



ENSI, CH-5201 Brugg

**Einschreiben mit Rückschein**

Paul Scherrer Institut  
Herr Dr. Werner Roser  
OVGA / 315  
Forschungsstrasse 111  
5232 Villigen-PSI

Klassifizierung: **keine**

Ihr Zeichen: [REDACTED]

Unser Zeichen: [REDACTED]

Sachbearbeiter: [REDACTED]

Brugg, 12. November 2021

**Verfügung: Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare**

Sehr geehrte Damen und Herren

Im Rahmen der fortwährenden Weiterentwicklung der Sicherheitsanalysen der Schweizer Kernkraftwerke hat das ENSI zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) und den Bundesämtern für Energie (BFE), für Bevölkerungsschutz (BABS) und für Meteorologie und Klimatologie (Meteo-Schweiz) mit der Studie EXAR die Erarbeitung von Grundlagen für die Beurteilung der Gefährdung durch Extremhochwasser an Aare und Rhein in Auftrag gegeben.

Ziel des Projekts EXAR ist es, die bisher verwendeten Grundlagen für die Beurteilung der Gefährdung durch extreme Hochwasserereignisse an der Aare und, in einer zweiten Etappe, am Rhein unterhalb des Zusammenflusses der beiden Flüsse, zu überprüfen, allfällige Lücken zu identifizieren, sie zu schliessen und die Gefährdungsbeurteilung zu harmonisieren. Die Resultate des ersten Teils der Studie (Aare) liegen nun vor.

**1 Erwägungen des ENSI**

**1.1 Rechtliche Grundlagen**

Gemäss Art. 22 Abs. 2 Bst. d des Kernenergiegesetzes vom 21. März 2003 (KEG; SR 732.1) ist der Bewilligungsinhaber verpflichtet, während der ganzen Lebensdauer der Kernanlage Nachprüfungen und systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertungen durchzuführen. Weiter muss er die Entwicklung von Wissenschaft und Technik verfolgen (Bst. h).



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Verfügung: Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare

Gemäss Art. 36 Abs. 1 der Kernenergieverordnung vom 10. Dezember 2004 (KEV; SR 732.11) hat der Bewilligungsinhaber die Entwicklung der fachbezogenen Wissenschaft, insbesondere Erkenntnisse aus der Forschung, zu verfolgen und zu prüfen, inwieweit daraus Erkenntnisse für die Sicherheit seiner Anlage abgeleitet werden können.

Bei neuen Gefährdungsannahmen oder bei Änderung der in der Baubewilligung zugrunde gelegten Gefährdungsannahmen hat der Bewilligungsinhaber die deterministische Störfallanalyse mit den neuen Annahmen durchzuführen (vgl. Art. 13 der Verordnung des UVEK vom 17. Juni 2009 über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen [Gefährdungsannahmenverordnung]; SR 732.112.2).

Als Aufsichtsbehörde für nukleare Sicherheit und Sicherung prüft das ENSI eingereichte Projekte und wacht darüber, dass die Bewilligungsinhaber ihren gesetzlichen Pflichten nachkommen (Art. 70 Abs. 1 Bst. a i. V. m. Art. 72 Abs. 1 KEG). Es ordnet alle zur Einhaltung der nuklearen Sicherheit und Sicherung notwendigen und verhältnismässigen Massnahmen an (Art. 72 Abs. 2 KEG).

## **1.2 Neue Grundlagen für die Bestimmung der Hochwassergefährdungsannahmen**

Mit EXAR wurden neue, belastbare Grundlagen für die Bestimmung der Hochwassergefährdung an der Aare erstellt. Die Studie umfasst neben dem Hauptbericht verschiedene Detailberichte und Resultatmappen /1/.

Für den Standort Paul Scherrer Institut (nachfolgend PSI genannt) hat EXAR in einem zusätzlichen Bericht das 1'000- und das 10'000-jährliche Hochwasser weiter spezifiziert (/2/, beiliegend). Er bildet die Grundlage für die deterministischen Sicherheitsnachweise bezüglich Hochwasser.

Die EXAR-Studie zeigt auch, dass morphologische Prozesse eine grössere Rolle spielen, als bis anhin in den Sicherheitsnachweisen angenommen wurde, weshalb in neuen Sicherheitsnachweisen auch der Uferschutz zu analysieren sein wird.

Falls für die Sicherheitsnachweise zusätzliche Angaben aus den vorliegenden Modellen benötigt werden, können diese aus Sicht des ENSI bei EXAR angefragt werden.

Das ENSI erachtet die Resultate von EXAR als geeignete Grundlage zur Beurteilung der Hochwassersicherheit der Schweizer Kernanlagen an der Aare. Aufgrund der neuen Erkenntnisse erachtet das ENSI es als notwendig, die Sicherheitsnachweise entsprechend Dispositivziffer 2 zu aktualisieren.

## **1.3 Rechtliches Gehör**

Mit Schreiben vom 22. Februar 2021 hat das ENSI den Verfügungsentwurf dem PSI im Sinne der Gewährung des rechtlichen Gehörs zur Stellungnahme zugesandt. Mit Schreiben vom 12. April 2021 /3/ hat das PSI zum Entwurf der vorliegenden Verfügung Stellung genommen. Die Erwägungen des ENSI zu den Vorbringen des PSI sind in einer separaten Stellungnahme /4/ dokumentiert.

Gestützt auf diese Erwägungen und unter Berücksichtigung der Vorbringen des PSI im Rahmen des rechtlichen Gehörs



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Verfügung: Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare

**verfügt das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat:**

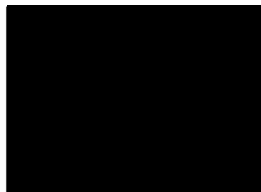
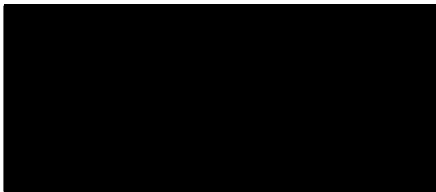
1. **Hochwassergefährdungsannahmen:** Bei der Hochwassergefährdung wird zwischen der Gefährdung durch die Wasserspiegellage (WSPL) sowie der Gefährdung durch Erosion<sup>1</sup> unterschieden.

Für den Standort PSI gelten für das 1'000- und 10'000-jährliche Hochwasser die Gefährdungsannahmen gemäss dem Dokument «Extremhochwasser an der Aare. Szenariendokument Projekt EXAR. Beschreibung des 1'000- und des 10'000-jährlichen Hochwassers am Beurteilungsperimeter PSI» /2/ vom 6. Oktober 2021.

2. **Sicherheitsnachweise:** Das PSI hat bis Ende 2022 für die relevanten Anlagen folgende Sicherheitsanalysen durchzuführen (Geschäft 22/21/002):
- a) Die Ufererosion für das 1'000- und 10'000-jährliche Hochwasser ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Eigenschaften (u. a. Ufersedimente und Uferverbauungen) zu untersuchen (Ufererosionsanalyse).
  - b) Auf Basis der Ufererosionsanalyse ist für das 1'000- und das 10'000-jährliche Hochwasser der Uferschutz zu überprüfen und zu bewerten, ob Verbesserungsmassnahmen angezeigt sind.
  - c) Die Auswirkungen der Erosion gemäss den Ergebnissen der Ufererosionsanalyse auf die Einrichtungen des PSI sind darzulegen und die Beherrschung für das 1'000- und das 10'000-jährliche Hochwasser gemäss den Richtlinien ENSI-A01, ENSI-A08 und ENSI-G14 ist nachzuweisen. Die gemäss Ufererosionsanalyse auftretende WSPL ist beim Nachweis zu berücksichtigen.

Freundliche Grüsse

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI



---

<sup>1</sup> Erosion umfasst Terrain- und Gerinneveränderungen infolge von fluvial bedingten morphologischen Prozessen (vgl. /2/, S. 4, Einleitung)



**Klassifizierung:**  
Betreff:

**keine**  
Verfügung: Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare

### **Rechtsmittelbelehrung**

Gegen diese Verfügung kann innert 30 Tagen seit Zustellung Beschwerde erhoben werden. Die Beschwerde ist beim Bundesverwaltungsgericht, Postfach, 9023 St. Gallen, einzureichen.

Die Frist steht still:

- a) vom 7. Tag vor Ostern bis und mit dem 7. Tag nach Ostern;
- b) vom 15. Juli bis und mit dem 15. August;
- c) vom 18. Dezember bis und mit dem 2. Januar.

Die Beschwerde ist mindestens im Doppel einzureichen und hat die Begehren, deren Begründung mit Angabe der Beweismittel und die Unterschrift des Beschwerdeführers oder seines Vertreters zu enthalten. Die Ausfertigung der angefochtenen Verfügung (oder eine Fotokopie) und die als Beweismittel angerufenen Urkunden sind beizulegen, soweit der Beschwerdeführer sie in Händen hat.

### **Beilage**

- Pfäffli, M., Irniger, A., Steeb, N., 2021: Extremhochwasser an der Aare. Szenariendokument Projekt EXAR. Beschreibung des 1'000- und des 10'000-jährlichen Hochwassers am Beurteilungssperimeter PSI. Birmensdorf: 24 S., rev 06.10.2021

### **Referenzen**

- /1/ EXAR-Gesamtdokumentation (Hauptbericht, Detailberichte und Resultatmappen)
- /2/ Pfäffli, M., Irniger, A., Steeb, N., 2021: Extremhochwasser an der Aare. Szenariendokument Projekt EXAR. Beschreibung des 1'000- und des 10'000-jährlichen Hochwassers am Beurteilungssperimeter PSI. Birmensdorf: 24 S., rev 06.10.2021
- /3/ PSI-Brief, [REDACTED] «Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare», 12.04.2021
- /4/ ENSI-Brief, [REDACTED] - 22KEX.HW; 22/21/002, «Stellungnahme des ENSI zur Anhörungantwort des Paul Scherrer Instituts betreffend Verfügung «Gefährdungsannahmen EXAR-2021»», 12.11.2021



## Extremhochwasser an der Aare

### Szenariendokument Projekt EXAR

Beschreibung des 1'000- und des 10'000-jährlichen Hochwassers am  
Beurteilungsperimeter PSI

**Impressum**

Datum: publ. 02.02.2021 / rev. 06.10.2021

**Herausgeber**

Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

**Auftraggeber**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

**Projektleitung**

Roni Hunziker (HZP), Severin Schwab (GEOTEST), Christoph Hegg (WSL)

**Redaktion**

Matthias Pfäffli (HZP), Andrea Irniger (HZP), Nicolas Steeb (WSL)

**Autoren und Mitarbeit**

HZP	Matthias Pfäffli, Andrea Irniger, Roni Hunziker
PSI	Vinh Dang, Calvin Whealton
WSL	Nicolas Steeb, Norina Andres

**Zitiervorschlag**

Pfäffli, M., Irniger, A., Steeb, N. 2021: Extremhochwasser an der Aare. Szenariendokument Projekt EXAR. Beschreibung des 1'000- und des 10'000-jährlichen Hochwassers am Beurteilungsperimeter PSI. Birmensdorf: 24 S.

**Hinweis**

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Einführung in den Beurteilungsperimeter .....	5
2.1	Angaben für den Beurteilungsperimeter des PSI .....	5
2.2	Charakteristik der Aare im Beurteilungsperimeter .....	7
3	Repräsentative Szenarien für die Beschreibung des 1'000- bzw. 10'000-jährlichen Hochwassers...	7
4	Gefährdung durch Überflutung.....	9
4.1	Wasserspiegellage des 1'000- und 10'000-jährlichen Hochwassers.....	9
4.2	Maximale hydraulische Belastungen im Beurteilungsperimeter .....	11
4.3	Zeitreihen beim Beurteilungsperimeter PSI .....	14
4.3.1	Abflussganglinien beim Beurteilungsperimeter PSI .....	14
4.3.2	Ganglinien von hydraulischen Parametern beim Beurteilungsperimeter PSI.....	15
4.4	Zusätzliche Angaben zum zeitlichen Verlauf der Hochwasserganglinien .....	18
4.4.1	Informationen aus der hydrologischen Zeitreihe für den Beurteilungsperimeter PSI..	18
4.4.2	Informationen aus den spezifischen Szenarien für den Beurteilungsperimeter PSI.....	21
5	Literatur.....	24

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes EXAR wurde die Gefährdung in den Beurteilungsperimetern durch verschiedene Hochwasserszenarien, kombiniert mit Versagensprozessen von wasserbaulichen Bauwerken, Rutschungen, Verkläunungen und morphologischen Prozessen untersucht. Dabei wurde zwischen

- der Gefährdung durch die Wasserspiegellage und daraus folgende hydraulische Belastungen sowie
- durch Terrain- und Gerinneveränderungen infolge von fluvial bedingten morphologischen Prozessen

unterschieden.

Ziel dieses Dokuments ist es, das 1'000-jährliche und das 10'000-jährliche Hochwasser für das Gelände des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) inklusive dem Bundeszwischenlager für radioaktive Abfälle (BZL) zu beschreiben. Dazu wurde anhand der mittleren Gefährdungskurve die Wasserspiegellagen an den einzelnen Referenzpunkten auf dem Areal ermittelt, die mit der Häufigkeit 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr erreicht oder überschritten werden (Kap. 4.1). Für die beiden durch die Wasserspiegellage derart definierten Hochwasser wird zusätzlich die jeweils zugehörige Gefährdung durch morphologische Prozesse dargelegt.

Um neben der Wasserspiegellage weitere Parameter zu beschreiben, wurden die Ergebnisse der hydraulischen Simulation von repräsentativ gewählten Szenarien verwendet. Die repräsentativen Szenarien weisen Wasserspiegellagen auf, die im Häufigkeitsbereich von 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr liegen und sind insbesondere geeignet, hydraulische Belastungen und Zeitreihen beim Beurteilungsperimeter aufzuzeigen (Kap. 4.2 bis 4.4).

Der Klarheit halber sei hier vermerkt, dass für das 1'000- bzw. 10'000-jährliche Hochwasser die Wasserspiegellage, die mit der Häufigkeit 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr erreicht oder überschritten wird, massgebend ist. Die Häufigkeit bezieht sich also auf die Wasserspiegellage und nicht auf die Eintrittshäufigkeit des Szenarios.

### Gefährdung durch Überflutung

Die Gefährdung durch Überflutung wird durch die Wasserspiegel beschrieben. Dazu wurden mit einem hydraulischen 2D-Modell verschiedene Szenarien als instationäre Simulationen berechnet und daraus die maximalen Wasserspiegellagen herausgelesen. Die Auswirkungen auf die Wasserspiegel durch die morphologischen Prozesse wurden addiert oder subtrahiert. Die so berechnete maximale Wasserspiegellage wurde mit der für das Szenario relevanten Häufigkeit aus dem Ereignisbaum in einer Gefährdungskurve für die einzelnen Referenzpunkte in den Beurteilungsperimetern der KKW's Mühleberg, Gösgen und Beznau sowie an den Standorten PSI und Olten dargestellt. Die Gefährdungskurve zeigt die Überschreitungshäufigkeit der maximalen Wasserspiegellage an einem Referenzpunkt. Die Resultate der hydraulischen Untersuchungen beinhalten zudem quantitative Angaben zu den Fliessgeschwindigkeiten, Fliesstiefen oder Schubspannungen.



## **Gefährdung infolge morphologischer Prozesse**

Von den morphologischen Prozessen geht eine zusätzliche Gefährdung aus, welche durch die Wasserspiegel nicht abgebildet wird<sup>1</sup>. Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation wird aber auf die Beschreibung dieser Gefährdung verzichtet, weil hierfür umfangreiche ortsspezifische Daten erhoben werden müssten und mit dem für das Projekt definierten Mitteln nicht die gleiche Genauigkeit wie bei der Beurteilung der Strömungsprozesse erreicht werden kann. Im vorliegenden Dokument werden darum nur die mit dem Strömungsmodell berechneten hydraulischen Belastungen in Form von Schubspannung, Fließgeschwindigkeiten und Fliesstiefen beschrieben. Es sind weitergehende Analysen mit ortsspezifischen Daten erforderlich, um das Ausmass der Erosion abzuklären.

## **2 Einführung in den Beurteilungssperimeter**

Im Bereich des Beurteilungssperimeters PSI, für welches eine Gefährdungsanalyse durchgeführt wurde, befindet sich auch das Bundeszwischenlager für radioaktive Abfälle (BZL).

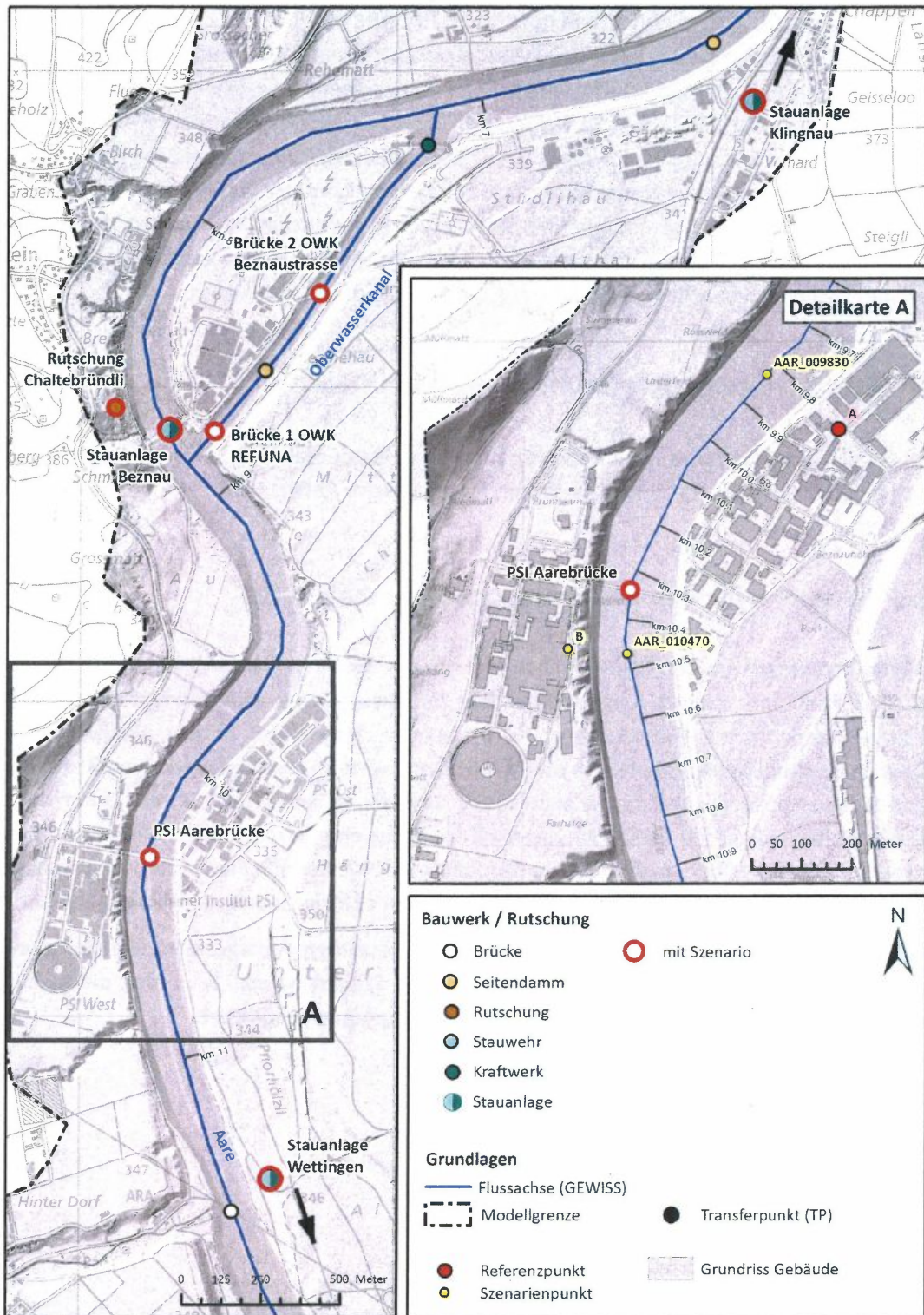
### **2.1 Angaben für den Beurteilungssperimeter des PSI**

Der Beurteilungssperimeter PSI (BP PSI) befindet sich zwischen den Transferpunkten Stilli und Mündung in den Rhein im Kanton Aargau (Abbildung 1). Etwas weiter flussabwärts befindet sich der Beurteilungssperimeter Beznau. Dort wird an der Stauanlage Beznau, Wasser durch den Oberwasserkanal (OWK) geleitet das rund 1 km flussabwärts im Flusskraftwerk Beznau turbinert wird. Das Stauwehr Beznau entkoppelt zudem den Beurteilungssperimeter PSI vom Unterwasser. Dies bedeutet, dass sämtliche Bauwerke unterhalb des Stauwehrs Beznau keinen Einfluss auf den BP PSI haben können. Im Oberwasser des Transferpunkts Stilli fließen die Flüsse Reuss und Limmat in die Aare. Ca. 12 km oberhalb des Zusammenflusses befindet sich die Stauanlage Wettingen an der Limmat.

Die relevanten Angaben beziehen sich auf den in der Detailkarte A dargestellten Referenzpunkt A, für den eine Gefährdungskurve erstellt wurde. Für den Szenarienpunkt B wurden die hydraulischen Parameter ausgewertet aber keine eigenen Gefährdungskurven entwickelt.

---

<sup>1</sup> Es wird zwischen den Auswirkungen der morphologischen Prozesse auf die Wasserspiegellagen (vgl. Kap. 4.1) und der Auswirkungen auf Gerinne- und Terrainveränderungen rund um das Gelände des PSI unterschieden. Die Auswirkungen der morphologischen Prozesse auf die Wasserspiegellagen sind Bestandteil der vorliegenden Dokumentation, die Untersuchung von möglichen Gerinne- und Terrainveränderungen sind Bestandteil der EXAR-Studie. Eine allgemeine Beschreibung dieser Prozesse ist im EXAR Hauptbericht Kap. 15.4 sowie im Detailbericht F zu finden.



**Abbildung 1:** Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit dem Beurteilungserimeter PSI (BP PSI), der durch den Nahbereich der Referenz- und Szenarienpunkte definiert wird. Punkte in der Hauptabbildung zeigen im Projekt EXAR untersuchte Analysestandorte (Bauwerke und Rutschungen) und Transferpunkte. Rot eingekreist sind Analysestandorte, die näher untersucht wurden, ggf. mit hydraulischen 2D-Simulationen. In den Detailkarten sind nähere Ausschnitte mit den Referenz- (rot) und Szenarienpunkten (gelb) gegeben.

## 2.2 Charakteristik der Aare im Beurteilungsperimeter

Die Aare verläuft im Abschnitt des Beurteilungsperimeters PSI in einem, in den Niederterrassenschotter eingeschnittenen, ca. 150 m breiten Gerinne. Die Strömung wird durch den Rückstau der ca. 1 km flussabwärts liegenden Stauanlage Beznau beeinflusst. Im naturnahen Zustand wies die Aare eine ähnliche Breite wie heute auf (ca. 190 - 210 m), wobei an einzelnen Stellen lokale Aufweitungen bestanden. Der Standort der Flussschleifen hat sich gegenüber früher nicht verändert.

Die Breitenentwicklung sowie die Linienführung sind durch die Talmäander eingeschränkt. Infolge der geringen Gerinnebreite sowie des vorherrschenden Geschiebedefizits in der Aare ist die morphologische Dynamik eingeschränkt und es sind keine ausgeprägten morphologischen Strukturen sichtbar.

## 3 Repräsentative Szenarien für die Beschreibung des 1'000- bzw. 10'000-jährlichen Hochwassers

Um neben der Wasserspiegellage noch weitere Überflutungsparameter zu beschreiben, wurden die Ergebnisse der hydraulischen Simulation von repräsentativ gewählten Szenarien verwendet. Basierend auf der Gefährdungskurve für den Referenzpunkt A (Kapitel 15.3 im Hauptbericht) wurden für den Beurteilungsperimeter PSI das Szenario 1 für das 1'000-jährliche und das Szenario 8 für das 10'000-jährliche Hochwasser als repräsentativ erachtet. Die Nummerierung der Szenarien entspricht derjenigen des Hauptberichts.

Beim Szenario 1 (Häufigkeit in der Grössenordnung von 1E-3/Jahr) handelt es sich um ein hydrologisches Szenario, bei dem das Initialereignis FL3 die Grundlage für das Szenario bildet. Das bedeutet, dass sämtliche Bauwerke wie vorgesehen funktionieren. So wird bei der Stauanlage Beznau beispielsweise angenommen, dass sämtliche Wehrfelder geöffnet sind („n-0“), der Kraftwerksbetrieb bis zum definierten maximalen Wasserspiegel ohne Störung funktioniert und keine sonstigen Störungen im System auftreten. Es treten weiter keine Rutschungen, Verklausungen von Brücken oder Breschenbildungen an Seitendämmen auf. Beim Szenario 8 (Häufigkeit in der Grössenordnung von 1E-4/Jahr) handelt es sich um die Kombination von einem FL4-Ereignis und einer Verklausung an der PSI-Brücke mit einem 100-jährlichen Holzvolumen.

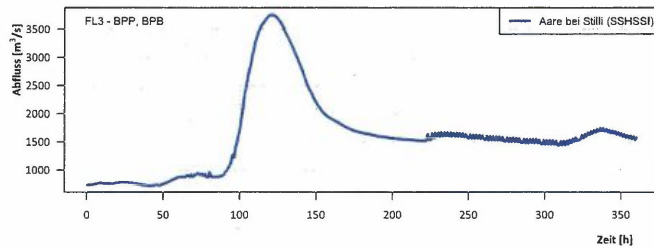
Die hydrologischen Initialereignisse<sup>2</sup> FL3 und FL4 wurden aus der Extremwertstatistik für den Spitzenabfluss (jährlicher, maximaler Abfluss) ermittelt. Die gewählte Ganglinie entspricht einem effektiv berechneten Ereignis, welches am betrachteten Transferpunkt eine Form aufweist, die so gut wie möglich dem Median resp., da die Streuung ungefähr symmetrisch ist, einem Mittelwert aller Ganglinien entspricht, die den gesuchten Spitzenabfluss erreichen (Kapitel 5.5 und 15.2 im Hauptbericht). Zur Übersicht werden die Ganglinien und Spitzenabflüsse der Aare bei Stilli noch einmal abgebildet (Abbildung 2 und Abbildung 3).

Die Ganglinie erreicht nach 5 Tagen (d.h. bei 120 Stunden) den maximalen Abfluss. In der hydraulischen Simulation wurde jeweils der Bereich von einem Tag vor dem Spitzenabfluss bis ein Tag nach dem

---

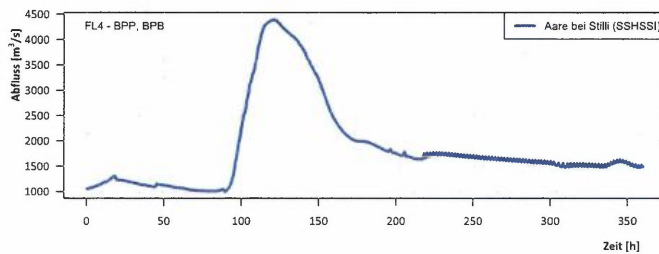
<sup>2</sup> Die Initialereignisse FL3 und FL4 beschreiben eine hydrologische Ganglinie mit einer Häufigkeit in der Grössenordnung von 1E-3/Jahr resp. 1E-4/Jahr auf. Für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit des Initialereignisses wurden sämtliche Ereignisse betrachtet, welche innerhalb eines definierten Intervalls des Spitzenabflusses liegen (Event-Klasse FL3 resp. FL4, vgl. EXAR Hauptbericht, Kapitel 5.5 für weitere Erläuterungen).

Spitzenabfluss berechnet (d.h. in den Simulationsergebnissen entspricht der Startwert von 0 Stunden der Stunde 96 in Abbildung 2 resp. Abbildung 3).



Gerinne	Spitzenabfluss [ $m^3/s$ ]
Aare (Stilli)	3760

Abbildung 2: Ganglinie des hydrologischen Initialereignisses FL3 für die Kombination mit dem Szenario 1.



Gerinne	Spitzenabfluss [ $m^3/s$ ]
Aare (Stilli)	4399

Abbildung 3: Ganglinie des hydrologischen Initialereignisses FL4 für die Kombination mit dem Szenario 8.

Beim Szenario 1 wird das gesamte Wasser im Beurteilungsbereich PSI vollständig in der Aare abgeleitet und führt zu keiner Überflutung auf dem Areal.

Die Verklammerung der PSI Aarebrücke - in Kombination mit einem FL4 (Szenario 8) führt zu einem Anstieg der Wasserspiegellage im Oberwasser der Brücke und dadurch zu einem rechtsseitigen Umströmen der Brücke. Die Überflutung ist lokal auf den Nahbereich der Brücke begrenzt und das Wasser fließt unterhalb der Brücke wieder in die Aare zurück. Der Referenzpunkt A und der Szenariopunkt B werden bei den betrachteten Szenarien 1E-3/Jahr und 1E-4/Jahr nicht überflutet.

Weitere Informationen zu den Szenarien 1 und 2 finden sich in der Resultatmappe 3, BPP, Kapitel 4.4, I und II.1.

## 4 Gefährdung durch Überflutung

### 4.1 Wasserspiegellage des 1'000- und 10'000-jährlichen Hochwassers

In diesem Kapitel sind die Wasserspiegellagen für das 1E-3/Jahr und das 1E-4/Jahr Hochwasser beim Referenzpunkt A Beurteilungsperimeters PSI angegeben (vgl. Tabelle 1). Die Wasserspiegellage entspricht der mittleren Gefährdung (blaue Linie in der Gefährdungskurve) bei einer Überschreitungshäufigkeit von exakt 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr. Änderungen der Wasserspiegellage infolge der morphologischen Prozesse sind darin berücksichtigt<sup>3</sup>.

Die Wasserspiegellage für den Referenzpunkt A basiert auf der im Hauptbericht EXAR dokumentierten Gefährdungskurve und der Szenarientabelle (Hauptbericht Kap. 15.3). Da die Gefährdungskurve nur für den Referenz- und nicht für den Szenarienpunkt erstellt wurde, kann für den Szenarienpunkt keine Wasserspiegellage von exakt 1E-3/Jahr resp. 1E-4/Jahr angegeben werden. Die Wasserspiegellage beim Szenarienpunkt, welcher einer mittleren Gefährdung gemäss Gefährdungskurve entspricht, wurde näherungsweise aus den detailliert beschriebenen, repräsentativen Szenarien (Kap. 4.2 ff.) übernommen.

Die in der Tabelle 2 angegebene Wasserspiegellage setzt sich aus dem Mittelwert der maximalen Wasserspiegellage aus der hydraulischen Modellierung (inkl. Unsicherheiten) und dem Mittelwert der Änderung der Wasserspiegellage infolge der morphologischen Prozesse (inkl. Unsicherheiten) zusammen.

**Tabelle 1:** *Wasserspiegellagen aus der mittleren Gefährdungskurve bei einer Häufigkeit von 1E-3/Jahr und 1E-4/Jahr für den Referenzpunkt A beim Beurteilungsperimeter PSI.*

Referenzpunkt		Höhe Terrain [m ü. M.]	Wasserspiegellage	
			für die mittlere Gefährdung mit Morphologie [m ü. M.]	
			1E-3/Jahr	1E-4/Jahr
BP PSI	A	332.46	327.8*	328.5*

\* Die Wasserspiegellage liegt tiefer als die Terrainkote beim Referenzpunkt A. Der Referenzpunkt liegt in diesem Fall trocken.

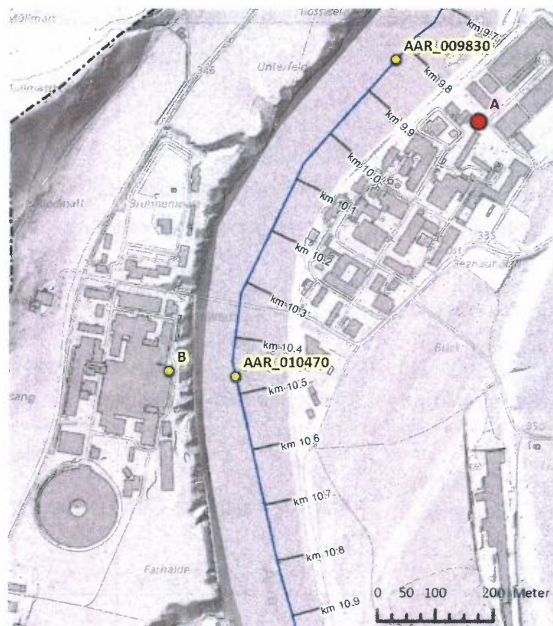
<sup>3</sup> Die Wasserspiegel beinhalten auch die Auswirkungen der morphologischen Prozesse. Diese wurden mit Hilfe eines 2D-Geschiebmodells untersucht. Die morphologischen Simulationen des Referenzszenarios zeigten, dass die morphologischen Prozesse zu einer Absenkung der maximalen Wasserspiegel um ca. 20 cm führen können. Diese Änderung der Wasserspiegel durch morphologische Prozesse sind - inklusive der dazu gehörenden, nicht symmetrischen Unsicherheiten - in der Gefährdungskurve berücksichtigt, wodurch sie auch die Werte in den vorliegenden Tabellen 1 und 2 beeinflussen. Die Unsicherheiten sind im Detailbericht F, Kap. 10, Tabelle 14 übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 2:** Mittelwerte der zu erwartenden Wasserspiegellagen für Szenario 1 (repräsentativ für 1E-3/Jahr) und Szenario 8 (repräsentativ für 1E-4/Jahr) für den Szenarienknoten B beim Beurteilungsumfang PSI.

Szenarienknoten		Höhe Terrain [m ü. M.]	Wasserspiegellage	
			für die mittlere Gefährdung mit Morphologie [m ü. M.]	
			1E-3/Jahr Szenario 1	1E-4/Jahr Szenario 8
BP PSI	B*	345.20	328.63**	332.31**

\* Für den Szenarienknoten B wurde keine Gefährdungskurve entwickelt. Entsprechend lässt sich die Wasserspiegellage nicht für eine Häufigkeit von exakt 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr bestimmen. Als Anhaltspunkt diese Jährlichkeiten dienen die in Kap. 3 beschriebenen repräsentativen Szenarien 1 und 8.

\*\* Hydraulische Simulationen resultieren in keiner Überflutung. Die WSPL werden am Hilfspunkt AAR\_010470 in der Aare abgelesen und die Änderung der WSPL infolge morphologischer Prozesse dazugerechnet. Diese sind niedriger als das Terrain beim Szenarienknoten B. Der Szenarienknoten bleibt in diesem Fall trocken.



**Abbildung 4:** Detailkarte vom Referenzpunkt A, Szenarienknoten B und den beiden Hilfspunkten in der Aare (AAR\_010470, AAR\_009830).

## 4.2 Maximale hydraulische Belastungen im Beurteilungsperimeter

Die folgenden Karten (Abbildung 5 bis Abbildung 8) zeigen die maximalen Fliesstiefen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen für die Szenarien 1 und 8 im Beurteilungsperimeter PSI. Die Darstellungen zeigen die maximalen Werte pro Element im Berechnungsnetz über die gesamte Simulationsdauer (somit stellt die Karte unterschiedliche Zeitstände dar). Die Resultate sind Berechnungsergebnisse aus der hydraulischen Modellierung und beinhalten keine Korrekturen durch morphologische Veränderungen im Gerinne.

Wie die Simulationen zeigen, wird das Areal des PSI bei beiden Szenarien nicht überflutet. Im Gerinne treten Fließgeschwindigkeiten von mehr als 5 m/s und Abflusstiefen von 6 bis 8 m auf (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 7). Da keine Wasseraustritte stattfinden, konzentriert sich die Strömung im Gerinne, in welchem Schubspannungen von rund 100 N/m<sup>2</sup> auftreten (Abbildung 6 und Abbildung 8).

Bei der PSI-Brücke sind zwei vernachlässigbare Randeffekte bzw. Modellierungsartefakte dargestellt, die durch die Randbedingungen der Modellierung entstanden sind (Abbildung 8):

Erstens sind lokal höhere Schubspannungen im Bereich der Widerlager berechnet worden. Im hydraulischen Modell wird die Brücke als Fließhindernis mit einer Pegel-Abfluss-Beziehung berücksichtigt. Das Wasser wird entlang der oberwasserseitigen Brückenkante entnommen und entlang der unterwasserseitigen Brückenkante wieder zugegeben. Bei anfänglichen, niedrigen Fliesstiefen im Unterwasser entsteht durch die Zugabe auf ganzer Breite der Effekt, dass das Wasser sowohl rechts- als auch linksseitig der Böschung entlang ins Gerinne fließt und so entlang der steilen Böschung höhere Schubspannungen verursacht.

Zweitens wurden aufgrund der gewählten Methodik zur Berücksichtigung einer Brückenverkläuserung im Szenario 8 rechtsseitig kleinflächige Überströmungen entlang des Ufers unterhalb der Brücke berechnet (Abbildung 7). Von einer Überflutung des PSI-Areals ist dabei jedoch nicht auszugehen.

Die beiden Randeffekte geben demnach keinen direkten Hinweis auf erhöhte Schubspannungen, Überflutungsflächen oder Seitenerosion. Trotzdem sind höhere Belastungen im Bereich der PSI-Brücke und der Widerlager durchaus plausibel und müssten gegebenenfalls genauer untersucht werden. Realistische Werte hierfür sind Fließgeschwindigkeiten von 3-5 m/s und Schubspannungen von 50-100 N/m<sup>2</sup>.

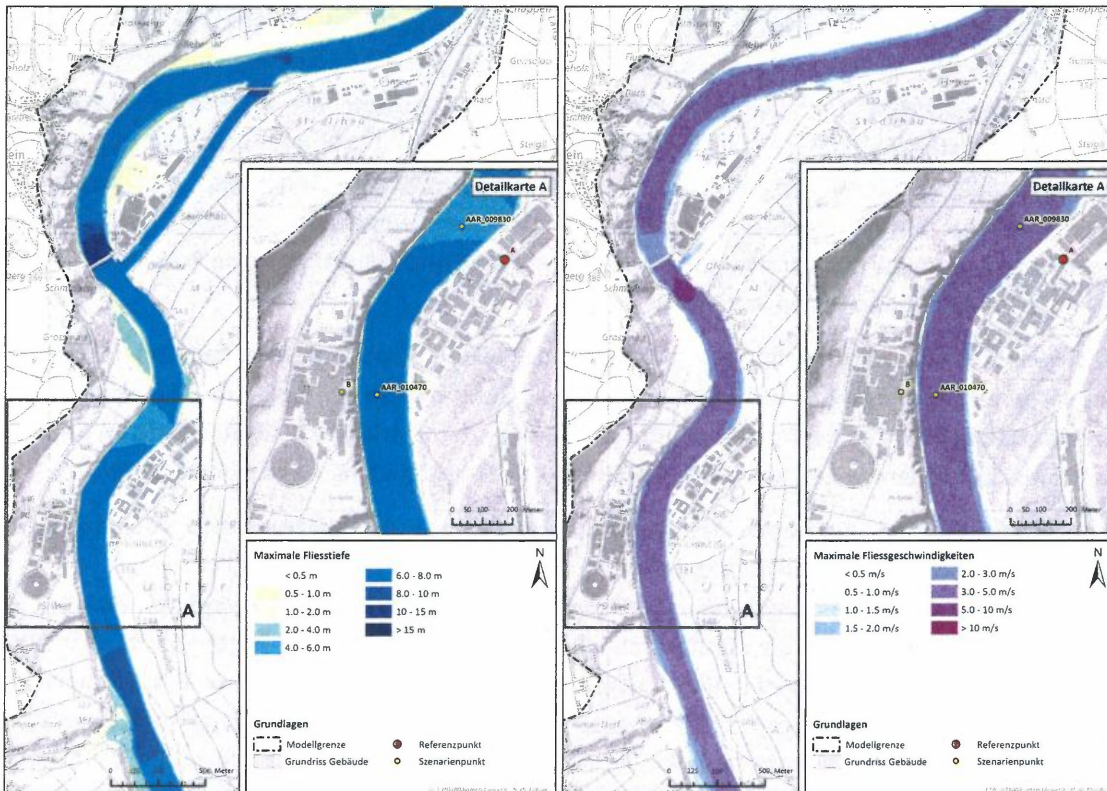


Abbildung 5: Maximale Fliesstiefen und Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 1.

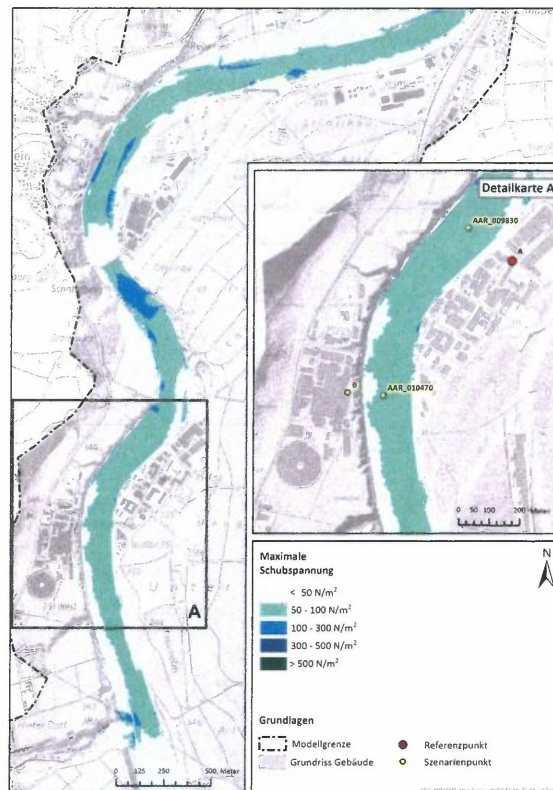


Abbildung 6: Maximale Schubspannungen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 1.



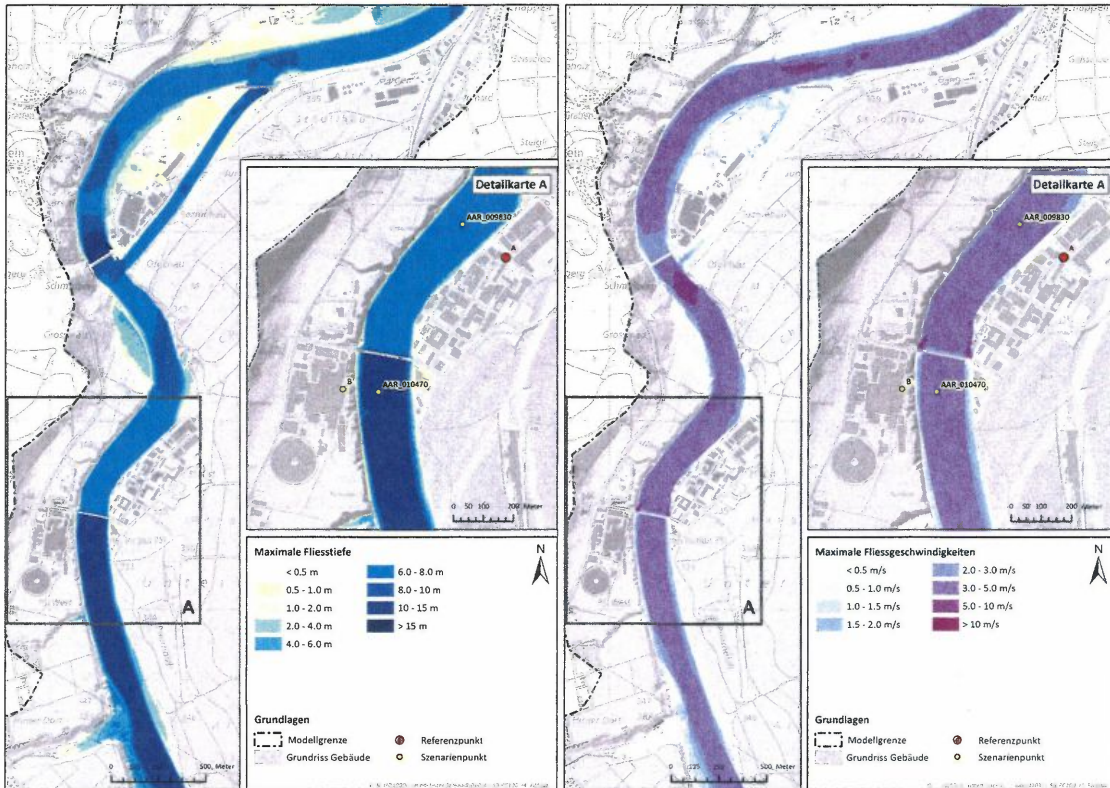


Abbildung 7: Maximale Fliesstiefen und Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 8.

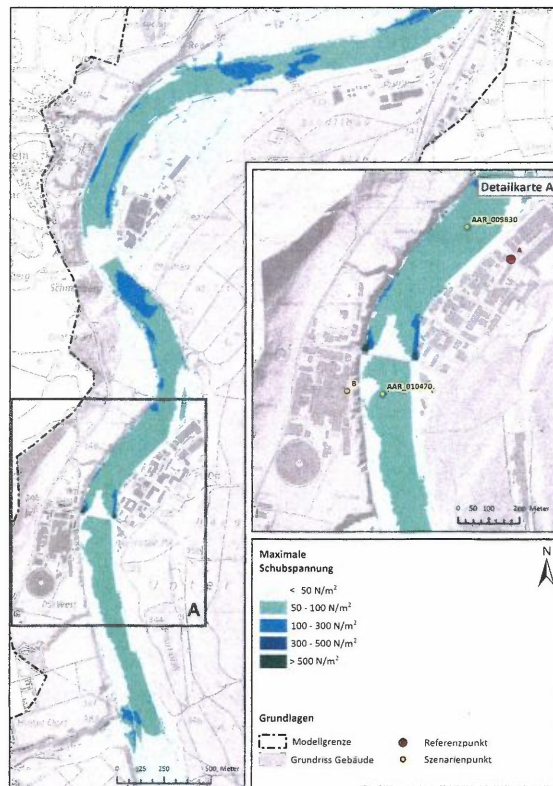


Abbildung 8: Maximale Schubspannungen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 8.

### 4.3 Zeitreihen beim Beurteilungspereimeter PSI

Neben der Angabe der relevanten Wasserspiegellagen aus der Gefährdungskurve (vgl. Kapitel 4.1) werden für die beiden Szenarien 1 und 8 weitere Resultate aus der hydraulischen Simulation angegeben. Für das PSI-Areal ist das zeitliche Verhalten des Abflusses und der weiteren, hydraulischen Parameter von Interesse. Die folgenden Abbildungen zeigen die relevanten Zeitreihen für sämtliche, benetzten Punkte im Beurteilungspereimeter. Die Resultate sind Berechnungsergebnisse aus der hydraulischen Modellierung und beinhalten keine Korrekturen durch morphologische Veränderungen im Gerinne. Eventuelle, morphologische Gerinneveränderungen sind für die Hydrographen irrelevant - die Morphologie führt nicht zu grossräumigen Veränderungen der Fließwege entlang der Aare (vgl. Hauptbericht EXAR, Kap. 11.2).

Da der Referenz- und Szenarienpunkt bei den Szenarien 1 und 8 jeweils nicht überflutet wird, zeigen die folgenden Abbildungen die relevanten Zeitreihen für die Hilfspunkte in der Aare.

#### 4.3.1 Abflussganglinien beim Beurteilungspereimeter PSI

Der Abfluss beim PSI am Aare-Querschnitt auf der Höhe des Punkts AAR\_009830 hat für beide Szenarien einen fast identische Verlauf. Die Ganglinie ist dadurch charakterisiert, dass bei den beiden Hochwasserszenarien ein starker und schneller Anstieg des Abflusses über ca. 20 Stunden stattfindet (Abbildung 9 und Abbildung 10). Danach bleibt der Abfluss während mehreren Stunden im Bereich des Spitzenabflusses und sinkt anschliessend über eine längere Zeitperiode wieder auf das Niveau des Niedrigwasserabflusses ab.

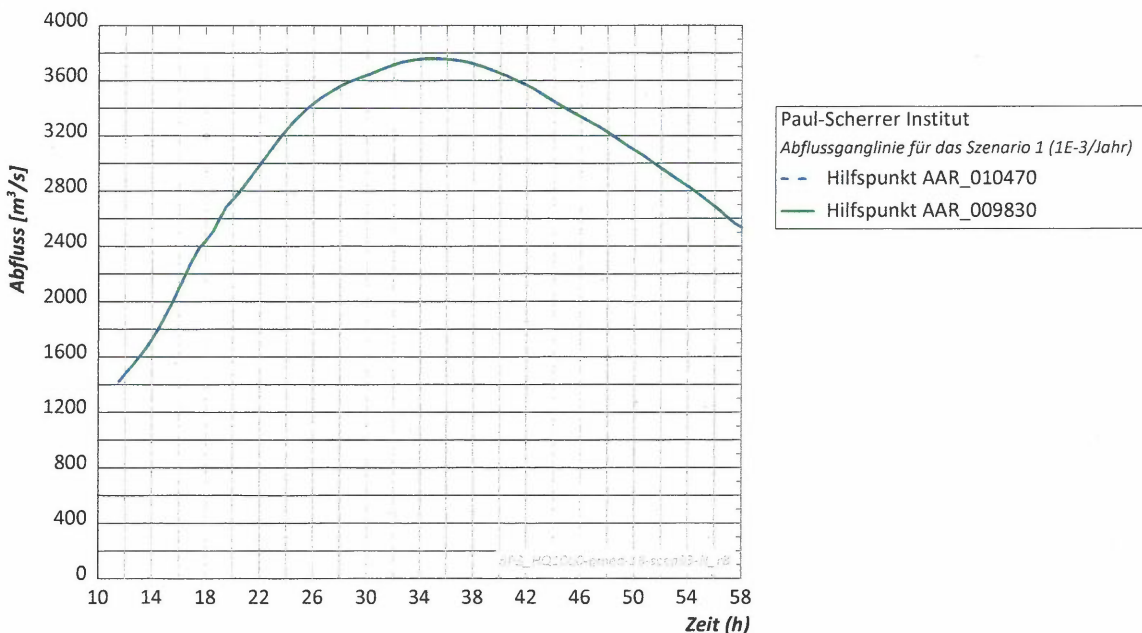


Abbildung 9: Abflussganglinie<sup>4</sup> beim Aare-Querschnitt auf der Höhe der Hilfspunkte AAR\_010470 und AAR\_009830 für das Szenario 1.

<sup>4</sup> Die Abflussberechnung über einen beliebigen Querschnitt im hydronumerischen 2D-Modell ist aufgrund der Berechnungsweise der Massenbilanz mit Unsicherheiten behaftet, welche rund +/- 5 % des berechneten Abflusswerts betragen.

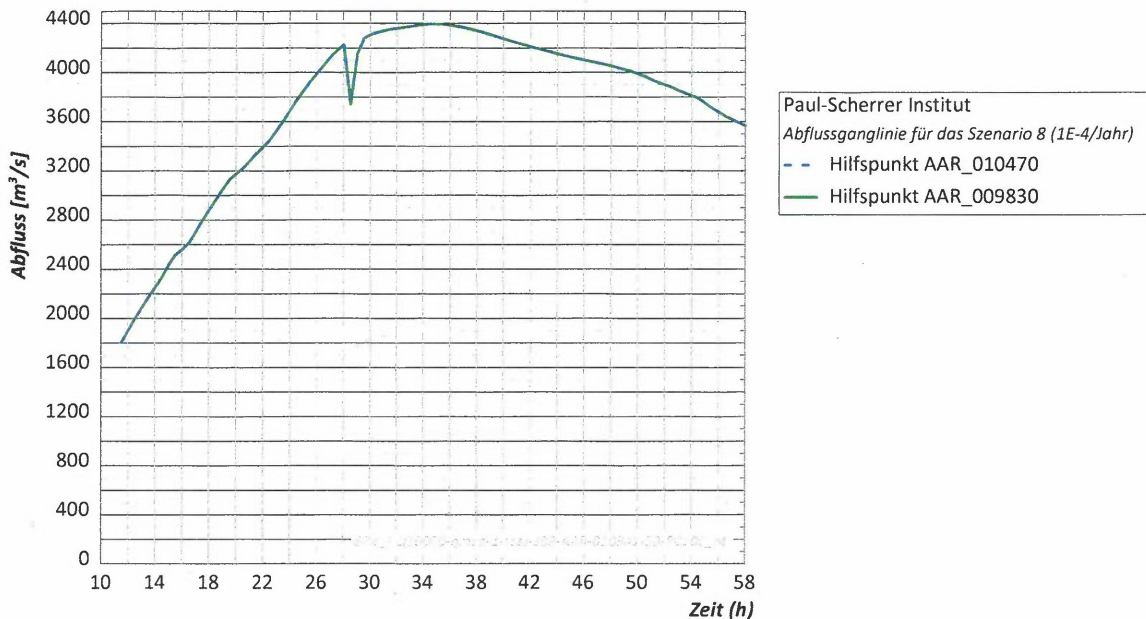


Abbildung 10: Abflussganglinie<sup>4</sup> beim Aare-Querschnitt auf der Höhe der Hilfspunkte AAR\_010470 und AAR\_009830 für das Szenario 2.

#### 4.3.2 Ganglinien von hydraulischen Parametern beim Beurteilungsexperiment PSI

Der zeitliche Verlauf der Wasserspiegellage (WSPL), der Geschwindigkeit ( $v$ ), der Energiehöhe (EH) und der Schubspannung ( $\tau$ ) ist für die beiden Szenarien 1E-3/Jahr (Szenario 1) und 1E-4/Jahr (Szenario 8) für die Hilfspunkte in der Aare abgebildet.

Die Zeitreihen der hydraulischen Parameter zeigen dabei für beide der gewählten Szenarien einen ähnlichen Verlauf auf, wobei die Werte für das Szenario 8 über den Werten des Szenario 1 zu liegen kommen. Der Verlauf der Ganglinien bei Szenario 8 zeigt, wie sich die Verklausung bei der PSI-Aarebrücke (auf der Zeitachse bei rund 28h) auf die hydraulischen Parameter auswirkt. Die Wasserspiegellage steigt um mehrere Meter an, währenddem die Fließgeschwindigkeit und die Schubspannung merklich reduziert wird. Für den Hilfspunkt unterstrom der PSI-Aarebrücke (AAR\_009830) ist die Auswirkung der Verklausung an der Brücke nur anhand einer kleinen Unstetigkeit in der Wasserspiegellage und bei der Schubspannung zu erkennen. Für die maximale Hochwassergefährdung durch die Wasserspiegellage (vgl. Kapitel 4.3.1) ist für das Szenario 1 und 8 der Zeitstempel bei rund 35 h relevant.

Ganglinien für das Szenario 1 (1E-3/Jahr)

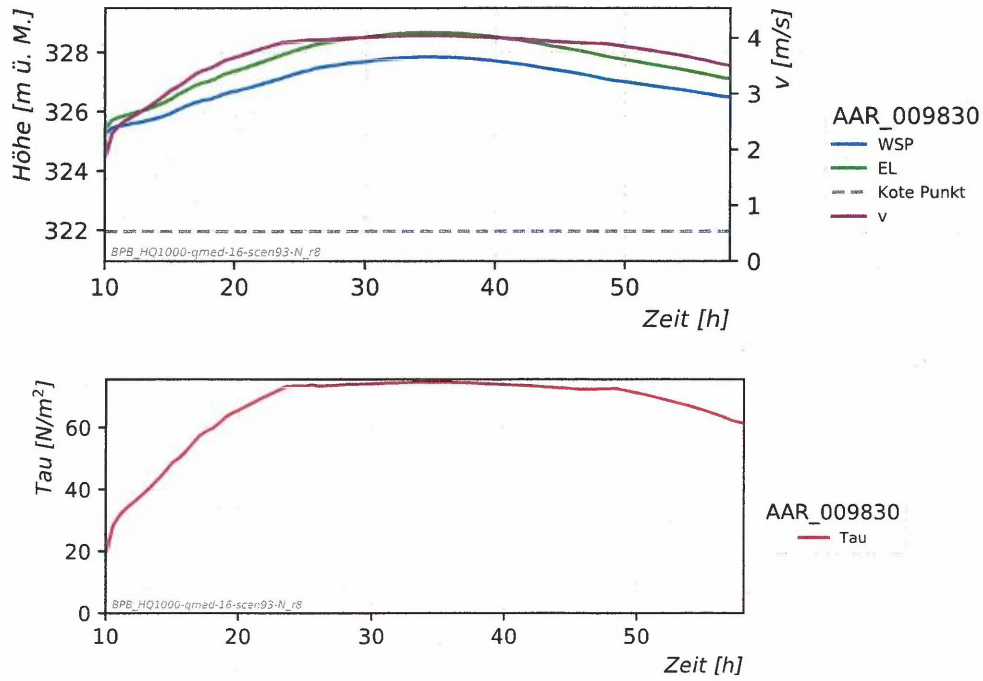


Abbildung 11: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt AAR\_009830 für das Szenario 1 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

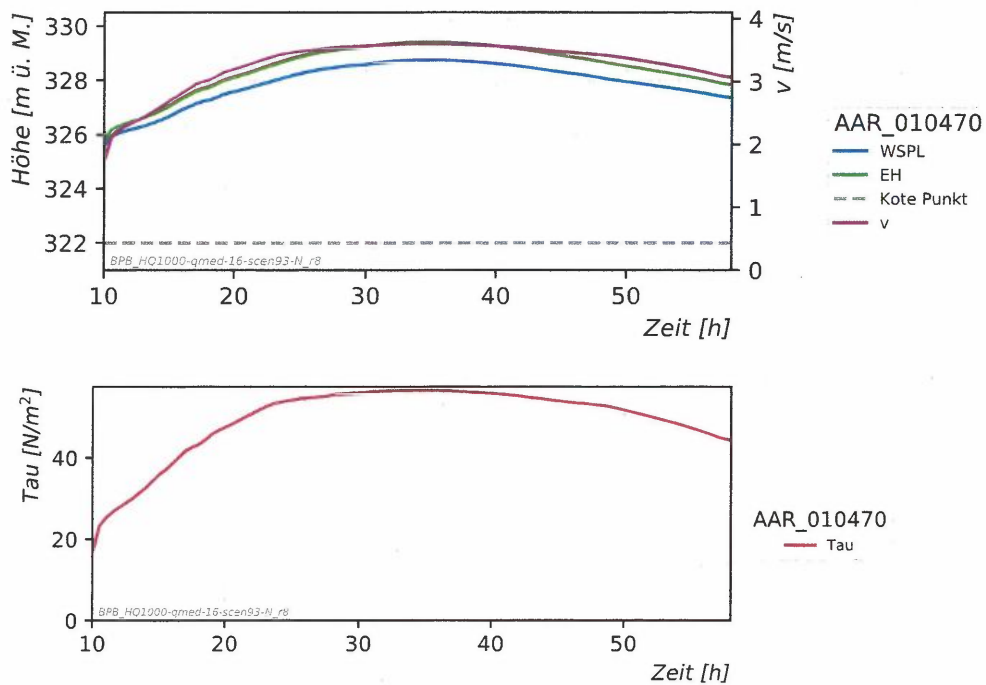


Abbildung 12: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt AAR\_010470 für das Szenario 1 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

Ganglinien für das Szenario 8 (1E-4/Jahr)

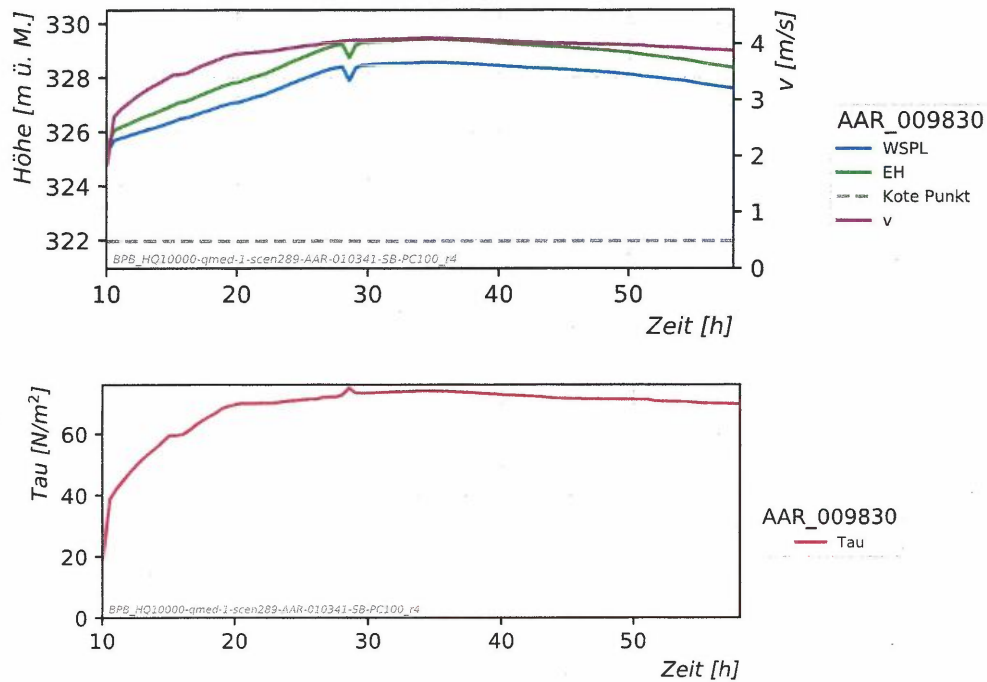


Abbildung 13: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt AAR\_009830 für das Szenario 8 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

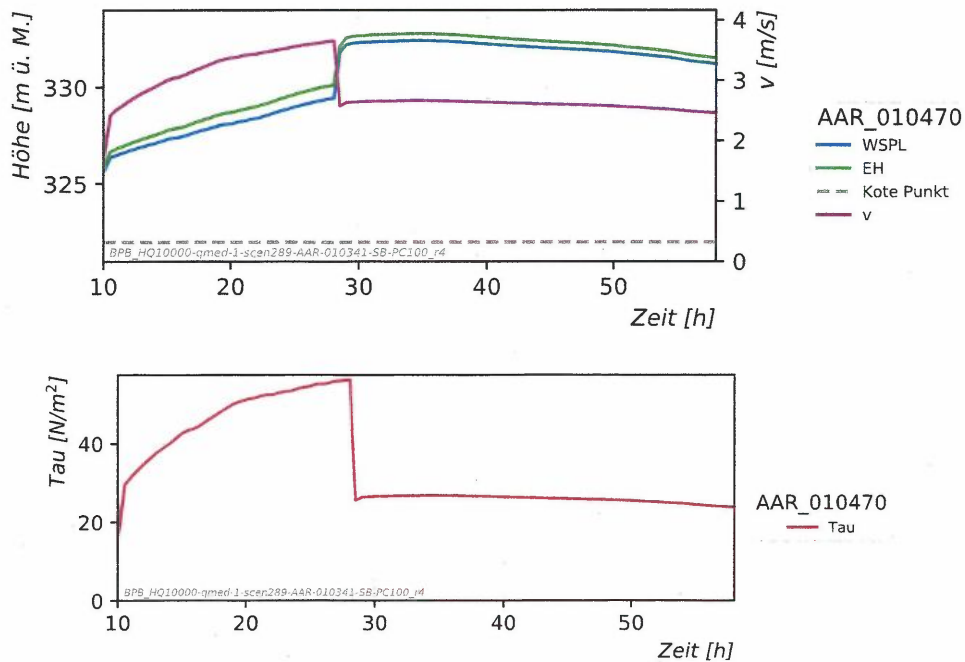


Abbildung 14: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt AAR\_010470 für das Szenario 8 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

#### 4.4 Zusätzliche Angaben zum zeitlichen Verlauf der Hochwasserganglinien

Im Rahmen einer Zusatzanalyse wurden genauere Angaben über den zeitlichen Verlauf der Hochwasserereignisse gemacht, um damit weitere Grundlagen für den Sicherheitsnachweis zu schaffen.

Es werden folgende Eigenschaften der Hochwasserganglinie ausgewertet:

- Dauer des Anstiegs der Hochwasserwelle bis zum Spitzenabfluss
- Dauer des Spitzenabflusses
- Dauer des abfallenden Astes vom Zeitpunkt des Spitzenabflusses bis wieder ein Normalzustand im Gerinne ist.

Als Normalzustand wird ein Zustand definiert, bei welchem sämtliches Wasser in der Aare abfließen kann und wo die hydraulischen Bauwerke im Gerinne in einem Normalbetrieb funktionieren. Als Vereinfachung wird angenommen, dass ein solcher Normalzustand bis zu einem Hochwasser, welches im Mittel alle 10 Jahre vorkommt (HQ10) eingehalten werden kann.

Die zum Zeitverlauf der Hochwasserganglinien zusätzlichen Angaben konnten im Rahmen einer Ergänzung aus den vorhandenen Grundlagen und Berechnungen der EXAR-Studie abgeleitet werden. Es werden keine weiterführenden Modellrechnungen durchgeführt.

##### 4.4.1 Informationen aus der hydrologischen Zeitreihe für den Beurteilungspereimeter PSI

Der Beurteilungspereimeter PSI liegt an der Aare zwischen der Mündung der Limmat (Stilli) und der Mündung der Aare in den Rhein. Das Subsystem mit den beiden Beurteilungspereimetern wird oberwasserseitig durch den Transferpunkt Stilli (SSHSSI) begrenzt.

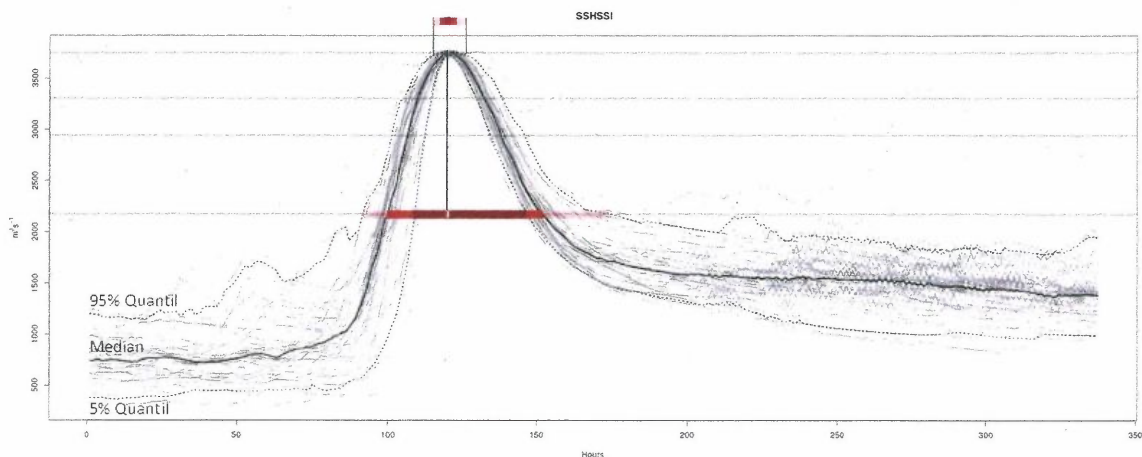
Für eine Beschreibung der zeitlichen Angaben der Hochwasserereignisse werden die Ganglinien am Transferpunkt Stilli (SSHSSI) ausgewertet (Abbildung 15 und Abbildung 16). Die Hochwasserwelle verändert sich in ihrer Form zwischen dem Transferpunkt Stilli und dem Beurteilungspereimeter kaum, da es nur kleinräumige Austritte gibt. Zwischen Stilli und dem Beurteilungspereimeter gibt es zudem aus der Hydrologie keine seitlichen Zuflüsse – diese fließen erst unterhalb des Beurteilungspereimeters PSI in die Aare (Surb in Döttingen und ein diffuser Zufluss in den Klingnauer Stausee).

Als erster Schritt zur Bestimmung der Zeitspannen der Hochwasserereignisse wurde die mögliche Streuung der Hochwasserereignisse aus der Langzeitsimulation (289'000 Jahre) ermittelt. Dafür wurden für den 1'000- und 10'000-jährlichen Spitzenabfluss je 50 Ereignisse ausgewählt, die diesen Spitzenabfluss sehr genau erreichen. Unter diesen 50 Ereignissen liegt auch das ausgewählte Initialereignis für die Gefährdungsbeurteilung (das sog. FL3- und FL4-Ereignis).

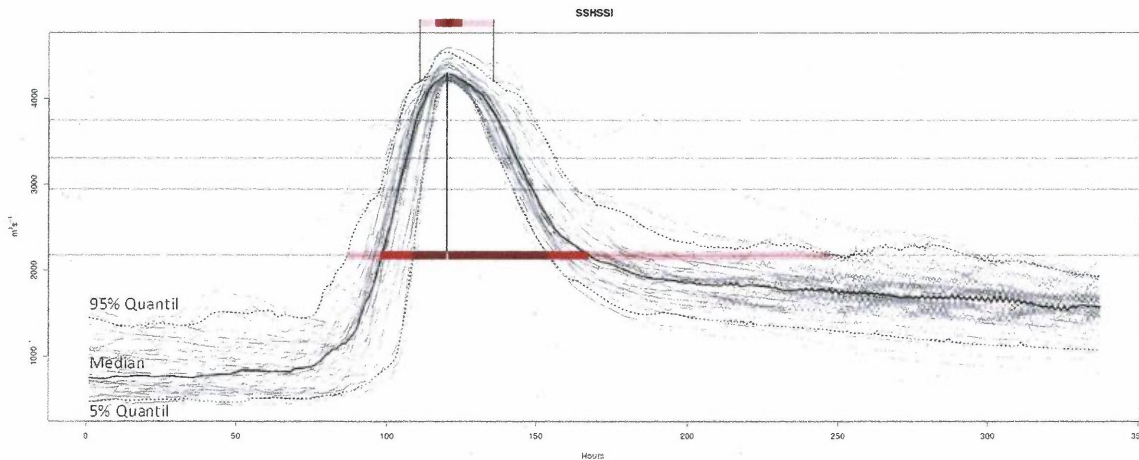
Aus den 50 Ereignissen kann ein 5%-Quantil, ein Median und ein 95% Quantil der Ganglinienschar gebildet werden (die schwarz ausgezogene Linie beschreibt den Median, die schwarz gepunkteten Linien jeweils den 5%- resp. 95%-Quantilwert). Für die folgenden Analysen wird davon ausgegangen, dass der Median ungefähr dem Mittelwert entspricht. Die Ganglinienschar in Abbildung 15 und Abbildung 16 weisen zwar nicht ganz eine symmetrische Form auf, die Abweichung zwischen Median und Mittelwert liegt jedoch im Bereich von wenigen Stunden. Somit können die Zeitangaben in Tabelle 3 für den Mittelwert übernommen werden.

In den beiden folgenden Abbildungen sind die Zeitspannen der erforderlichen Hochwasserdauer-Angaben für die verschiedenen Quantile angegeben (roter Balken mit unterschiedlicher Intensität). Die Zeitspanne beginnt, sobald die Quantilwerts-Kurve resp. die Median-Kurve den Grenzwert des HQ10 kreuzt.

Für die Auswertung der Dauer des Spitzenabflusses wurde nach dem gleichen Prinzip der Zeitraum beurteilt, in welchem sich der Abfluss der Ganglinienschar im Bereich des Grenzwerts des 1'000- resp. 10'000-jährlichen Spitzenabflusses bewegt. Die Dauer, in welcher der Abfluss im Bereich des Spitzenabflusses liegt, wurde - sofern sie eine relevante Grösse erreicht ( $> 5\text{h}$ ) von der Anstiegszeit und der abfallenden Zeit subtrahiert.



**Abbildung 15:** Auswahl von 50 Ereignissen am Transferpunkt Stilli, deren Spitzenabflüsse die grösste Ähnlichkeit mit der statistischen Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren haben (Häufigkeit in der Grössenordnung von  $1\text{E}-3/\text{Jahr}$ ). Die schwarze Linie entspricht dem Median der 50 Ereignissen. Die schwarz gepunkteten Linien stellen das 5% und das 95% Quantil der Ganglinienschar dar. Die dargestellten Oszillationen der Ganglinie stammen aus dem flussaufwärts liegenden und regulierten Bielersee, dessen Hochwasserbetrieb mit diskretisierten und Schwellenwert-basierten Regelungen im hydrologisch-hydraulischen Routing-System Modell RS Minerve vereinfacht berücksichtigt wurde. Der Abfluss aus dem Wehr Port ist dabei so hoch, dass der Hochwasserbetrieb aufgrund der vereinfachten Regelung aktiviert resp. deaktiviert wird.



**Abbildung 16:** Auswahl von 50 Ereignissen am Transferpunkt Stilli, deren Spitzenabflüsse die grösste Ähnlichkeit mit der statistischen Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren haben (Häufigkeit in der Grössenordnung von 1E-4/Jahr). Die schwarze Linie entspricht dem Median der 50 Ereignissen. Die schwarz gepunkteten Linien stellen das 5% und das 95% Quantil der Ganglinienschar dar. Die dargestellten Oszillationen der Ganglinie stammen aus dem flussaufwärts liegenden und regulierten Bielersee, dessen Hochwasserbetrieb mit diskretisierten und Schwellenwert-basierten Regelungen im hydrologisch-hydraulischen Routing-System Modell RS Minerve vereinfacht berücksichtigt wurde. Der Abfluss aus dem Wehr Port ist dabei so hoch, dass der Hochwasserbetrieb aufgrund der vereinfachten Regelung aktiviert resp. deaktiviert wird.

Aus den Angaben der Zeitspannen in Abbildung 15 und Abbildung 16 können allgemeine Angaben zu den erwarteten Zeitspannen für die hydrologischen Ereignisse FL3 und FL4 gemacht werden (Tabelle 3).

**Tabelle 3:** Zusammenstellung der zu erwartenden Zeitspannen der Hochwasserereignisse FL3 und FL4 am Transferpunkt Aarburg.

		5% Quantil	Mittelwert	95% Quantil
FL3, Transferpunkt Stilli	Anstiegszeit Normalabfluss bis Spitzenabfluss	10 - 15 h	20 - 25 h	ca. 25 h
	Dauer des Spitzenabflusses	ca. 2 h	ca. 5 h	ca. 10 - 12 h
	Abfallende Zeit Spitzenabfluss bis Normalabfluss	ca. 25 h	30 - 35 h	ca. 45 - 55 h
FL4, Transferpunkt Stilli	Anstiegszeit Normalabfluss bis Spitzenabfluss	10 - 15 h	15 - 20 h	20 - 30 h
	Dauer des Spitzenabflusses	ca. 4 h	ca. 10 h	ca. 25 h
	Abfallende Zeit Spitzenabfluss bis Normalabfluss	ca. 35 h	35 - 45 h	105 - 115 h



Die Auswertung zeigt, dass der ansteigende Ast der Ganglinienschar am Transferpunkt Stilli nur eine geringe Streuung aufweist, wobei der abfallende Ast insbesondere bei FL4-Ereignissen eine sehr grosse Variabilität aufweisen kann. Dies liegt aber insbesondere an der Definition, dass ein Normalzustand bis zu einem HQ10 gehalten werden kann (das 95% Quantil bewegt sich für eine lange Zeit im Bereich des HQ10, ohne es aber zu unterschreiten). Es gibt jedoch in der Ganglinienschar auch einige Spezialfälle: Ereignisse, welche länger andauern oder wenn nach dem Ereignis noch ein zweites Hochwasserereignis auftritt.

#### **4.4.2 Informationen aus den spezifischen Szenarien für den Beurteilungsperimeter PSI**

Die spezifischen Szenarien wurden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung so gewählt, dass die Ganglinie am Transferpunkt möglichst dem Median der Ganglinienschar (Abbildung 17 und Abbildung 18) entspricht. Da die EXAR-Studie die Hochwassergefährdung vor allem aufgrund der Maximalwerte in den Beurteilungsperimetern untersuchte, wurde die Ganglinie für die Berechnung der Gefährdung beim PSI auf den Bereich des Spitzenabflusses zugeschnitten (von Stunde 96 bis Stunde 144).

Nachfolgend werden die Ganglinien der Initialereignisse FL3 und FL4 dargestellt und mit dem berechneten Abfluss der Szenarien 1 und 8 im Bereich des Beurteilungsperimeters verglichen. Wenn die Ganglinie beim Beurteilungsperimeter eine ähnliche Form aufweist wie die Ganglinie am oberhalb liegenden Transferpunkt, kann die statistische Auswertung aus dem vorherigen Kapitel 4.4.1 für den Beurteilungsperimeter PSI übernommen werden.

Der nachfolgende Vergleich der Ganglinien (Abbildung 17 und Abbildung 18) zeigt, dass der berechnete Abfluss beim Beurteilungsperimeter PSI (pinke Linie) identisch ist wie die Ganglinie am oberhalb liegenden Transferpunkt Stilli (dunkelblaue Linie). Die Zeitspannen, welche am Transferpunkt Stilli auftreten, können deshalb für den Beurteilungsperimeter PSI übernommen werden.

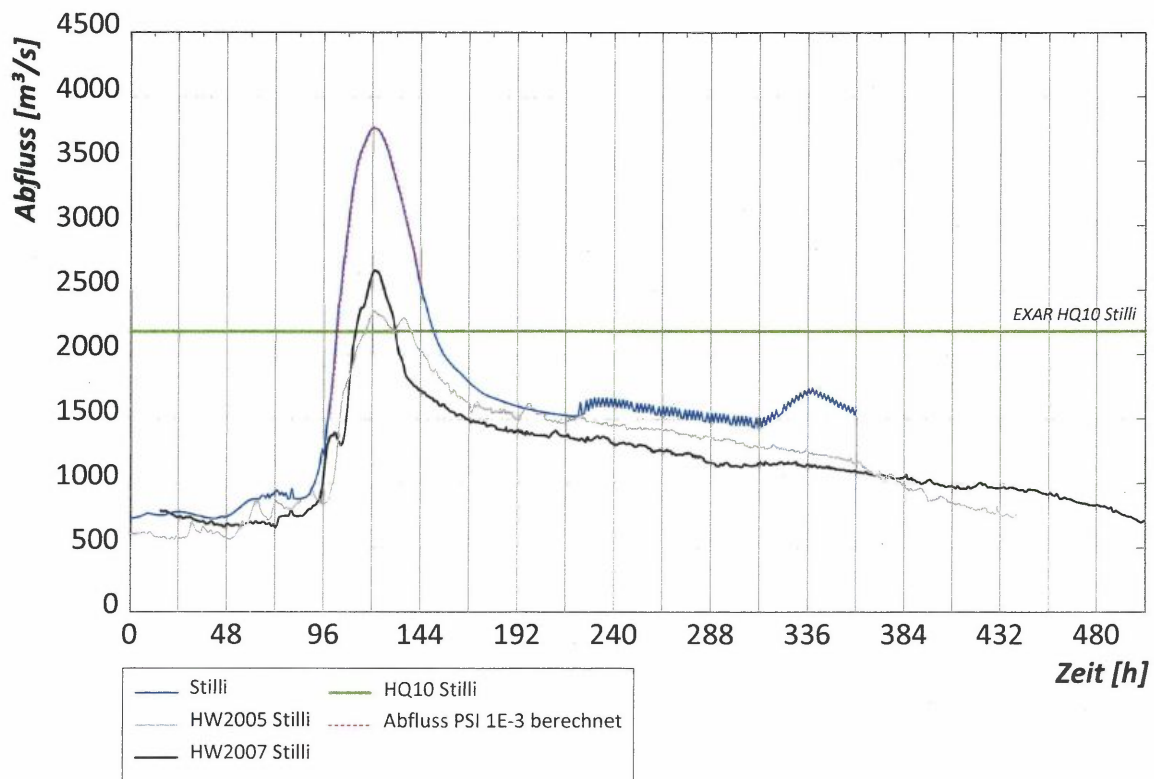
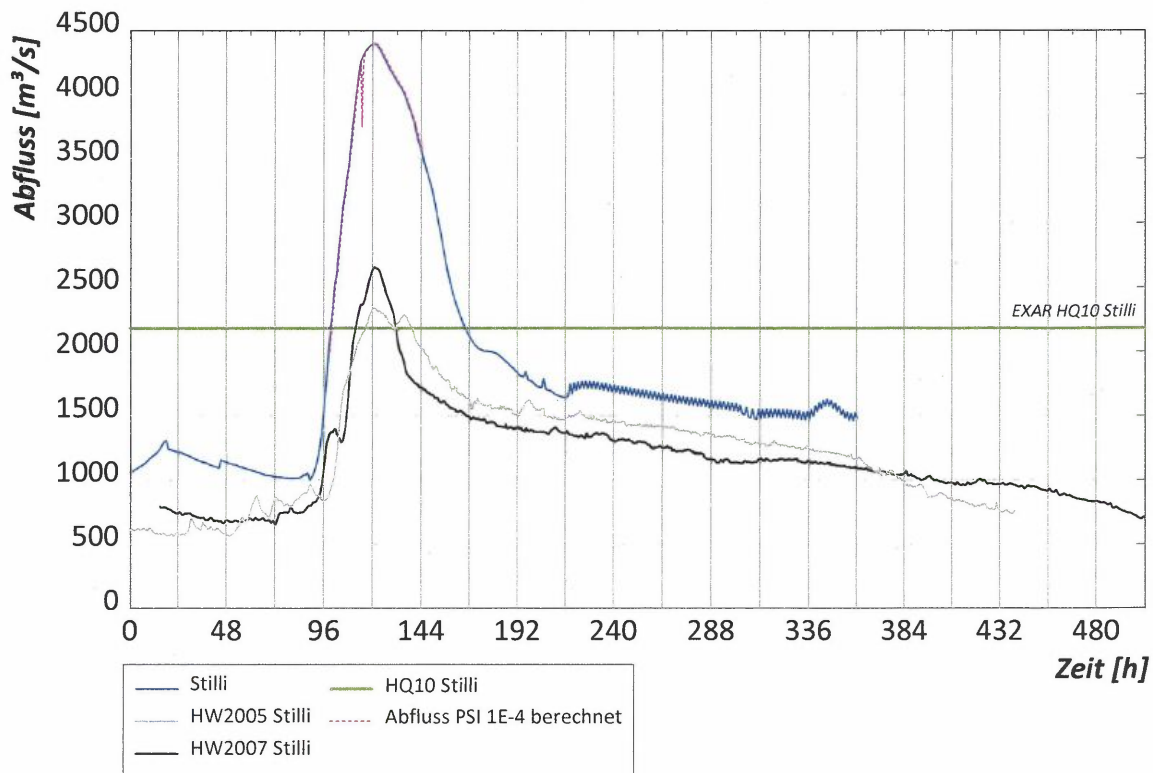


Abbildung 17: Vergleich der Hochwasserganglinien des Szenarios 1 (1E-3/Jahr) aus der Betrachtung des Transferpunkts Stilli (dunkelblaue Linie), zusammen mit der berechneten Abflussganglinie im Bereich des Spitzenabflusses beim Beurteilungsperimeter PSI (pink gestrichelte Linie) und den Schwellenwerten für den Normalzustand (HQ10). Zusätzlich sind als Vergleich die gemessenen Hochwasserganglinien für das HW-Ereignis 2005 (graue Linie) und das HW-Ereignis 2007 (schwarze Linie) an der Messstation Aare - Untersiggenthal, Stilli dargestellt. Die Oszillationen der Ganglinie ab ca. 200 Stunden stammen aus dem flussaufwärts liegenden und regulierten Bielersee, dessen Hochwasserbetrieb mit diskretisierten und Schwellenwert-basierten Regelungen im hydrologisch-hydraulischen Routing-System Modell RS Minerve vereinfacht berücksichtigt wurde. Der Abfluss aus dem Wehr Port ist bei der Simulationszeit von 240 Stunden immer noch so hoch, dass der Hochwasserbetrieb aufgrund der vereinfachten Regelung aktiviert resp. deaktiviert wird.



**Abbildung 18:** Vergleich der Hochwasserganglinien des Szenarios 8 (1E-4/Jahr) aus der Betrachtung des Transferpunkts Stilli (dunkelblaue Linie), zusammen mit der berechneten Abflussganglinie im Bereich des Spitzenabflusses beim Beurteilungspemeter PSI (pink gestrichelte Linie) und den Schwellenwerten für den Normalzustand (HQ10). Zusätzlich sind als Vergleich die gemessenen Hochwasserganglinien für das HW-Ereignis 2005 (graue Linie) und das HW-Ereignis 2007 (schwarze Linie) an der Messstation Aare - Untersiggenthal, Stilli dargestellt. Die Oszillationen der Ganglinie ab ca. 200 Stunden stammen aus dem flussaufwärts liegenden und regulierten Bielersee, dessen Hochwasserbetrieb mit diskretisierten und Schwellenwert-basierten Regelungen im hydrologisch-hydraulischen Routing-System Modell RS Minerve vereinfacht berücksichtigt wurde. Der Abfluss aus dem Wehr Port ist bei der Simulationszeit von 240 Stunden immer noch so hoch, dass der Hochwasserbetrieb aufgrund der vereinfachten Regelung aktiviert resp. deaktiviert wird.

Die Zeitspannen der Anstiegszeit und der abfallenden Zeit für die berechneten, spezifischen Szenarien 1 und 8 sind in Tabelle 4 dargestellt. Die erhaltenen Werte aus den spezifischen Szenarien können gut in die möglichen Zeitspannen der Median- resp. Mittelwert-Ganglinien aus Kapitel 4.4.1 eingeordnet werden.

**Tabelle 4:** *Zusammenstellung der zu erwartenden Zeitspannen des spezifisch ausgewählten Szenarien 1 und 8 am Transferpunkt Stilli. Die Angaben sind für den Standort des PSI übertragbar. Die Dauer des jeweiligen Spitzenabflusses für die beiden Szenarien ist in Tabelle 3 angegeben. Die Ganglinien zeigen die Initialereignisse FL3 und FL4, welche gemäss der Beschreibung in Kapitel 3 als Mittelwert der Ganglinien in der jeweiligen Grössenordnung der Wiederkehrperioden angewendet werden können.*

		1E-3/Jahr Szenario 1	1E-4/Jahr Szenario 8
Transferpunkt Stilli	Anstiegszeit Normalabfluss bis Spitzenabfluss	20 h	20 h
	Abfallende Zeit Spitzenabfluss bis Normalabfluss	30 h	35 h

## 5 Literatur

- BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE SWISSTOPO 2019. Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000.  
 Bezug: [www.map.geo.admin.ch](http://www.map.geo.admin.ch).
- KRAPESCH, G., HAUER, C. & HABERSACK, H. 2011. Scale orientated analysis of river width changes due to extreme flood hazards. *Natural Hazards and Earth*, 11.
- YALIN, M. 1992. River Mechanics. Pergamon Press, Oxford.