich westlich von Thun und erstreckt sich vom Gantrisch bis nach Burgistein. Es umfasst ein Einzugsgebiet von knapp 54 km<sup>2</sup>.

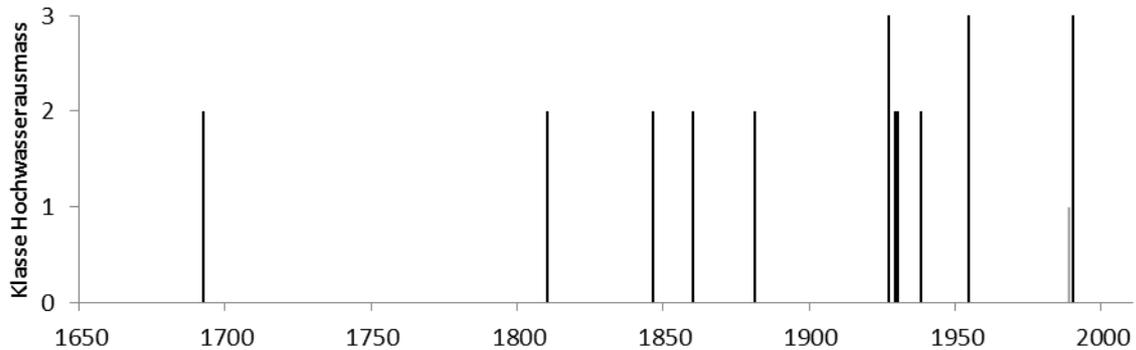
Geologisch betrachtet durchfliesst die Gürbe zuerst den Gurnigel-Flysch, dann die subalpine Molasse und schliesslich die mittelländische Molasse. Zahlreiche Moränen und Alluvionen bedecken das Einzugsgebiet. Trotz der tektonischen Vielfalt sind die auftretenden Gesteine aufgrund ihres Tongehalts gering bis sehr gering durchlässig, abgesehen vom flächenmässig unbedeutenden verkarsteten Untergrund in der Klippen-Decke.

## Historische Analyse

Als Datengrundlage für die historischen Ereignisse wurde der Bericht zur Gürbe von Naef et al. (1997) verwendet. Die Hochwasser mit unterschiedlichem Schadensausmass sind in Fig. 7

Historische Hochwasser der Gürbe – Burgistein (schwarz), ergänzt mit gemessenen Hochwasserereignissen (grau), wenn: Abfluss > mittleres Jahresmax. + 2 \* Standardabweichung

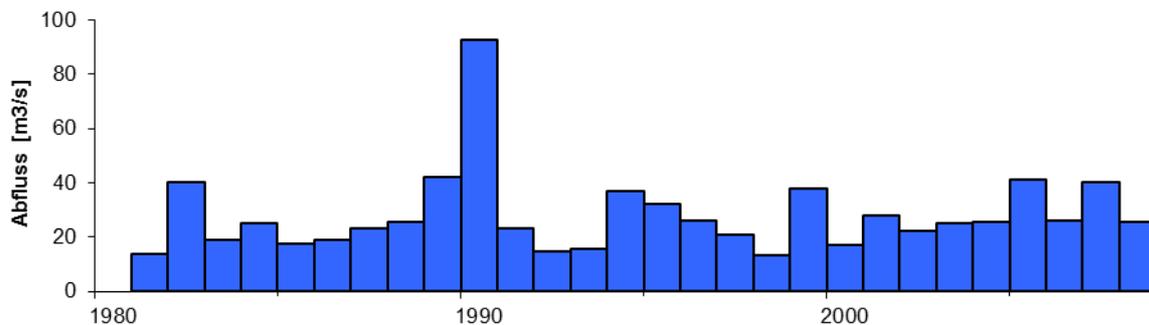
Fig. 7 dargestellt. Sie werden ergänzt mit gemessenen Hochwasserereignissen.



**Fig. 7** Historische Hochwasser der Gürbe – Burgistein (schwarz), ergänzt mit gemessenen Hochwasserereignissen (grau), wenn: Abfluss > mittleres Jahresmax. + 2 \* Standardabweichung

**Fig. 7** Historical floods in the Gürbe – Burgistein (black) completed with measured floods (grey), if: runoff > mean of maximal annual runoff + 2 \* standard deviation

## Hydrologische Analyse

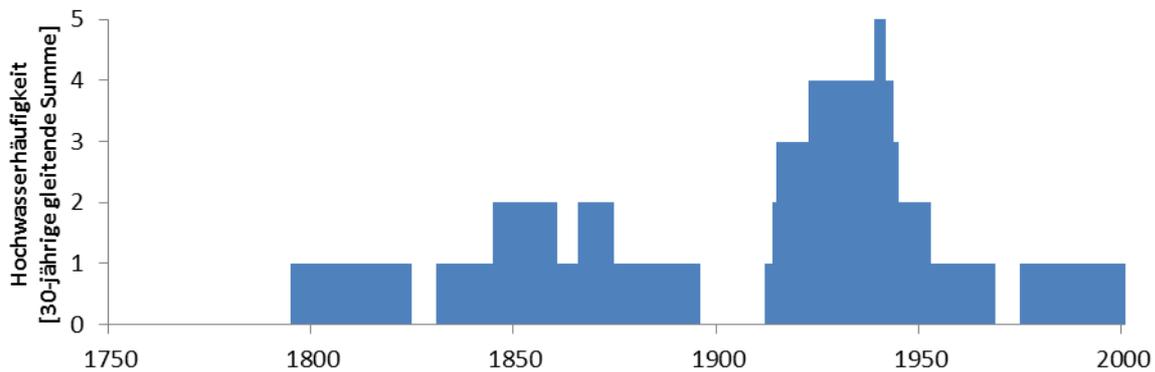


**Fig. 8** Jahresmaxima Gürbe - Burgistein seit Beginn der Abflussmessung (Daten:BAFU)

**Fig. 8** Maximal annual runoff in the Gürbe – Burgistein during runoff measurement (data: BAFU)

Der grösste Abfluss wurde im Juli 1990 gemessen. Ursache für den hohen Abfluss war eine Gewitterzelle über dem Gantrisch. Auf der Tschingelalp wurde von einem Pluviographen des Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA) eine Niederschlagsmenge von 240 mm registriert, und dies in gerade 3 – 4 Stunden. Diese Niederschlagsintensität ist sehr aussergewöhnlich. Im Bericht von Naef et al. (1997) wird auf Basis von Simulationen aufgezeigt, dass wesentlich geringere Niederschlagsintensitäten (70 mm in 60 min) auf einer grösseren Fläche (20 km<sup>2</sup>) zu einer vergleichbaren Abflussspitze führen würden wie die Niederschläge im Jahr 1990.

## Synthese



**Fig. 9** Die 30-jährige gleitende Summe der Hochwasser aus Fig. 7 zeigt eine hochwasserreiche Zeit in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts und die darauf folgende eher hochwasserarme Zeit gegen Ende des 20. Jahrhunderts

**Fig. 9** The 30 years floating sum of flood events (Fig. 7) shows a period with many floods in the middle of the 20th Century

Die Gürbe – Burgistein zeigt eine grosse Hochwasserhäufigkeit in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts (siehe Fig. 9). Die 30-jährige gleitende Summe der Hochwasser aus Fig. 7 zeigt eine hochwasserreiche Zeit in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts und die darauf folgende eher hochwasserarme Zeit gegen Ende des 20. Jahrhunderts.

**Fig. 9).** Seit dieser Häufung wurden nur noch 1954 und 1990 Hochwasser beobachtet.

Die Messreihe von Burgistein (ab 1981) ist eher kurz und enthält nur das Hochwasser von 1990. Aus diesem Grund sollte die Messreihe wenn möglich mit weiteren rekonstruierten Hochwasserereignissen ergänzt werden.

## Analyse bezüglich sprunghafter Prozessänderungen

**Tab. 3** Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse. Die Bewertung der Indikatoren folgt nach den Kriterien in Tab. 1. Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse und Kriterien für Bewertung der Indikatoren

### Tab. 1

**Tab. 3 Indicators for reduced runoff reaction or unknown threshold processes. The evaluation of the indicators followed by the criteria of Tab. 1** Indikatoren für gedämpfte Abflussreaktion oder für unbekannte Schwellenprozesse und Kriterien für Bewertung der Indikatoren

### Tab. 1

Indikator	Wert	Bewertung
Hinweis aus historischer Analyse für deutlich höhere Abflüsse als $Q_{\max}$	-	
Anteil am EZG mit grosser Permeabilität der Geologie [%]	27.8	
Anteil am EZG mit mässigem bis sehr gutem Wasserspeichervermögen des Bodens [%]	64.7	
Hochwasser- oder Niederschlagsverlauf denkbar, welcher zu deutlich grösseren Abflüssen führen kann	+80%* (170 m <sup>3</sup> /s)	++
Volumen Abflusskoeffizient	0.58	

\*  $Q_{\max}$ -Wert gemäss Naef (Naef et al., 1997).

## Extremwertstatistische Auswertung

Bei der extremwertstatistischen Auswertung der Gürbe – Burgistein wurden folgende zwei Serien ausgewertet (siehe Fig. 10 Zusammenstellung der Abflussmengen bestimmter Jährlichkeiten für die Gürbe – Burgistein. \*Die Extrapolation auf diese Jährlichkeit nicht empfohlen wird, da die Jährlichkeit grösser ist als die Messreihenlänge mal den Faktor 3

Fig. 10):

- **Messreihe BAFU 1981 – 2009**

Eine Stauchung ist bei einer 28 Jahre umfassenden Messreihe nicht möglich, obwohl die Messperiode eher hochwasserarm war, denn schon 28 Jahre sind für eine Auswertung, die Wiederkehrperioden von 100 Jahren oder mehr errechnet, zu kurz.

- **Messreihe BAFU mit Hochwasser 1927 und 1954**

Das Hochwasser von 1954 ist bei der „Sperre Nr. 3“ mit  $80 - 90 \text{ m}^3/\text{s}$  quantifiziert worden (Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau, 1974). Die Hochwasserspitze dürfte sich von „Sperre Nr. 3“ bis Burgistein nicht abgeflacht haben, deshalb wird für Burgistein eine Abflussspitze von  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen. Für das Hochwasser von 1927, von dem geschrieben steht, dass „Betonsperrern von 1 m, mit Eisenbahnschienen armiert wie Zundhölzer knickten“ (NZZ, 3. – 6. August 1927 in Naef et al., 1997) wird ebenfalls der Wert von  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen. Dies jedoch ist kein gemessener Wert, sondern eine Schätzung aufgrund der historischen Analyse.

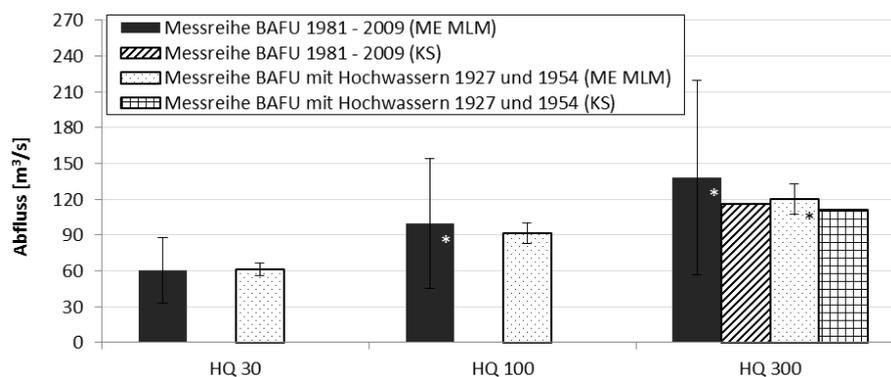


Fig. 10 Zusammenstellung der Abflussmengen bestimmter Jährlichkeiten für die Gürbe – Burgistein. \*Die Extrapolation auf diese Jährlichkeit nicht empfohlen wird, da die Jährlichkeit grösser ist als die Messreihenlänge mal den Faktor 3

Fig. 10 Results of different extreme value statistics for the Gürbe in Burgistein. \*The extrapolation to this return period is not recommended, because the return period is longer than three times the measurement period

Die Resultate der extremwertstatistischen Auswertung sind in Fig. 10 Zusammenstellung der Abflussmengen bestimmter Jährlichkeiten für die Gürbe – Burgistein. \*Die Extrapolation auf diese Jährlichkeit nicht empfohlen wird, da die Jährlichkeit grösser ist als die Messreihenlänge mal den Faktor 3

Fig. 10 dargestellt. Die Berücksichtigung der zwei historischen Hochwasser von 1927 und 1954 ist wichtig, da diese Serie die Resultate der relativ kurzen Messreihe BAFU stützt. Bei den selteneren Jährlichkeiten könnte die mit Hochwassern erweiterte Serie eine trügerische Sicherheit vermitteln, da sie kleinere Abflüsse mit einem kleinen Vertrauensintervall liefert. Die Abflusswerte von 1927 oder 1954 sind nicht genau bestimmbar und könnten auch grösser als die angenommenen  $90 \text{ m}^3/\text{s}$  gewesen sein, was den Wert des  $\text{HQ}_{100}$  und  $\text{HQ}_{300}$  nach oben korrigieren würde. Deshalb wird die Messreihe BAFU (ME MLM) höher gewichtet.

Tab. 4 Vorschlag zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen

**Tab. 4** Proposal for design flood discharges

<b>Jährlichkeit</b>	<b>Abfluss [m<sup>3</sup>/s]</b>
HQ <sub>30</sub>	60
HQ <sub>100</sub>	100
HQ <sub>300</sub>	130

## FAZIT

Die durchgeführten Arbeiten und die verschiedenen Fachdiskussionen haben gezeigt, dass sich die vorgeschlagene Methodik grundsätzlich eignet, um differenzierte Grundlagen zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen zu erarbeiten. Zudem ist das Berechnen einer Bandbreite von Abflusswerten sicher sinnvoll um den Unsicherheitsbereich abzugrenzen.

Es hat sich gezeigt, dass detailliertere hydrologische Analysen sinnvoll wären. Insbesondere in Gebieten, wo noch wenige Kenntnisse vorliegen.

- Es sollten möglichst mehrere grössere Hochwasser analysiert und miteinander verglichen werden. Dies erlaubt mehr Rückschlüsse auf das Prozessverhalten sowie auf mögliche Schwellenprozesse.
- Neben der Analyse der Hochwasserereignisse sollten auch die grössten Niederschlagsereignisse untersucht werden. Dabei sollte untersucht werden, ob die Niederschlagsereignisse mit den Hochwasserereignissen übereinstimmen oder nicht.

Da die Messdaten bei der Auswertung eine zentrale Rolle spielen, wäre ein Überprüfen der Qualität der Abflussdaten des BAFU sinnvoll. Dies gilt insbesondere dort, wo ein einzelner Extremer Abfluss gemessen wurde und die Extremwertstatistik massgeblich bestimmt (z.B. Sense Thörishaus).

## LITERATUR

- Blöschl G., & Merz R. (2008). Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlichkeit, Aspekte einer zeitgemässen Strategie. WasserWirtschaft 11/2008.
- BWG (2003). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Praxishilfe, Bern.
- Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (1974). Die grössten bis zum Jahre 1969 beobachteten Abflussmengen von schweizerischen Gewässern. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- Geo7 (2009). Grundlagen und Vorgehen zur Festlegung von Dimensionierungsabflüssen für Gewässer mit langen Messreihen im Kanton Bern (EHWS, TP4). Tiefbauamt des Kantons Bern.
- Geo7, IUB Ingenieur Unternehmung, Hunziker, Zarn & Partner, Emch+Berger (2007). Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare. Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern.
- KOHS (2007). Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. WEL Heft 1/2007.
- Naef F., Horat P., Kull D., Scherrer S., Thoma C. (1997). Die Hochwasser der Gürbe (Entstehung, Ablauf, Häufigkeit). Tiefbauamt des Kantons Bern. Bericht Nr. A 002/97.
- Naef F. M., Schmockler-Fackel P., Kienzler P., Scherrer S. (2008). Die Häufung der Hochwasser der letzten Jahre. In G. H. Bezzola, Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Umwelt Wissen Nr. 0825: 34-48.
- Schwanbeck J., Viviroli D., Weingartner R. (2008). Modellgestützte Sensitivitätsanalyse. In H. C. Bezzola G., Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. (S. 48-58). Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Umwelt Wissen Nr. 0825: 48-58.