

Extremhochwasser an der Aare

Resultatmappe 2 Projekt EXAR

Analysestandorte und Schlüsselstellen im Gesamtsystem

Subsystem SSA, Aare, Thun - Halen

Fotos Umschlag

1. Stauanlage Mühleberg, Mühleberg. Foto: IUB Engineering AG, Begehung vom 5. April 2017.
2. Mündungsbereich Hagneckkanal in Bielersee. Foto: IUB Engineering AG, Begehung vom 10. April 2017.
3. Höhenmodell der Rutschung Brättele, nahe des Beurteilungsperimeters Mühleberg. Quelle: GEOTEST AG, 2020.
4. Wasser- und Kernkraftwerk bei Beznau. Foto: Schweizer Luftwaffe 2005, © VBZ.
5. Verklausung der Mattenschwelle bei Bern während des Hochwassers im August 2005. Foto: Schweizer Luftwaffe 2005, © VBZ.

Impressum

Datum: 26.02.2020

Herausgeber

ARGE GEOTEST-HZP-IUB, c/o GEOTEST AG, Bernstrasse 165, CH-3052 Zollikofen

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS)

Projektleitung

Severin Schwab (GEOTEST AG, SPOC AP3 & AP4), Roni Hunziker (Hunziker, Zarn & Partner AG, AP3), Michael Müller (IUB Engineering AG, AP4)

Experten/innen EXAR-Projekt

Helmut Habersack, BOKU Wien

Douglas Maraun, Universität Graz

Christian Pfister, em. Universität Bern

Bettina Schaepli, Universität Lausanne, Universität Bern

Anton Schleiss, em. École polytechnique fédérale de Lausanne EPFL

Bruno Sudret, ETH Zürich

Redaktion

Patrick Baer, Andreas Sutter; GEOTEST AG

Sebastian Jaberg, Matthias Pfäffli; Hunziker, Zarn & Partner AG

Tobias Karrer, Michael Müller; IUB Engineering AG

Autoren und Mitarbeit

GEOTEST AG Patrick Baer, Kaspar Graf, Alexandre Loye, Lorenz Moser, Annik Raissig, Severin Schwab, Andreas Sutter

HZP Roni Hunziker, Andrea Irniger, Sebastian Jaberg, Matthias Pfäffli

IUB Engineering AG Benjamin Auf der Maur, Peter Billeter, Renato Hemund, Tobias Karrer, Andrin Kasper, Luzia Meier, Georg Möller, Michael Müller

Zitiervorschlag

ARGE GEOTEST-HZP-IUB 2020: Extremhochwasser an der Aare. Resultatmappe 2 Projekt EXAR. Analysestandorte und Schlüsselstellen im Gesamtsystem, Subsystem SSA, Aare, Thun - Halen. Zollikofen, Aarau, Bern: 17 S.

Hinweis

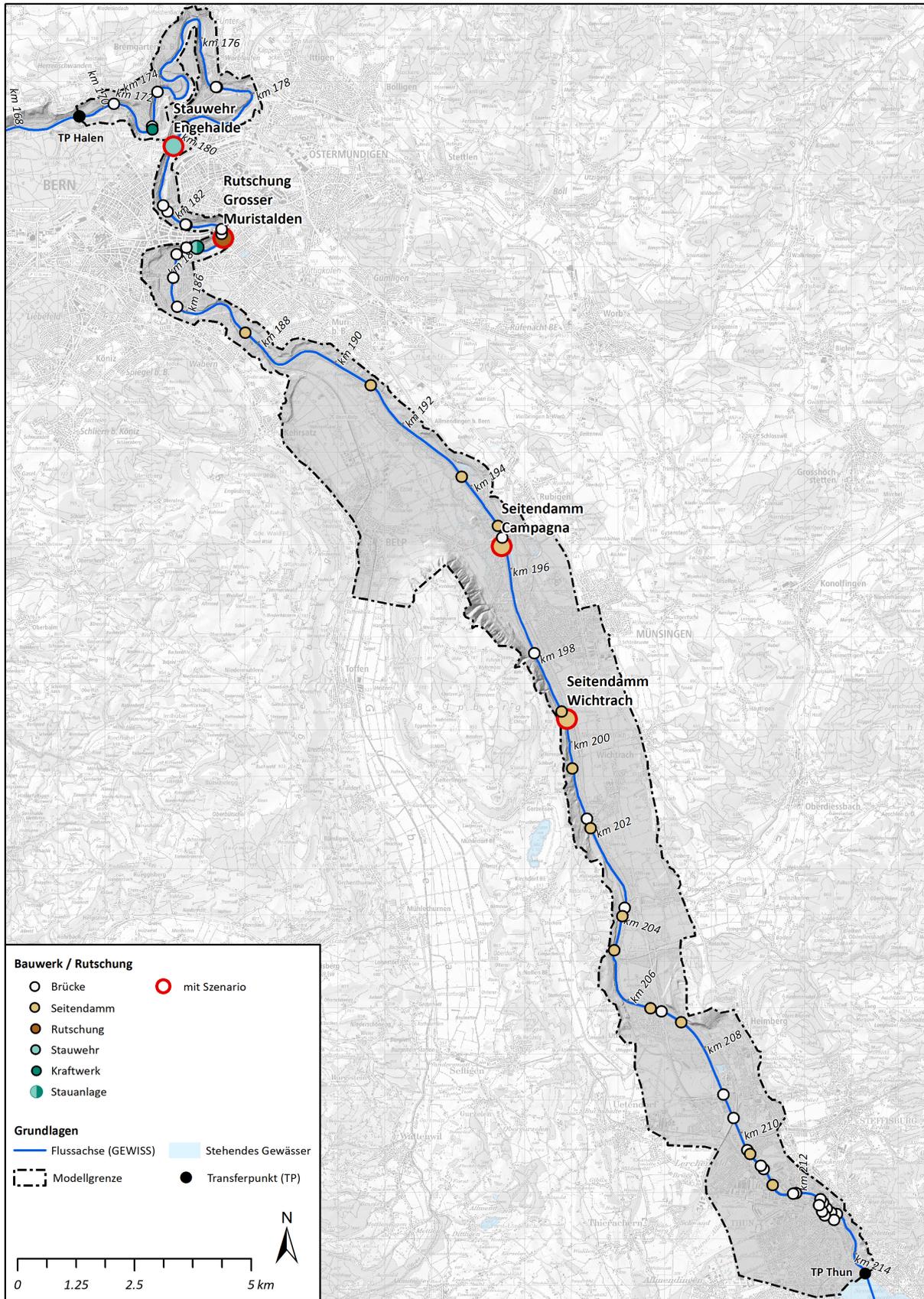
Dieser Bericht wurde im Auftrag der Bundesämter BAFU, ENSI, BFE, MeteoSchweiz und BABS verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

Subsystem SSA	5
1. Übersichtskarte	5
2. Untersuchte Szenarien und Prozessketten	6
3. Hydrologische Szenarien – Synthetische Ganglinien	8
4. Resultate der Analysestandorte.....	8
I. Seitendamm Wichtrach	9
I.1 Breschenbildung / Ausbruch rechtsufrig.....	9
II. Seitendamm Campagna.....	11
II.1 Breschenbildung / Ausbruch linksufrig	11
III. Rutschung Grosser Muristalden	13
III.1 Rutschung.....	13
IV. Stauwehr Engehalde.....	15
IV.1 HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)	15

Subsystem SSA

1. Übersichtskarte



Übersicht der Analysestandorte im Subsystem A. Subsystemrelevante Analysestandorte mit einem kritischen Szenario hinsichtlich der Ausscheidung als Schlüsselstelle sind rot umkreist.

2. Untersuchte Szenarien und Prozessketten

Die Versagensszenarien wurden in der Schlüsselstellenanalyse hinsichtlich eines besseren Systemverständnisses und der Ausscheidung der Schlüsselstellen (Key Sites) gewählt. Dazu erfolgte in einem ersten Schritt die Analyse der Resultate aus den Nullläufen sowie aus der geologischen Einschätzung bzgl. grosser Massenbewegungen. Eine Übersicht der ermittelten, kritischen Szenarien der entsprechenden Analysestandorte findet sich in der Übersichtskarte (vgl. Kap. 1) und in der untenstehenden Tabelle. In der Tabelle ist zudem die Resultatblatt Nr. ersichtlich, die auf die detaillierten Resultate in Kapitel 4 verweist.

Im Subsystem Thun-Bern (Halen) kann die in Bern ankommende Ganglinie im Wesentlichen durch das Aktivieren von zwei grossen Retentionsräumen verändert werden, dem Raum "Aaretal rechtsufrig" von Wichtrach bis Rubigen sowie dem Raum "Belpmoos". Bildet sich frühzeitig eine Bresche im Seitendamm im Oberwasser (OW) dieser Retentionsräume, kann ein verhältnismässig grosses Volumen aus dem Hauptgerinne austreten und eine Dämpfung der Hochwasserspitze bewirken. Die Fliesstiefenkarten aus den Nullläufen zeigen, dass die Hochwasserschutzdämme (HWS-Dämme) im Bereich Campagna (oberstrom Retentionsraum Belpmoos) bei einem HQ10'000 bereits massiv überströmt werden. Um eine Veränderung der Ganglinie im hydraulischen Modell untersuchen zu können, wurde deshalb eine Breschenbildung bei einem HQ1'000 vorausgesetzt. Analog startet das Überströmen und damit eine potenzielle Breschenbildung der rechtsufrigen HWS-Dämme in Wichtrach bei einem HQ10'000, weshalb eine Aktivierung dieses Retentionsraums bei diesem Hochwasser untersucht wurde.

- **Seitendamm Wichtrach:**

Aktivierung Retentionsraum Aaretal durch Bresche rechtsufrig bei einem HQ10'000 (im Nulllauf erstes leichtes Überströmen des Dammes bei HQ10'000).

- **Seitendamm Campagna:**

Aktivierung Retentionsraum Belpmoos durch Bresche linksufrig bei einem HQ1'000 (im Nulllauf Überströmen des Dammes bei HQ10'000).

Der Retentionsraum Belpmoos wird ab einem Aarepegel von rund 510 m ü.M. aktiviert. Sollte im relativ engen Fliessquerschnitt durch die Stadt Bern, resp. im Bereich des Schwellenmättelis ein entsprechend hoher Aufstau erfolgen, könnte das ebenfalls subsystemrelevant sein und die Ganglinie in Halen verziehen. Die geologischen Beurteilungen sagen für den grossen Muristalden eine Rutschung mit einer Jährlichkeit von 1×10^{-4} bis 5×10^{-4} voraus. Eine solche Rutschung könnte zur kompletten Verlegung der Untertorbrücke führen, deren Oberkante auf ca. 510 m ü.M. liegt. In einem solchen Ereignis könnte also ein Rückstau bis hinauf ins Belpmoos erfolgen und damit ein grosses Retentionsvolumen mobilisiert werden. Dieses Szenario wurde aufgrund der möglicherweise relevanten Hangfusserosionen mit einem HQ10'000 gerechnet.

- **Rutschung Grosser Muristalden:**

Diese rechtsufrige Rutschung kann den Fliessquerschnitt in der Matte massiv einengen und eine Aktivierung der Retentionsebene Belpmoos bewirken (bei einer Ablagerungshöhe bis ca. 510.00 m ü. M., in Zusammenhang mit der Verlegung des Querschnitts der diversen vorhandenen Brücken).

Ein kleineres Retentionsvolumen kann schliesslich bei einer kompletten Verlegung des Stauwehrs Engehalde aktiviert werden. Dieses Szenario wurde zum direkten Vergleich mit zwei Hochwasserganglinien (HQ100 und HQ10'000) gerechnet.

- **Stauwehr Engehalde:**

Komplettverlegung aller Wehrfelder beim Stauwehr Engehalde mit Aktivierung "Retentionsraum" Stadt Bern.

Die verbleibenden inventarisierten Bauwerke (HWS-Dämme, Rutschungen und Brücken) innerhalb des Subsystems SSA wurden gemäss den Ausscheidungskriterien (Detailbericht D, Kap. 4.3) beurteilt und als nicht kritisch, resp. subsystemirrelevant ausgeschieden.

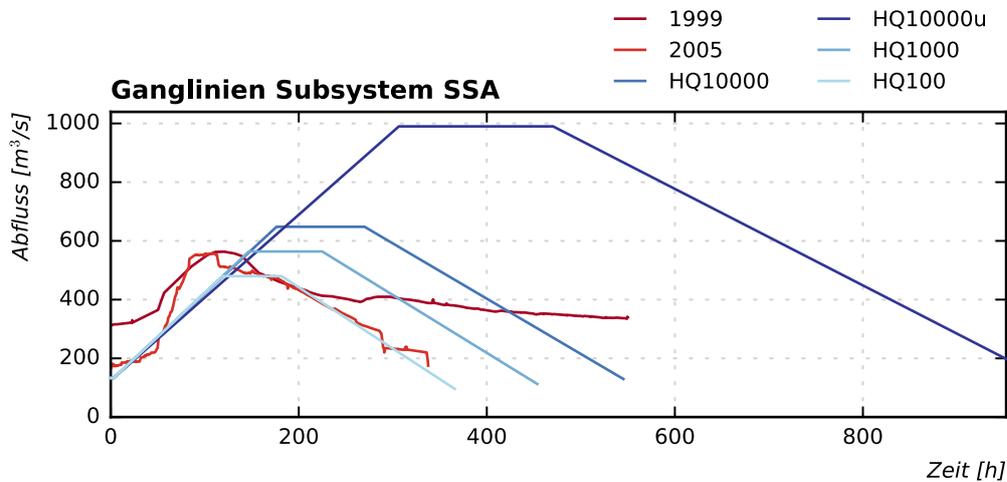
Übersicht der eruierten Szenarien der einzelnen Analysestandorte.

Analysestandort & Szenario					
Resultatblatt Nr.	Ereignis (Hydrologie)	Einwirkung	Versagensprozess	Kilometrierung	Schlüsselstelle
I Seitendamm Wichtrach					
I.1	HQ10'000 Aare	Überströmen	Breschenbildung / Ausbruch rechtsufrig	Aare, km 199.500	nein
II Seitendamm Campagna					
II.1	HQ1'000 Aare	Überströmen	Breschenbildung / Ausbruch linksufrig	Aare, km 195.400	nein
III Rutschung Grosser Muristalden					
III.1	HQ10'000 Aare	spontane Rutschung	Rutschung	Aare, km 183.400	nein
IV Stauwehr Engehalde					
IV.1	HQ100 Aare	HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)	keine / Umströmen	Aare, km 180.385	nein
IV.1	HQ10'000 Aare	HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)	keine / Umströmen	Aare, km 180.385	nein

3. Hydrologische Szenarien – Synthetische Ganglinien

Messstation:

Aare, Thun (km 211.200)



Vergleich der synthetischen Ganglinien mit beobachteten Hochwasserereignissen.

4. Resultate der Analysestandorte

Im Folgenden findet sich für jeden Analysestandort mit einem kritischen Szenario (vgl. Übersichtstabelle Kap. 2) ein Resultatblatt. Das Resultatblatt beinhaltet einen detaillierten Szenarienbeschrieb, die PQ-Beziehung für die Umsetzung im hydraulischen Modell sowie die Grundlagen (Überflutungskarten, Ganglinienvergleich zwischen Nulllauf und Szenario inkl. Ausscheidungskriterien) und den kommentierten Entscheid zur Ausscheidung der Schlüsselstelle.

Die hier vorgestellten Resultatblätter beziehen sich ausschliesslich auf die Gefährdung durch Überflutung (hydraulische Belastung), wie sie in Kap. 7.1 des EXAR-Hauptberichts bzw. im Detailbericht E beschrieben werden. Bei der Gefährdungsanalyse in den Beurteilungssperimeter wird im EXAR-Hauptbericht bzw. im Detailbericht F zusätzlich auf Gefährdung durch Terrain- und Gerinneveränderungen infolge von fluvial bedingten morphologischen Prozessen eingegangen. Weiter sind Aufstauhöhen infolge möglicher Schwemmholtzverkläusung bei den Beurteilungssperimetern in den Resultatmappen 3 abgeschätzt und dokumentiert.

I. Seitendamm Wichtrach

Lokalität

Aare, km 199.500

Szenarien

I.1 Breschenbildung / Ausbruch rechtsufrig

I.1 Breschenbildung / Ausbruch rechtsufrig

Bei einem HQ10'000 wird der Hochwasserschutzdamm auf Höhe Wichtrach überströmt und anschliessend bis zum Dammfuss auf einer Länge von 60 m erodiert.

Szenarienbeschreibung

Das Aktivieren des Retentionsraums "Aaretal rechtsufrig" von Wichtrach bis Rubigen hat das Potenzial, die in Bern ankommende Ganglinie zu verändern. Bei einem HQ10'000 wird der Hochwasserschutzdamm auf Höhe Wichtrach während der Hochwasserspitze längere Zeit überströmt und Wasser fliesst rechtsufrig in die natürliche Geländekammer. Bildet sich dabei eine Bresche im HWS-Damm, wird dieser Abfluss in den Retentionsraum und damit auch der Verzug der Ganglinie im Unterwasser (UW) verstärkt. Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, dass der HWS-Damm nach rund vier Stunden Überströmen erodiert wird und sich auf einer Länge von 60 m eine Bresche bis zum Dammfuss bildet. Dadurch erfolgt rund vier Stunden nach Ankunft der Hochwasserspitze eine seitliche Entlastung von bis zu ca. 205 m³/s.



HWS-Damm und Dammweg rechtsufrig, Raum Uttigen - Wichtrach, Blick in Fliessrichtung. Quelle: IUB Engineering AG, Begehung vom 30. März 2017.

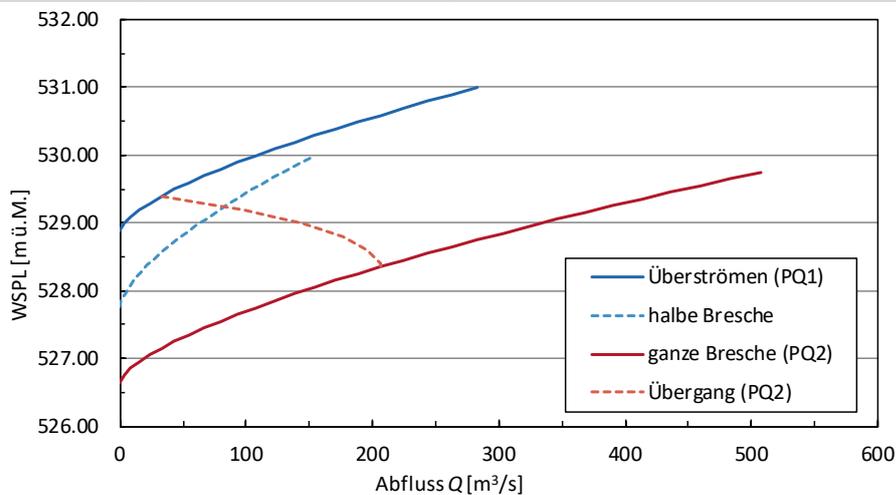
Untersuchte hydrologische Szenarien

HQ10'000 Aare

Szenario-ID

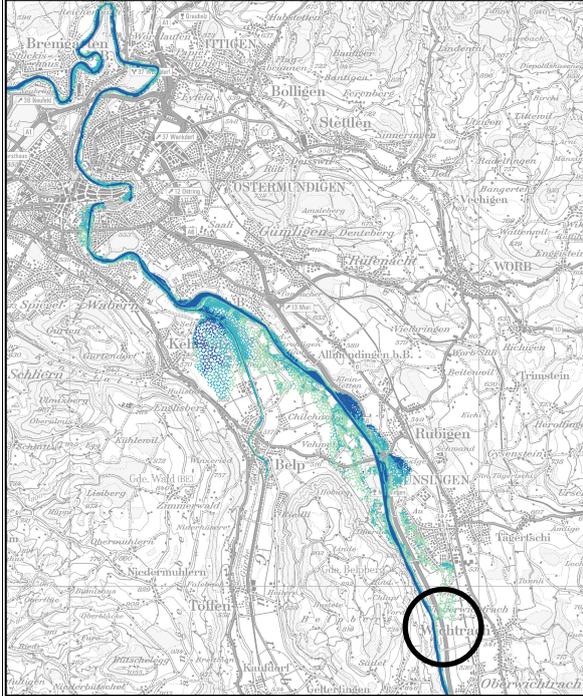
SSA_HQ10000kAAR-199500-SD-PG

PQ-Beziehung (Normalbetrieb und Versagen)

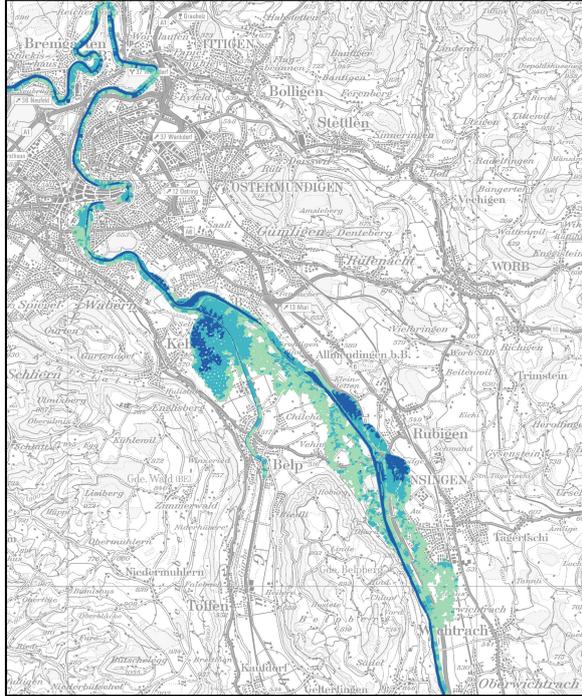


PQ-Beziehung des Seitendamms Wichtrach bei intaktem Dammkörper (Überströmen, blau) und nach Breschenbildung (Breschenlänge = Flussbreite, Abtiefung bis auf Terrainkote luftseitig, rot).

Maximale Überflutungsfläche

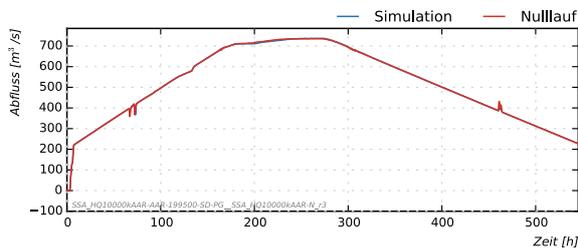


Fliesstiefenkarte für Nulllauf HQ10'000 mit Beginn Überströmen HWS-Damm Wichtrach.



Fliesstiefenkarte für Szenariolauf HQ10'000 mit Breschenbildung im HWS-Damm Wichtrach und Entlastung rechtsufrig.

Ganglinienvergleich Nulllauf mit Szenario am Transferpunkt Halen (Aare, km 169.440)



HQ10'000 Aare.

Szenario	HQ	Versagensauslösung	Differenz Abflussspitze [%]	Differenz Volumen [%]	Entscheid Schlüsselstelle
Breschenbildung / Ausbruch rechtsufrig	10'000 Aare	4h nach Beginn Spitzenabfluss	0.2	0.0	NEIN

Fazit

Die hydraulische Modellierung zeigt, dass durch die Breschenbildung die rechtsufrige Geländekammer zwischen Wichtrach und Rubigen aktiviert wird. Die Retentionswirkung ist dadurch deutlich grösser als bei einem reinen Überströmen der Dämme ohne Breschenbildung. Die relative Retentionswirkung verglichen mit dem Volumen der Inputganglinie ist allerdings marginal, weshalb am Ende des Subsystems keine relevante Volumendifferenz mehr feststellbar ist. Aus diesem Grund wird der Seitendamm bei Wichtrach nicht als Schlüsselstelle klassiert.

II. Seitendamm Campagna

Lokalität

Aare, km 195.400

Szenarien

II.1 Breschenbildung / Ausbruch linksufrig

II.1 Breschenbildung / Ausbruch linksufrig

Bei einem HQ1'000 wird der Hochwasserschutzdamm auf Höhe Campagna (Belp/Rubigen) überströmt und anschliessend bis zum Dammfuss auf einer Länge von 50 m erodiert.

Szenarienbeschreibung

Das Aktivieren des Retentionsraums "Belpmoos" linksufrig von der Campagna-Brücke bis zur Aare-Gürbe-Mündung hat ebenfalls das Potenzial, die in Bern ankommende Ganglinie verändern. Bei einem HQ1'000 ist das Freibord aufgebraucht, d.h. das Flussbett auf Höhe Campagna ist vollgefüllt. Bildet sich aufgrund der langanhaltenden Belastung mit Volleinstau des HWS-Dammes eine Bresche, erfolgt eine Entlastung in den linksufrigen Retentionsraum und damit auch der Verzug der Ganglinie im UW. Im vorliegenden Fall wird davon ausgegangen, dass der HWS-Damm nach fünf Stunden Überströmen erodiert wird und sich auf einer Länge von 50 m eine Bresche bis zum Dammfuss bildet. Dadurch erfolgt rund fünf Stunden nach Ankunft der Hochwasserspitze eine seitliche Entlastung von bis zu ca. 125 m³/s.



HWS-Damm und Dammweg linksufrig, im Unterwasser der Campagna-Brücke in Rubigen, Blick in Fliessrichtung. Quelle: IUB Engineering AG, Begehung vom 30. März 2017.

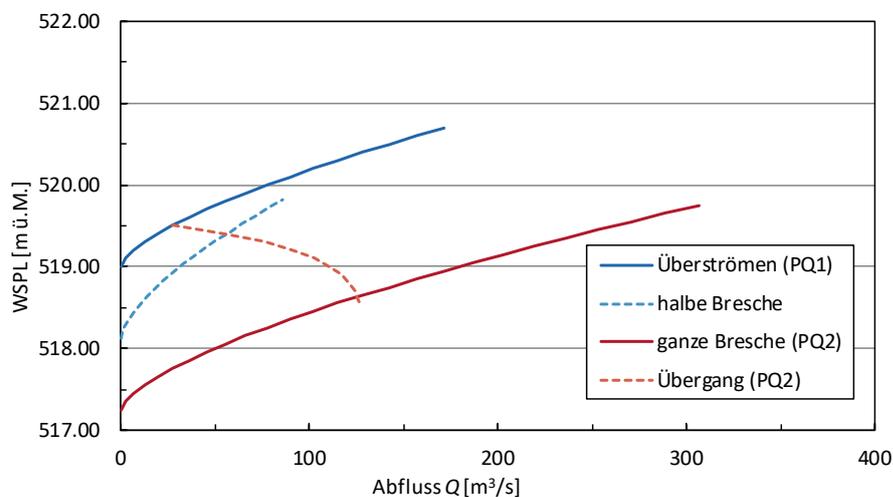
Untersuchte hydrologische Szenarien

HQ1'000 Aare

Szenario-ID

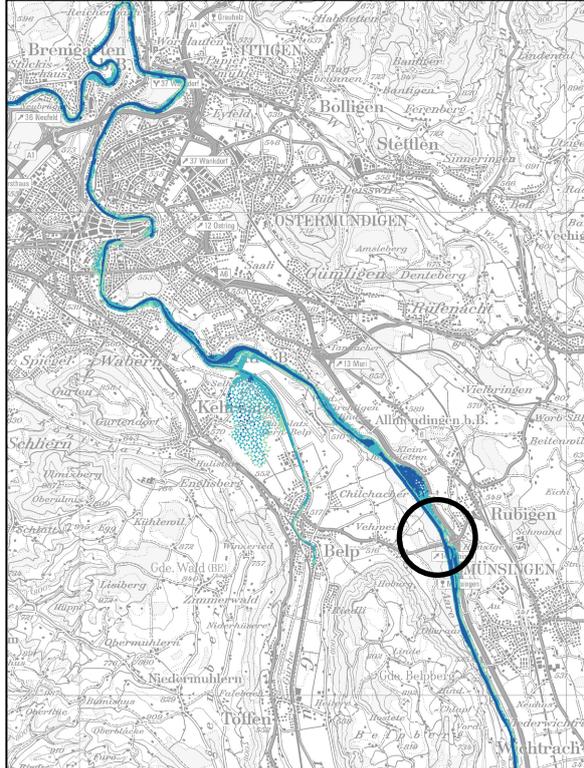
SSA_HQ1000kAAR-195400-SD-PG

PQ-Beziehung (Normalbetrieb und Versagen)

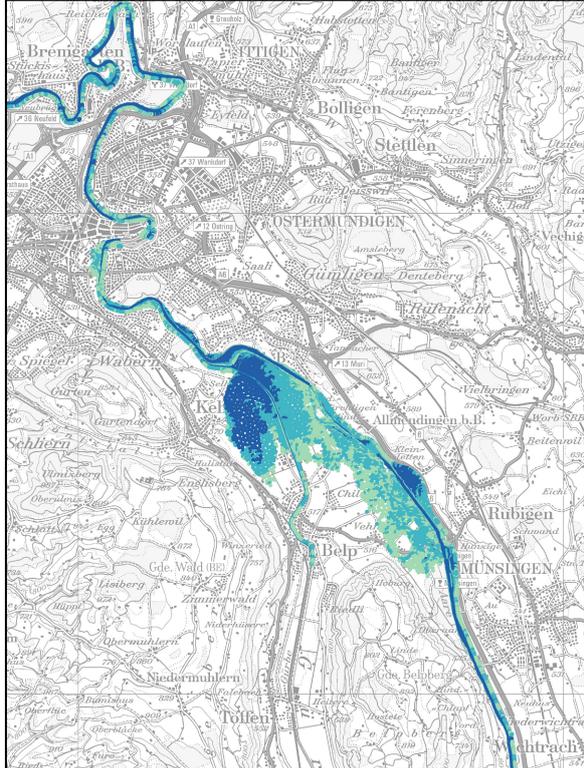


PQ-Beziehung des Seitendammes Campagna bei intaktem Dammkörper (Überströmen, blau) und nach Breschenbildung (Breschenlänge = Flussbreite, Abtiefung bis auf Terrainkote luftseitig, rot).

Maximale Überflutungsfläche

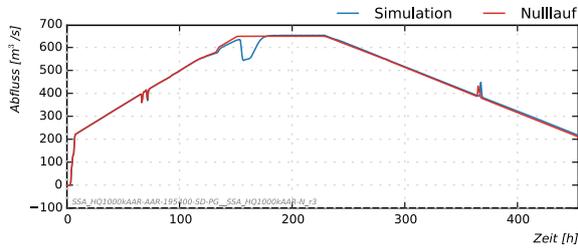


Fliesstiefenkarte für Nulllauf HQ1'000 mit Beginn Überströmen HWS-Damm Campagna.



Fliesstiefenkarte für Szenariolauf HQ1'000 mit Breschenbildung im HWS-Damm Campagna und Entlastung linksufrig.

Ganglinienvergleich Nulllauf mit Szenario am Transferpunkt Halen (Aare, km 169.440)



HQ1'000 Aare.

Szenario	HQ	Versagensauslösung	Differenz Abflussspitze [%]	Differenz Volumen [%]	Entscheid Schlüsselstelle
Breschenbildung / Ausbruch linksufrig	1'000 Aare	5h nach Beginn Spitzenabfluss	0.5	-0.2	NEIN

Fazit

Die hydraulische Modellierung zeigt, dass durch die Breschenbildung die linksufrige Geländekammer zwischen Aare und Gürbe aktiviert wird. Die Retentionswirkung ist dadurch deutlich grösser als bei einem reinen Überströmen der Dämme ohne Breschenbildung. Die relative Retentionswirkung verglichen mit dem Volumen der Inputganglinie ist allerdings marginal, weshalb am Ende des Subsystems keine relevante Volumendifferenz mehr feststellbar ist. Aus diesem Grund wird der Seitendamm bei Campagna nicht als Schlüsselstelle klassiert.

III. Rutschung Grosser Muristalden

Lokalität

Aare, km 183.400

Szenarien

III.1 Rutschung

III.1 Rutschung

Rutschung des grossen Muristalden rechtsufrig in das Aarebett, mit Verlegung der Untertorbrücke und einem Aufstau auf über 510 m ü.M. und entsprechender Aktivierung des Retentionsraums Belpmoos.

Szenarienbeschreibung

Eine spontane Rutschung grossen Ausmasses kann im relativ engen Fliessquerschnitt durch die Stadt Bern, resp. im Bereich des Schwellenmättelis einen entsprechend hohen Aufstau verursachen, der unter Umständen soweit ins Oberwasser reicht, dass die HWS-Dämme im Bereich des Retentionsraums Belpmoos überströmt werden. Damit würde ein grosser Retentionsraum alloziert, der die Abflussganglinie in Halen verändert. Im vorliegenden Szenario reicht das Volumen der Rutschung aus, um die Untertorbrücke bis auf eine Kote von 510 m ü.M. zu verlegen. Aufgrund der geologischen Beurteilungen und der zu erwartenden Hangfusserosionen wurde das Szenario mit einem HQ10'000 gerechnet.



Schwellenmätteli und rechtsufriger Hang grosser Muristalden, Bern, Blick in Fliessrichtung (links) und Blick von oberhalb Bärengraben Bern. Quelle: IUB Engineering AG, Begehung vom 05. April 2017.

Untersuchte hydrologische Szenarien

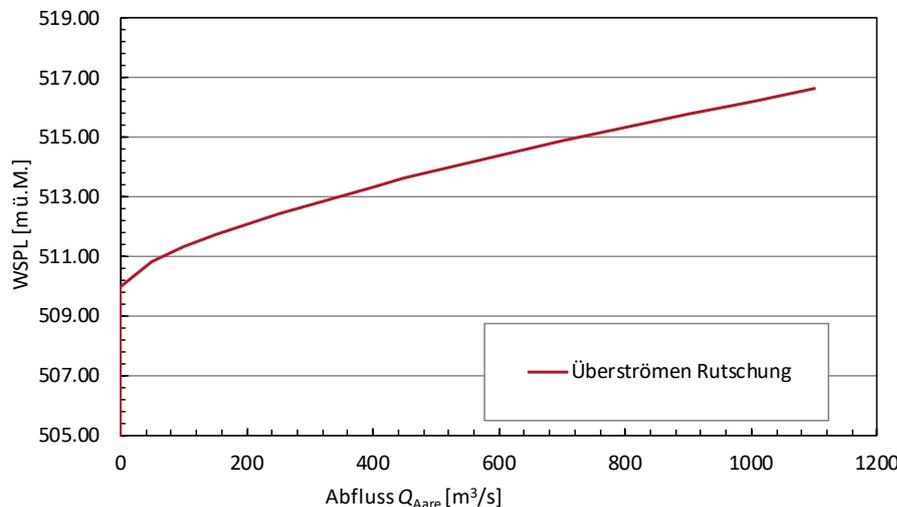
HQ10'000 Aare

Szenario-ID

SSA_HQ10000kAAR-AAR-183400-SR-PR

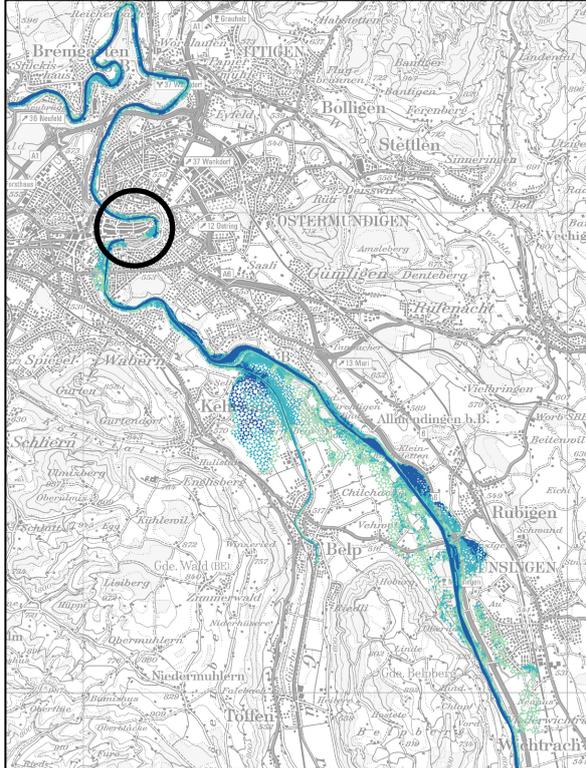
PQ-Beziehung (Normalbetrieb und Versagen)

Im Falle der Rutschung Grosser Muristalden entspricht der Zustand ohne Versagen dem Freispiegelabfluss im Gerinne, der im 2D-Modell gerechnet wird. Entsprechend war keine Angabe einer "PQ Normalbetrieb" erforderlich.

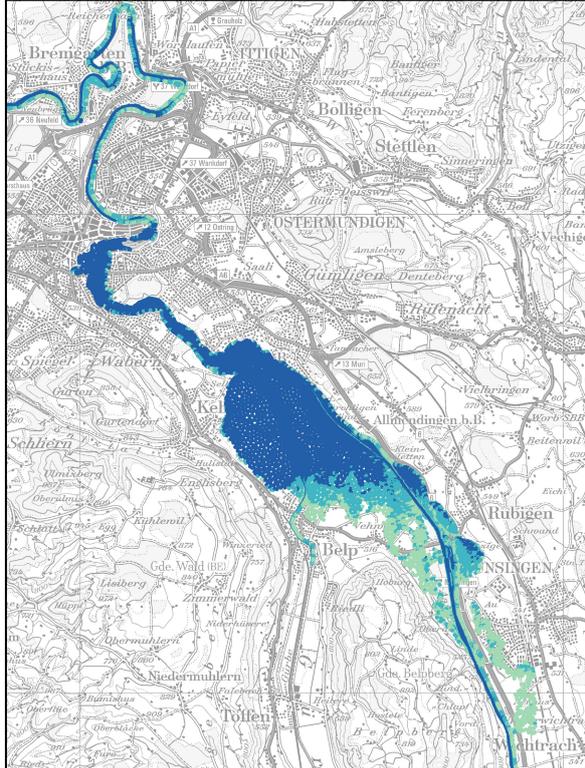


PQ-Beziehung für das Überströmen des bis auf Höhe Untertorbrücke (510.00 m ü.M.) vermachten Querschnitts.

Maximale Überflutungsfläche

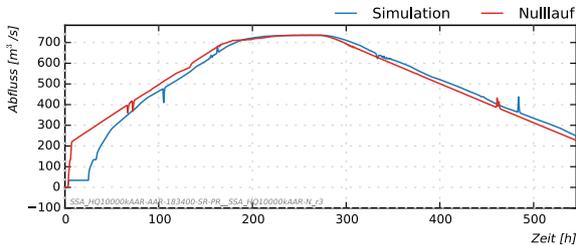


Fliesstiefenkarte für Nulllauf HQ10'000.



Fliesstiefenkarte für Szenariolauf HQ1'000 mit blockiertem Fliessquerschnitt auf Höhe Grosser Muristalden bis auf 510 m ü.M.

Ganglinienvergleich Nulllauf mit Szenario am Transferpunkt Halen (Aare, km 169.440)



HQ10'000 Aare.

Szenario	HQ	Versagensauslösung	Differenz Abflussspitze [%]	Differenz Volumen [%]	Entscheid Schlüsselstelle
Rutschung	10'000 Aare	von Beginn	-0.1	-2.2	NEIN

Fazit

Es zeigt sich, dass die Verlegung der Untertorbrücke bis auf die Kote 510 m ü. M. einen deutlichen Rückstau in der Aare verursacht. Durch den Rückstau wird die gesamte Ebene im Belpmoos geflutet, bevor das Wasser über den Brückentisch der Untertorbrücke abfließen kann. Das zurückgestaute Wasservolumen beträgt im Vergleich zum Volumen der kompletten Ganglinie 2.2 %. Trotz der lokal drastischen Auswirkungen dieses als sehr pessimistisch einzustufenden Szenarios liegt die Volumendifferenz somit unter dem für die Ausscheidung als Schlüsselstelle relevanten Schwellenwert, womit die Rutschung Grosser Muristalden nicht als Schlüsselstelle klassiert wurde.

IV. Stauwehr Engehalde

Lokalität

Aare, km 180.385

Szenarien

IV.1 HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)

IV.1 HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)

Komplette Verlegung oder Ausfall der Hochwasserentlastungsorgane am Stauwehr Engehalde, mit Aktivierung des Retentionsraumes Schwellenmätteli bis Engehalde.

Szenarienbeschreibung

Aufgrund von Betriebs-/Entscheidungsfehlern, technischen Fehlern oder hohem Schwemmholaufkommen wird die Hochwasserentlastung des Stauwehrs stark beeinträchtigt. Es wird davon ausgegangen, dass sämtliche Wehrröffnungen ausfallen und der gesamte Abfluss durch Über- und Umströmen der Wehranlage die Engehalde passiert. Der so resultierende Überfall über das komplett geschlossene Wehr wird als Randbedingung mittels neuer errechneter PQ-Beziehung an das numerische Modell weitergegeben.



Stauwehr Engehalde, Bern. Blick aus dem OW (links) und aus dem UW (rechts). Quelle: IUB Engineering AG, Begehung vom 05. April 2017.

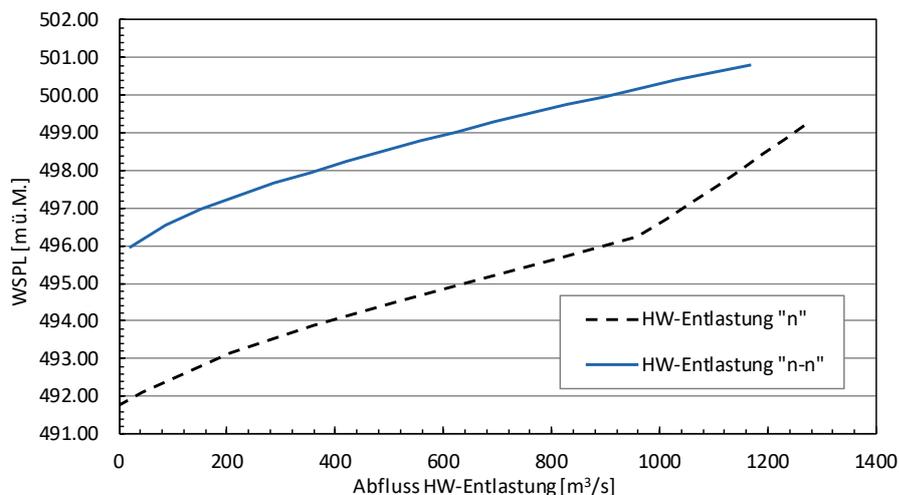
Untersuchte hydrologische Szenarien

HQ100 Aare
 HQ10'000 Aare

Szenario-ID

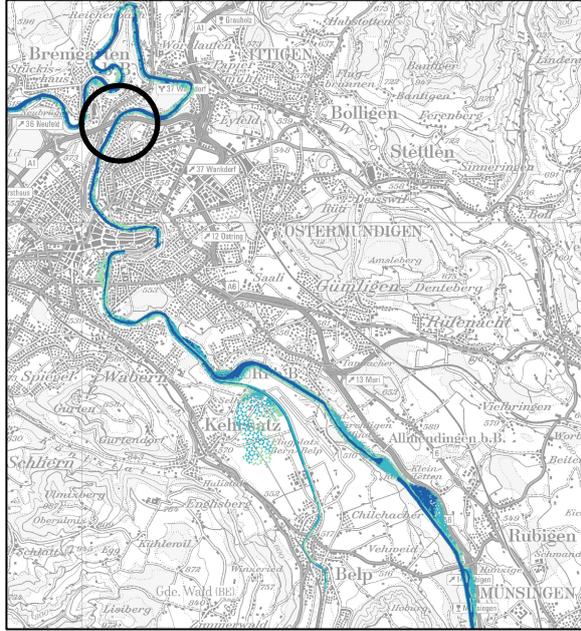
SSA_HQ100kAAR-AAR-180385-SW-Pnn
 SSA_HQ10000kAAR-AAR-180385-SW-Pnn

PQ-Beziehung (Normalbetrieb und Versagen)

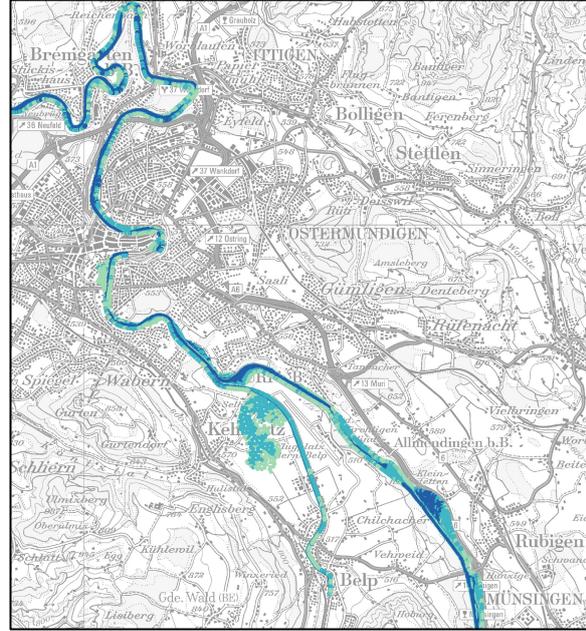


P-Q-Beziehung des Wehrs Engehalde, mit n = 3 offenen (schwarz gestrichelt, Normalbetrieb) und komplett geschlossenen Wehrfeldern n-n (blau, bei Versagen der Regulierorgane).

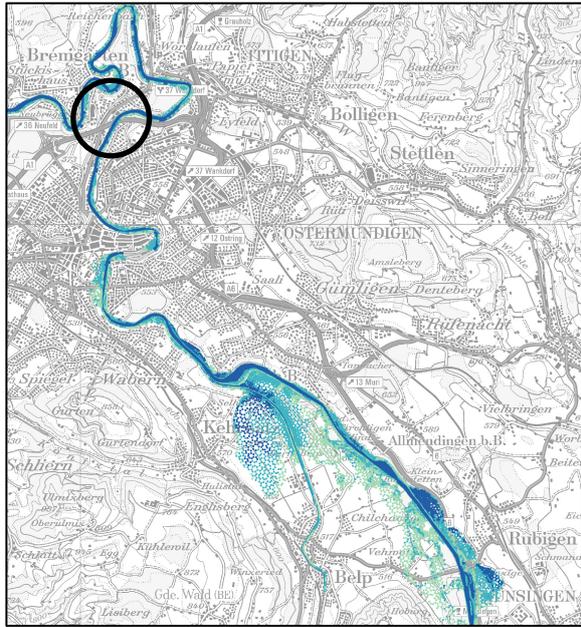
Maximale Überflutungsfläche



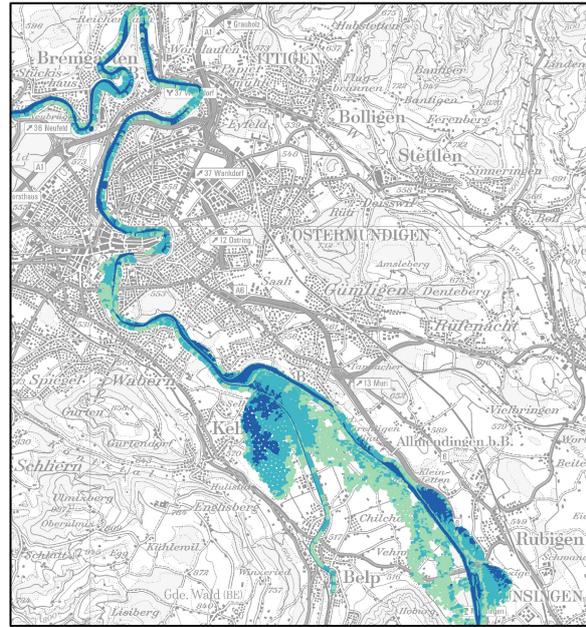
Fliesstiefenkarte für Nulllauf HQ100
(Normalbetrieb am Stauwehr Enghalde).



Fliesstiefenkarte für Szenariolauf HQ100
(n-n-Bedingungen am Stauwehr Enghalde).

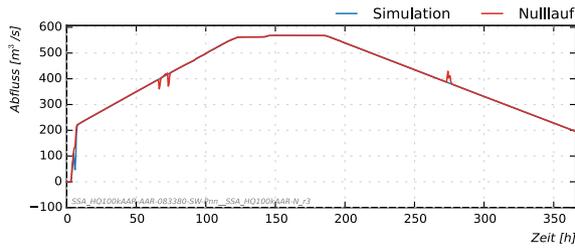


Fliesstiefenkarte für Nulllauf HQ10'000
(Normalbetrieb am Stauwehr Enghalde).

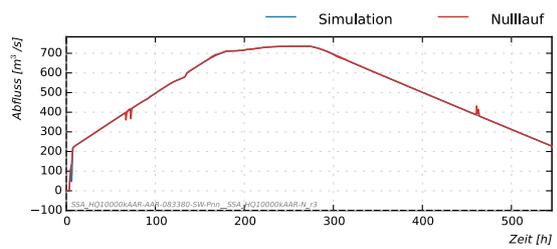


Fliesstiefenkarte für Szenariolauf HQ10'000
(n-n-Bedingungen am Stauwehr Enghalde).

Ganglinienvergleich Nulllauf mit Szenario am Transferpunkt Halen (Aare, km 169.440)



HQ100 Aare.



HQ10'000 Aare.

Szenario	HQ	Versagens- auslösung	Differenz Abflussspitze [%]	Differenz Volumen [%]	Entscheid Schlüsselstelle
HW-Entlastung ausser Betrieb (n-n)	100 Aare	von Beginn	0.0	-0.1	NEIN
	10'000 Aare	von Beginn	-0.1	-0.1	NEIN

Fazit

Die durch den Aufstau am Stauwehr Engehalde erschlossenen Retentionsräume in der Aare sind im Vergleich zu den Retentionsräumen im Aaretal oberhalb der Stadt Bern (v.a. Belpmoos) marginal. Deshalb fällt die Ganglinienverformung durch die Aktivierung dieser Retentionsräume deutlich kleiner aus als bei den restlichen Analysestandorten in diesem Subsystem. Aufgrund des geringen Retentionsvolumens wird das Stauwehr Engehalde nicht als Schlüsselstelle klassiert.