



ENSI, CH-5201 Brugg

**Einschreiben mit Rückschein**

Axpo Power AG  
Kernkraftwerk Beznau  
Beznau  
5312 Döttingen

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 Gefährdungsbestimmung 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 Sicherheitsbewertungen 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 und die probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA) mit den neuen Annahmen durchzuführen und die Auswirkungen auf die Sicherheit der Anlage zu bewerten (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 Beznau 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, geltend für das KKB 1 und das KKB 2, der Axpo Power AG im Sinne der Gewährung des rechtlichen Gehörs zur Stellungnahme zugesandt. Mit Schreiben vom 12. April 2021 hat die Axpo Power AG zum Entwurf der vorliegenden Verfügung Stellung genommen. Die Erwägungen des ENSI zu den Vorbringen der Axpo Power AG sind in einer separaten Stellungnahme /4/ dokumentiert.

Gestützt auf diese Erwägungen und unter Berücksichtigung der Vorbringen der Axpo Power AG 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 des KKB 1 und des KKB 2 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 Beurteilungssperimeter Beznau» /2/ vom 2. Februar 2021.

Für auslegungsüberschreitende Analysen gelten grundsätzlich sämtliche KKB-spezifischen Unterlagen von EXAR /1/, soweit sie nicht durch eigene gemäss dem Stand der Technik verfeinerte Analysen ersetzt werden.

2. **Sicherheitsnachweise:** Die Axpo Power AG hat bis Ende 2022 für das KKB 1 und das KKB 2 je folgende Sicherheitsanalysen durchzuführen (Geschäft 14/21/007):

2.1 Deterministische Störfallanalysen:

- 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 KKB sind darzulegen und die Beherrschung für das 1'000- und das 10'000-jährliche Hochwasser gemäss Richtlinien ENSI-A01, ENSI-A08 und ENSI-G14 ist nachzuweisen. Die gemäss Ufererosionsanalyse auftretende WSPL ist beim Nachweis zu berücksichtigen.

2.2 Probabilistische Sicherheitsanalyse:

Die probabilistische Sicherheitsanalyse der Stufe 1 und der Stufe 2 betreffend Hochwasser ist zu aktualisieren sowie die Auswirkungen auf die Sicherheit der Anlage und insbesondere auf das Risiko zu bewerten. Hierbei gelten die Anforderungen gemäss Richtlinien ENSI-A05 und ENSI-A06. Zu betrachten ist der Leistungsbetrieb.

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 Beznau. Birmensdorf: 37 S.

### **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 Beznau. Birmensdorf: 37 S.
- /3/ Axpo Power AG, [REDACTED] «Stellungnahme KKB zum Verfügungsentwurf: Gefährdungsannahmen EXAR-2021 für die Standorte der Schweizer Kernanlagen an der Aare», 12.04.2021
- /4/ ENSI-Brief, [REDACTED] - 14KEX.HW, 14/21/007, «Stellungnahme des ENSI zur Anhörungsantwort der Axpo Power AG betreffend Verfügung «Gefährdungsannahmen EXAR-2021»», 12.11.2021





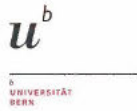
Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>

**GEOTEST** GEOLOGEN / INGENIEURE /  
GEOPHYSIKER /  
UMWELTFACHLEUTE

**IUB** Engineering

 **Hunziker, Zarn & Partner**  
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau

**ETH** zürich



**EPFL**



UNIVERSITÉ  
Grenoble  
Alpes

## Extremhochwasser an der Aare

### Szenariendokument Projekt EXAR

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

**Impressum**

Datum: 02.02.2021

**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 Beurteilungspereimeter Beznau. Birmensdorf: 37 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 Beurteilungspereimeter .....	5
2.1	Angaben für das KKW Beznau .....	5
2.2	Charakteristik der Aare im Beurteilungspereimeter .....	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 Beurteilungspereimeter .....	11
4.3	Zeitreihen beim Areal des Kraftwerks .....	18
4.3.1	Abflussganglinien beim Areal des Kraftwerks.....	18
4.3.2	Ganglinien von hydraulischen Parametern beim Areal des Kraftwerks .....	21
4.4	Zusätzliche Angaben zum zeitlichen Verlauf der Hochwasserganglinien .....	31
4.4.1	Informationen aus der hydrologischen Zeitreihe für den Beurteilungspereimeter Beznau .....	31
4.4.2	Informationen aus den spezifischen Szenarien für den Beurteilungspereimeter Beznau .....	34
5	Literatur.....	37

## 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes EXAR wurde die Gefährdung in den Beurteilungspereimetern durch verschiedene Hochwasserszenarien, kombiniert mit Versagensprozessen von wasserbaulichen Bauwerken, Rutschungen, Verklausungen 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 Kernkraftwerk (KKW) Beznau zu beschreiben. Dazu wurde anhand der mittleren Gefährdungskurve die Wasserspiegellagen an den einzelnen Referenzpunkten auf dem KKW-Areal ermittelt, die mit der Häufigkeit 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr erreicht oder überschritten werden. 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 Beurteilungspereimeter 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 der gewählten repräsentativen Szenarien.

### 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 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 Beurteilungspereimetern 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 Beurteilungsperimeter**

Im Bereich des Beurteilungsperimeters Beznau befindet sich das Kernkraftwerk (KKW), für dessen Areal eine Gefährdungsanalyse durchgeführt wurde.

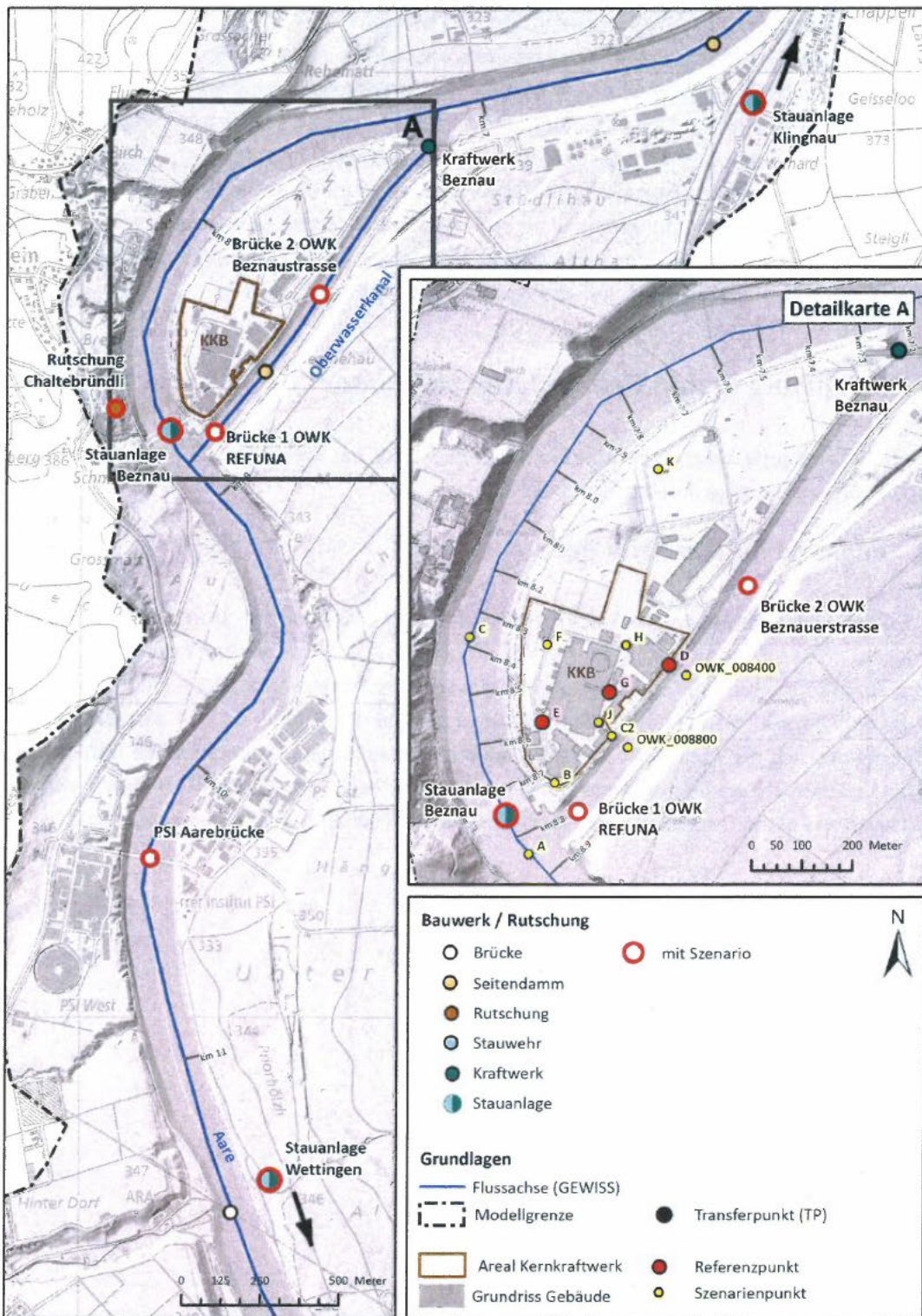
### **2.1 Angaben für das KKW Beznau**

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Kanton Aargau zwischen dem Transferpunkt Stilli und der Mündung in den Rhein im Kanton Aargau (Abbildung 1). Etwas weiter flussoberschhalb liegt der Beurteilungsperimeter PSI. Die für das Kernkraftwerk Beznau relevanten Angaben beziehen sich auf die in der Detailkarte A dargestellten Referenzpunkte D, E und G. Für alle Referenzpunkte unterscheidet sich die Lage nicht gross, weshalb dieselben Ereignisbäume für die Generierung der Gefährdungskurven verwendet wurden. Für die Szenarienpunkte B, C2, F, H und J 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 KKW 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. 16.4 sowie im Detailbericht F zu finden.





**Abbildung 1:** Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit dem Beurteilungsperimeter Beznau (BP Beznau), der durch den Nahbereich der Referenz- und Szenarienpunkte definiert wird. Punkte in der Hauptabbildung zeigen 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 Beurteilungspereimeter

Im Gebiet des KKW Beznau verläuft die Aare in einem, in die Niederterrassenschotter eingeschnittenen, Gerinne. Ein Teil der Insel, auf welcher das Kernkraftwerk Beznau steht, besteht aus einer künstlichen Aufschüttung (Bundesamt Für Landestopografie Swisstopo, 2019). Oberhalb des Wehrs steht der Fels auf einer Tiefe von 2 - 6 m an, auf der Insel auf ca. 10 - 20 m.

Im naturnahen Zustand wies die Aare eine ähnliche Breite (ca. 190 - 210 m) wie heute auf, wobei an einzelnen Stellen lokale Aufweitungen sichtbar waren. Der Standort der Flussschleife, hat sich gegenüber früher nicht verändert. Die Breitenentwicklung sowie die Linienführung ist durch die Talmäander eingeschränkt.

Infolge der unmittelbaren Nähe zum Wasserkraftwerk Beznau werden die Strömungsverhältnisse und folglich die morphologischen Prozesse hauptsächlich durch den Betrieb des Wasserkraftwerks (WKW) Beznau bestimmt. Das Wehr des WKW Beznau ist geschiededurchgängig (Kanton Aargau, 2014). Infolge der zahlreichen Kraftwerke flussaufwärts an der Aare, der Reuss und der Limmat ist die jährliche Geschiebeführung aber gering (Kanton Aargau, 2014). Wegen des eingeeengten Gerinnes und als Folge der geringen Geschiebeführung ist keine aktive morphologische Dynamik (Kiesbänke) erkennbar.

## 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 D (Kapitel 16.3 im Hauptbericht) wurde für den Beurteilungspereimeter Beznau das Szenario 13 für das 1'000-jährliche und das Szenario 7 für das 10'000-jährliche Hochwasser als repräsentativ erachtet. Die Nummerierung der Szenarien entspricht derjenigen des Hauptberichts.

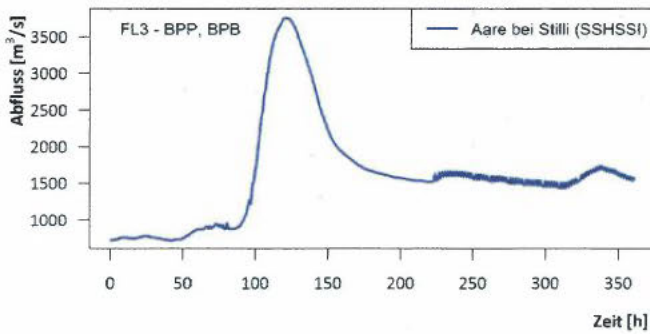
Bei Szenario 13 handelt es sich um eine Kombination von einem FL3-Ereignis und einer Verkläuerung der Brücke Beznauerstrasse mit kleinem Holzvolumen ohne signifikante Auswirkung auf die Wasserspiegellage. Beim Szenario 7 handelt es sich um eine Kombination von einem FL4-Ereignis und einer Verkläuerung des Stauwehrs Beznau.

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 16.2 im Hauptbericht). Zur Übersicht werden die Ganglinien und die Spitzenabflüsse der Aare bei Stilli noch einmal abgebildet (Abbildung 2 und Abbildung 3).

---

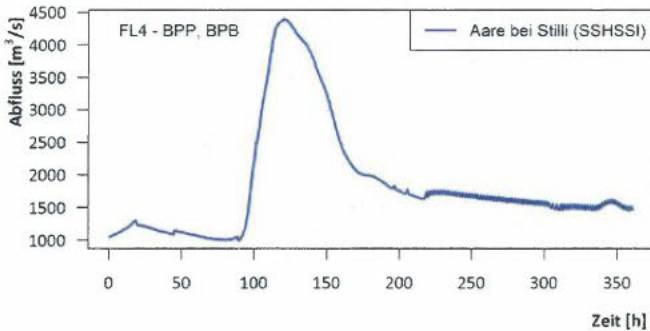
<sup>2</sup> Die Initialereignisse FL3 und FL4 beschreiben eine hydrologische Ganglinie mit einer Häufigkeit in der Grössenordnung von 1E-3/Jahr resp. 1E-4/Jahr auf. Für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit des Initialereignisses wurden sämtliche Ereignisse betrachtet, welche innerhalb eines definierten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

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



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

Abbildung 2: Ganglinie des hydrologischen Initialereignisses FL3 für die Kombination mit dem Szenario 13.



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

Abbildung 3: Ganglinie des hydrologischen Initialereignisses FL4 für die Kombination mit dem Szenario 7.

Bei Szenario 13 kommt es zu einer Verklausung an der Brücke Beznauerstrasse, das angenommene Holzvolumen ist jedoch so klein, dass die Auswirkungen der Verklausung einem rein hydrologischen Szenario ohne Bauwerksversagen gleichkommt. Das Verklausungsszenario ist jedoch häufiger als die Szenarien ohne Bauwerksversagen.

Die Resultate der hydrologischen Szenarien ohne Versagen zeigen, dass bei einem FL3-Ereignis das Areal des Kernkraftwerks Beznau mehrheitlich trocken bleibt und keine Szenarien- oder Referenzpunkte auf dem Gelände benetzt werden.

Bei Szenario 7 verursacht die Verklausung am Stauwehr Beznau einen Aufstau, der zu einer stärkeren Umleitung des anfallenden Wassers in Richtung Oberwasserkanal führt. Der Wasserspiegelanstieg im Oberwasserkanal führt dazu, dass es zu linksseitigen Austritten entlang des gesamten Kanals kommt, wodurch die Beznau-Insel grossflächig überflutet wird. Auf dem Areal des Kernkraftwerks werden die Referenzpunkte D mit 0.29 m und G mit 0.18 m überflutet. Die Szenarienelemente in der Nähe des Oberwasserkanals (C2, J) werden ebenfalls mit einer Fliesstiefe von rund 0.30 m überflutet. Beim Szenarienelement B entstehen Fliesstiefen von knapp 0.40 m.

Die Szenarienpunkte H und F liegen in einem etwas freieren Bereich des Areals, wo sich das Wasser ausbreiten kann. Daher entstehen bei einem FL4 in diesem Bereich nur geringe Fliesstiefen von 0.05 m (H) und 0.14 m (F).

Weitere Informationen zu den Szenarien 13 und 7 finden sich in der Resultatmappe 3, BPB, Kapitel 5.4, I.1 (Szenario 13) und II.1 (Szenario 7).

## 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 bei den Szenarien- und Referenzpunkten des Kernkraftwerks angegeben (vgl. Tabelle 1). Die Wasserspiegellagen entsprechen der mittleren Gefährdung (blaue Linie in den Gefährdungskurven) 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 Wasserspiegellagen für die Referenzpunkte D basieren auf der im Hauptbericht EXAR dokumentierten Gefährdungskurve und der Szenarientabelle (Abbildung 81 in Hauptbericht, Kap. 16.3). Für die Referenzpunkte E (Abbildung 46 in Detailbericht G, Kap. 3.6.1) und G (Abbildung 47 im Detailbericht G, Kap. 3.6.1) gibt es separate Gefährdungskurven, aus denen die entsprechenden Wasserspiegellagen abgelesen wurden. Da die Gefährdungskurven nur für die Referenz- und nicht für die Szenarienpunkte erstellt wurden, kann für die Szenarienpunkte keine Wasserspiegellage bei einer Wiederkehrperiode von exakt 1E-3/Jahr resp. 1E-4/Jahr angegeben werden. Die Wasserspiegellagen bei den Szenarienpunkten, welche einer mittleren Gefährdung gemäss Gefährdungskurve entsprechen, wurden näherungsweise aus den detailliert beschriebenen, repräsentativen Szenarien (Kap. 4.2 ff.) übernommen.

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

---

<sup>3</sup> Die Wasserspiegel beinhalten auch die Auswirkungen der morphologischen Prozesse. Diese wurden mit Hilfe eines 2D-Geschiebemodells untersucht, wobei die morphologischen Simulationen des Referenzszenarios zeigten, dass die Auswirkungen der morphologischen Prozesse auf die maximalen Wasserspiegel lokal sehr unterschiedlich sind. Im Rückstaubereich des WKW sowie im Kraftwerkskanal nehmen die Wasserspiegel um 20 cm zu. Für die Referenz- und Szenarienpunkte im Oberwasser des Wehrs und im Oberwasserkanal wurde die Erhöhung der Wasserspiegel infolge der morphologischen Prozesse auf +20 cm, im Unterwasser auf 0 cm festgelegt. 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 1:** *Wasserspiegellagen aus der mittleren Gefährdungskurve bei einer Häufigkeit von 1E-3/Jahr und 1E-4/Jahr für die Referenzpunkte D, E und G beim Kernkraftwerk Beznau (KKB).*

Referenzpunkt		Höhe Terrain [m ü. M.]	Wasserspiegellage	
			für die mittlere Gefährdung mit Morphologie [m ü. M.]	
			1E-3/Jahr	1E-4/Jahr
KKB	D	326.85	326.30*	327.30
	E	326.81	326.40*	327.50
	G	326.92	326.30*	327.30

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

**Tabelle 2:** *Mittelwerte der zu erwartenden Wasserspiegellagen der Szenarien 13 (repräsentativ für 1E-3/Jahr) und 7 (repräsentativ für 1E-4/Jahr) für die Szenarienpunkte B, C2, F, H und J beim Kernkraftwerk Beznau (KKB).*

Szenarienpunkt		Höhe Terrain [m ü. M.]	Wasserspiegellage	
			für die mittlere Gefährdung mit Morphologie [m ü. M.]	
			1E-3/Jahr Szenario 13	1E-4/Jahr Szenario 7
KKB	B*	326.55	326.33**	327.65
	C2*	326.81	326.25**	327.44
	F*	326.87	325.80**	327.31
	H*	326.90	326.25**	327.25
	J*	326.90	326.25**	327.49

\* Für die Szenarienpunkte B, C2, F, H und J wurden keine Gefährdungskurven entwickelt. Entsprechend lässt sich die Wasserspiegellage nicht für eine Häufigkeit von exakt 1E-3/Jahr bzw. 1E-4/Jahr bestimmen. Als Anhaltspunkt für diese Jährlichkeiten dienen die in Kap. 3 beschriebenen repräsentativen Szenarien 13 und 7.

\*\* Hydraulische Simulationen resultieren in keiner Überflutung. Die WSPL werden an den Hilfspunkten in der Aare sowie im Oberwasserkanal abgelesen (Hilfspunkt A für Szenarienpunkt B; Hilfspunkt C für Szenarienpunkt F; Hilfspunkt OWK\_008800 für Szenarienpunkte C2 und J; Hilfspunkt OWK\_008400 für Szenarienpunkt H) und die Änderung der WSPL infolge morphologischer Prozesse dazugerechnet. Die entsprechenden WSPL sind niedriger als das Terrain bei den Szenarienpunkten. Die Szenarienpunkte bleiben in diesem Fall trocken.



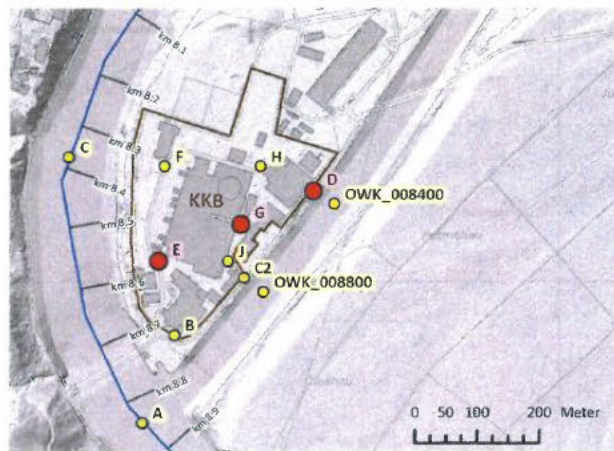


Abbildung 4: *Detailkarte vom Kernkraftwerk Beznau mit den Referenzpunkten (D, E, G), Szenarienknoten (B, C2, F, H, J) und den Hilfspunkten in der Aare (A und C) sowie im Oberwasserkanal (OWK\_008400 und OWK\_008800).*

## 4.2 Maximale hydraulische Belastungen im Beurteilungsperimeter

Die folgenden Karten zeigen die maximalen Fliesstiefen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen für die Szenarien 13 und 7 im Beurteilungsperimeter Beznau. 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.

Beim Szenario 13 treten oberhalb des Stauwehrs Beznau lokal höhere Schubspannungen auf (100 - 300 N/m<sup>2</sup>, was auf die dort vorhandenen, hohen Fließgeschwindigkeiten von um die 5 m/s und die Fliesstiefen von 6 - 8 m zurückzuführen ist. Im Oberwasserkanal sind die Schubspannungen gering (< 50 N/m<sup>2</sup>). Unterhalb des Stauwehrs Beznau liegen die Schubspannungen grösstenteils bei 50 - 100 N/m<sup>2</sup>, wobei lokal bei den Ufern (beidseitig) erhöhte Schubspannungen von 100 - 300 N/m<sup>2</sup> auftreten können. Die Beznau-Insel wird von der Restwasserstrecke her lokal überflutet. Da das Terrain an dieser Stelle eine leichte Senke ausbildet, entstehen lokal Fliesstiefen von rund 2 m, grösstenteils liegt die Fliesstiefe aber unter 50 cm.

Bei Szenario 7 sind die Schubspannungsverhältnisse in der Aare im Vergleich zum Szenario 13 ähnlich. Da entlang des Oberwasserkanals durch die Verklausung am Stauwehr deutlich mehr Wasser abgeleitet wird, entstehen höhere Schubspannungen als bei Szenario 13 (50 - 100 N/m<sup>2</sup>, lokal auch mehr). Im Bereich der grossflächigen Überflutung der Beznau-Insel sind die Schubspannungen gering und nur an lokal isolierten Stellen treten Werte von über 50 N/m<sup>2</sup> auf. Der nordöstliche Teil der Beznau-Insel wird mit 0.5 bis 2 m Fliesstiefe überflutet. Auf dem Areal des Kernkraftwerks sind die Fliesstiefen grösstenteils geringer.

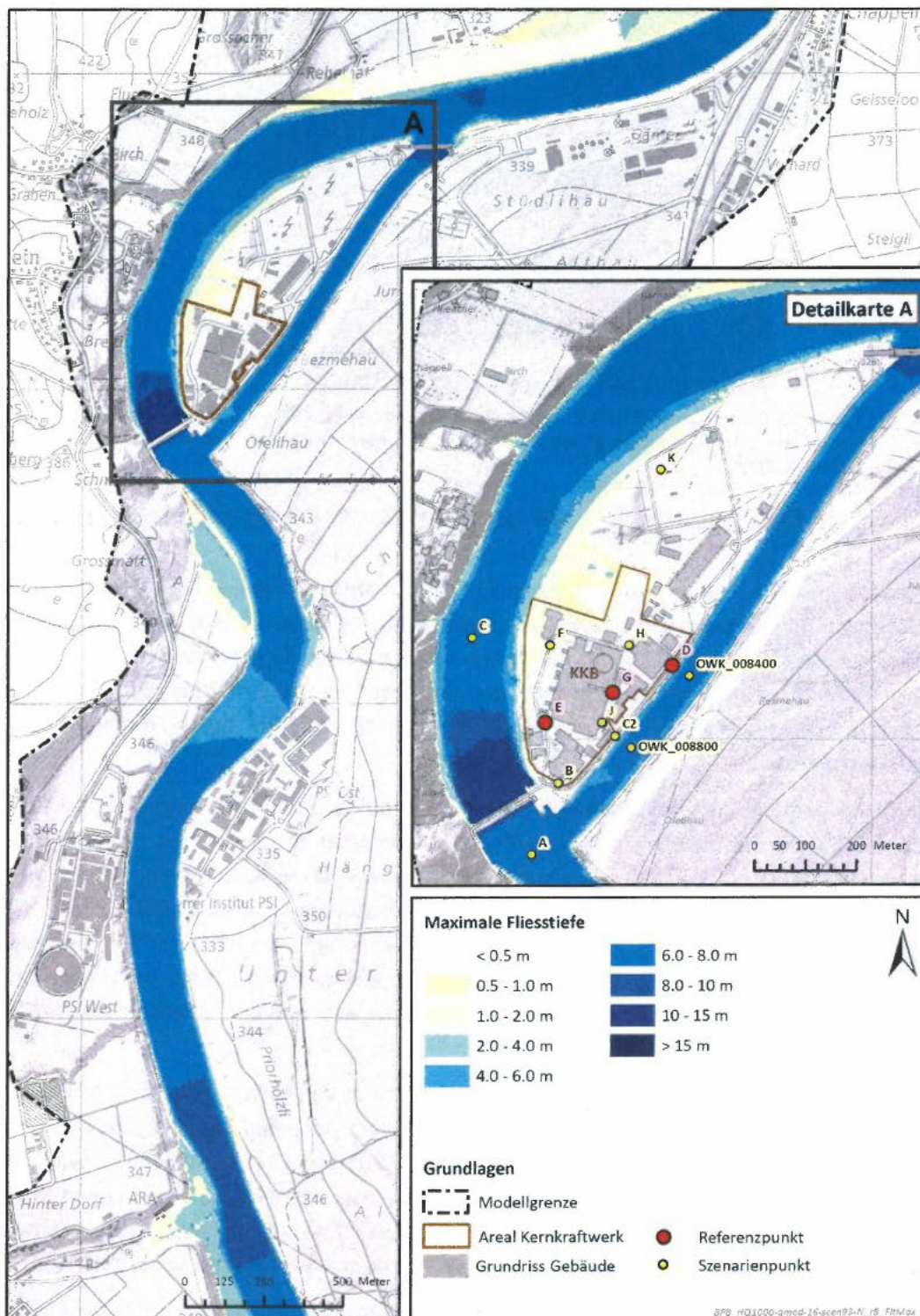


Abbildung 5: Maximale Fliesstiefen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 13.



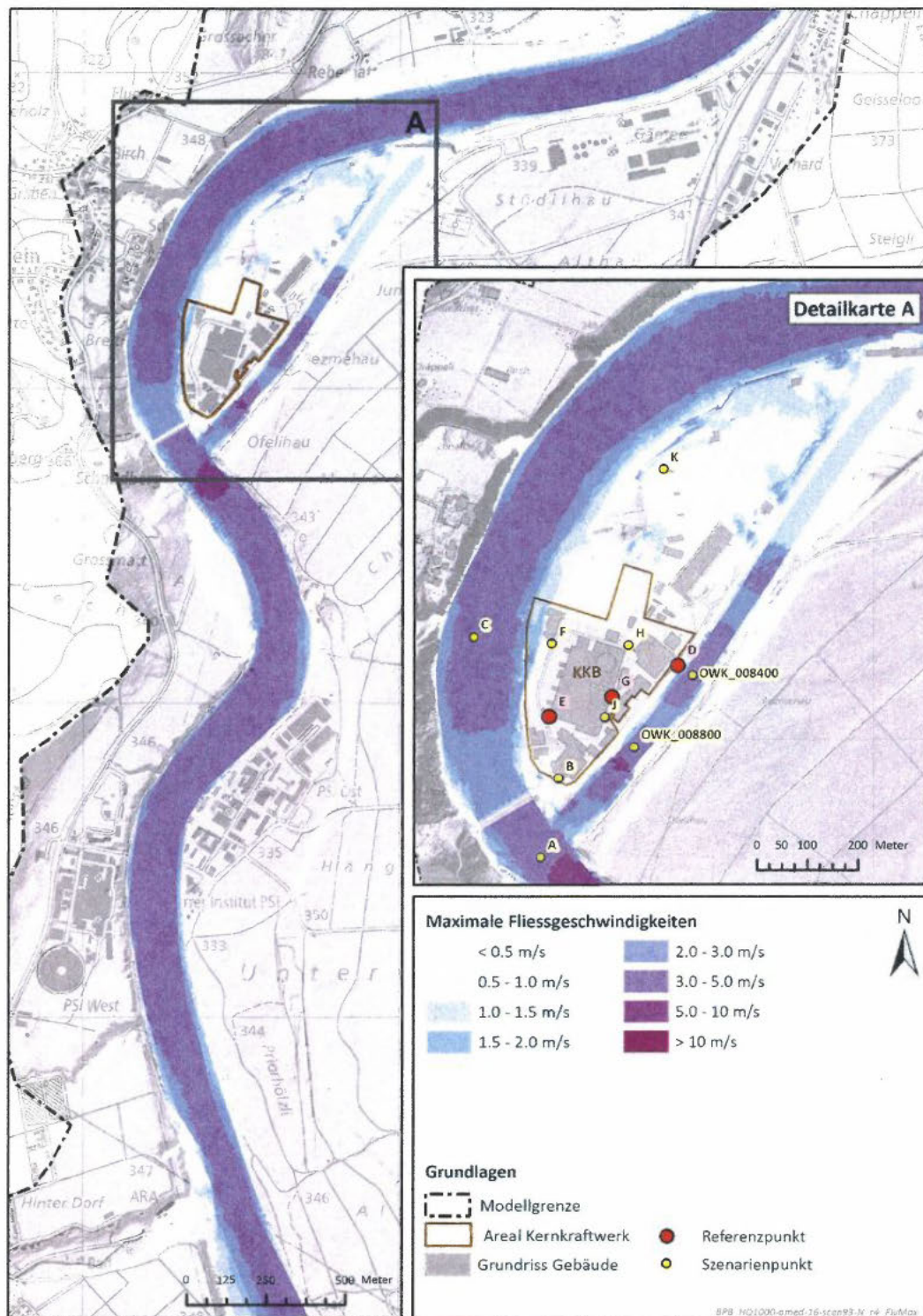


Abbildung 6: Maximale Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 13.

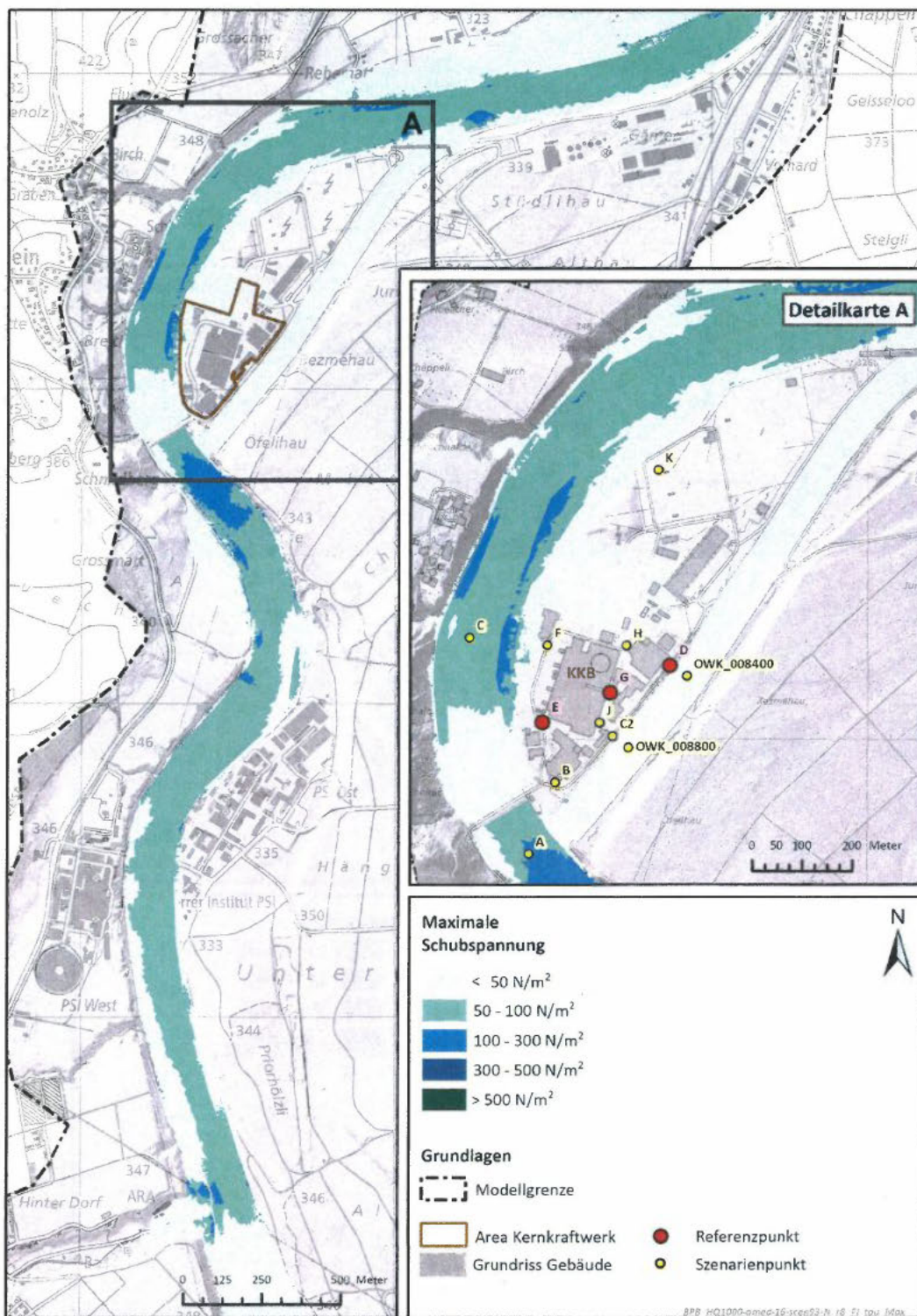


Abbildung 7: Maximale Schubspannungen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 13.



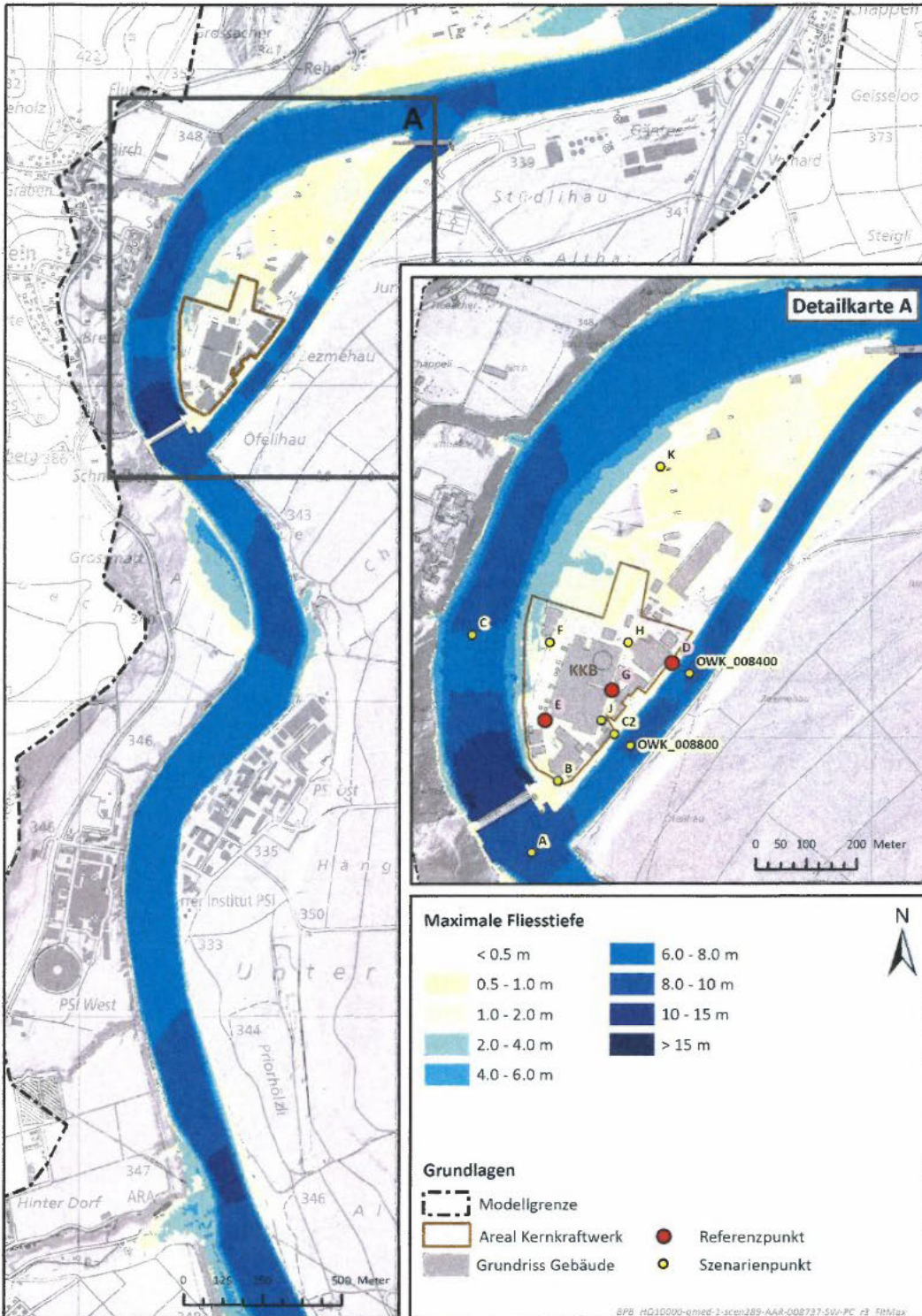


Abbildung 8: Maximale Fliesstiefen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 7.

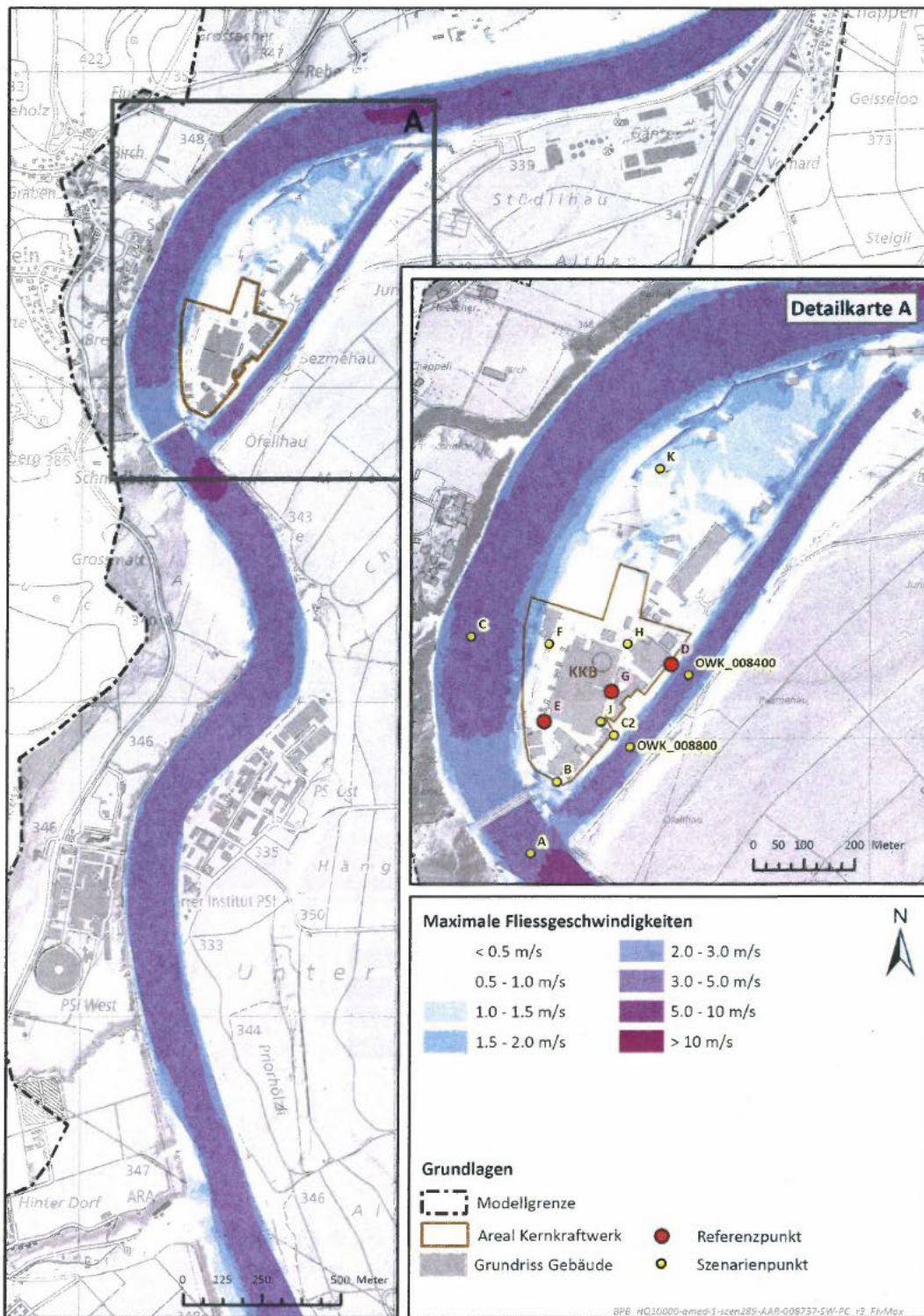


Abbildung 9: Maximale Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 7.



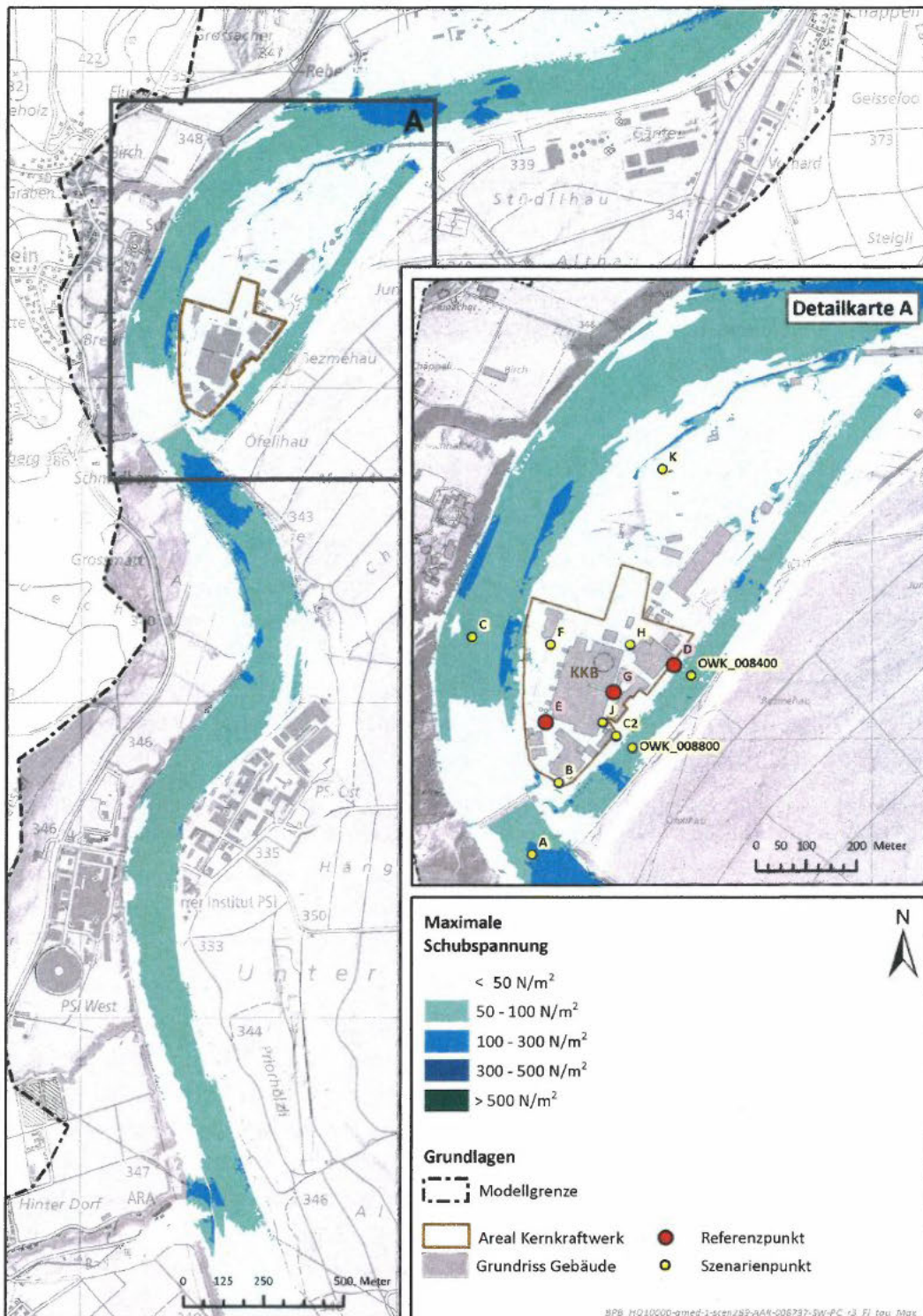


Abbildung 10: Maximale Schubspannungen über die gesamte Simulationsdauer für das Szenario 7.

### 4.3 Zeitreihen beim Areal des Kraftwerks

Neben der Angabe der relevanten Wasserspiegellagen aus der Gefährdungskurve (vgl. Kapitel 4.1) werden für die beiden Szenarien 13 und 7 weitere Resultate aus der hydraulischen Simulation angegeben. Für die Kraftwerksbetreiber 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 Beurteilungssperimeter. 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).

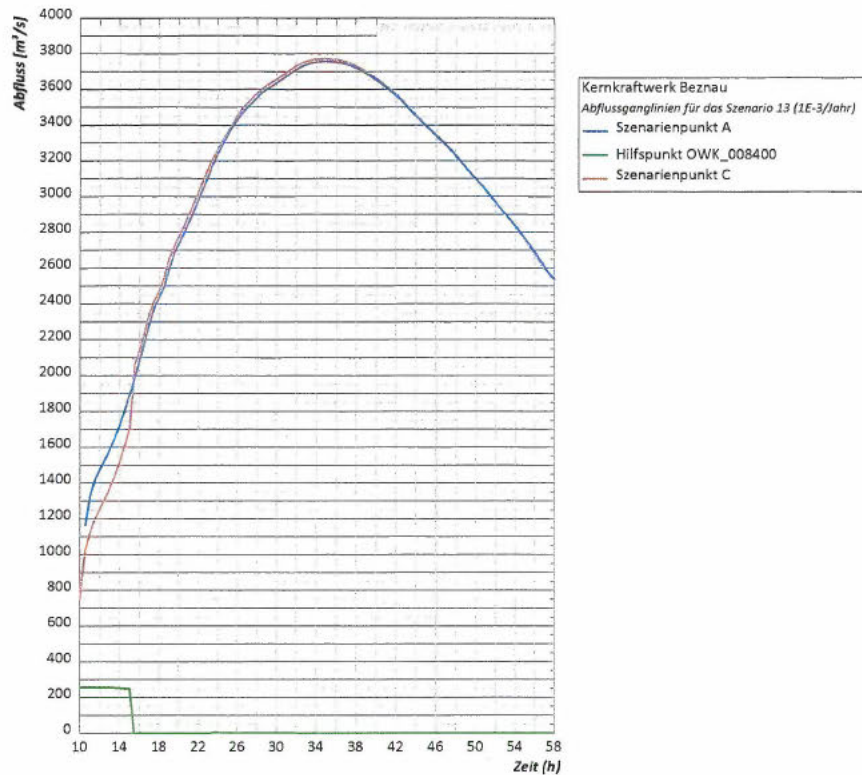
#### 4.3.1 Abflussganglinien beim Areal des Kraftwerks

Der Abfluss beim KKB beim Querschnitt im Bereich des Szenarienspunkts A weist für beide Szenarien einen ähnlichen Verlauf auf und ist praktisch die unveränderte hydrologische Ganglinie (vgl. Kap. 3), welche an der Messstation Stilli, Untersiggenthal, zugegeben wurde. Im Oberwasserkanal (Hilfspunkt OWK\_8400) kann der Kraftwerksbetrieb des Wasserkraftwerks Beznau anfänglich noch beibehalten werden. Sobald das anfallende Wasser jedoch das Stauziel um mehr als 20 cm übersteigt, wird angenommen, dass viele Schwebstoffe und viel Geschwemmsel den Kraftwerksbetrieb verunmöglichen und somit kein Abfluss mehr durch den Kanal fliesst. Der Rückgang des Abflusses ist bei beiden Szenarien erkennbar (nach ca. 15 Stunden).

Beim Szenario 13 wird das - durch den Ausfall der Turbinen - zusätzliche Wasser über das Stauwehr Beznau abgeleitet. Bei Szenario 7 staut sich das Wasser im Oberwasserkanal auf und es kommt allmählich zu linksseitigem Überströmen der Strasse und der Hochwasserschutzmauern. Dadurch steigt der Durchfluss beim Querschnitt OWK\_008400 allmählich an und erreicht beim Szenario 7 einen Abfluss von rund 450 m<sup>3</sup>/s. Sobald die Hochwasserwelle wieder absteigend ist, nimmt der Durchfluss durch den Querschnitt OWK\_008400 wieder ab.

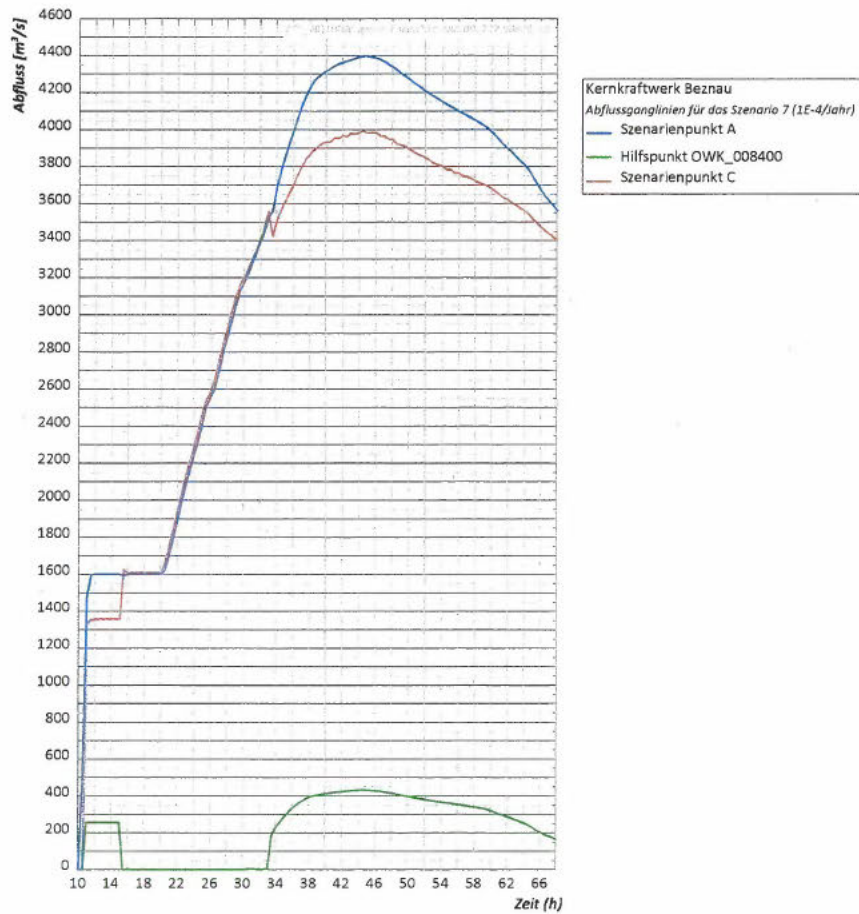
Der Abfluss im Querschnitt des Szenarienspunkts C (im Unterwasser des Stauwehrs Beznau) zeigt für beide Szenarien eine ähnliche Form auf. Aus der Differenz zwischen dem Abfluss am Szenarienspunkt A und dem Szenarienspunkt C können Aussagen zur Wassermenge gemacht werden, die über das Areal des Kernkraftwerks Beznau strömen. Bei Szenario 13 sind die Abflussganglinien bei Szenarienspunkt A und C beinahe deckungsgleich. Bei Szenario 13 wird ersichtlich, dass durch die Verkläuserung und durch die hohe Wassermenge insgesamt rund 400 - 500 m<sup>3</sup>/s über die Beznau-Insel abfliessen. Dieses Wasser passiert grösstenteils auch den Querschnitt bei OWK\_008400.





**Abbildung 11:** Abflussganglinie<sup>4</sup> für den Szenarienpunkt A (Aare-Querschnitt oberhalb des Oberwasserkanals), den Szenarienpunkt C (Querschnitt unterhalb des Wehrs Beznau) und den Hilfspunkt OWK\_008400 (Querschnitt im Oberwasserkanal) für das Szenario 13 (1E-3/Jahr).

<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 12:** Abflussganglinie für den Szenarienpunkt A (Aare-Querschnitt oberhalb des Oberwasserkanals), den Szenarienpunkt C (Querschnitt unterhalb des Wehrs Beznau) und den Hilfspunkt OWK\_008400 (Querschnitt im Oberwasserkanal) für das Szenario 4 (1E-4/Jahr). Die Fussnote 4 (bei Abbildung 11) gilt auch für diese Darstellung des Abflusses.

### 4.3.2 Ganglinien von hydraulischen Parametern beim Areal des Kraftwerks

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 13) und 1E-4/Jahr (Szenario 7) für die jeweils überfluteten Referenz- und Szenarienpunkte angegeben. Die nicht abgebildeten Punkte sind bei den Szenarien trocken.

Die Zeitreihen der hydraulischen Parameter zeigen dabei für beide der gewählten Szenarien einen ähnlichen Verlauf auf, wobei die Werte für das Szenario 7 höher liegen als die Werte des Szenarios 13 und generell eine längere Dauer aufweisen. Während im Szenario 13 sämtliche Szenarien- und Referenzpunkte trocken bleiben, werden diese bei Szenario 7 alle überflutet. Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich deshalb auf Szenario 7:

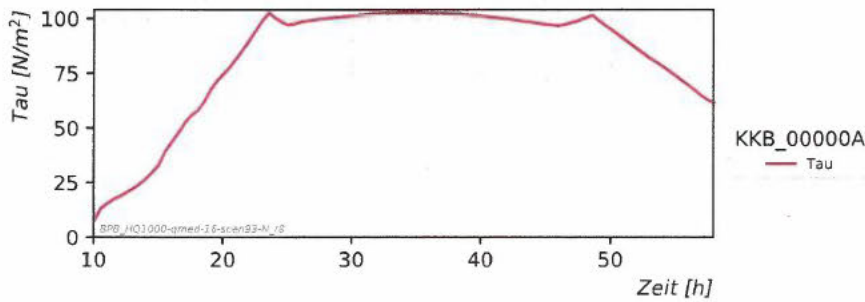
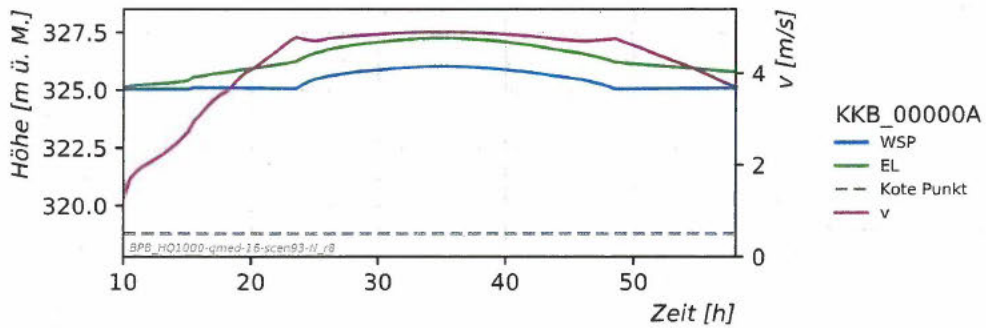
Die Fliessgeschwindigkeiten auf dem Areal des Kernkraftwerks liegen bei 0.2 bis 0.5 m/s und sind demnach gering. Bei gewissen Punkten (beispielsweise der Punkt F, Abbildung 23) ist die Fliessgeschwindigkeit sogar sehr gering.

In der Aare betragen die Fliessgeschwindigkeiten, bevor der Wasserkraftwerksbetrieb eingestellt wird, über 4 m/s. Dadurch entstehen im Gerinne hohe Schubspannungen von um die 100 N/m<sup>2</sup>. Nachdem das Wasserkraftwerk Beznau den Betrieb eingestellt hat und das Stauwehr Beznau verklaust, sinkt die Schubspannung auf rund 75 N/m<sup>2</sup>, die Fliessgeschwindigkeit bleibt jedoch bei rund 4 m/s bestehen.

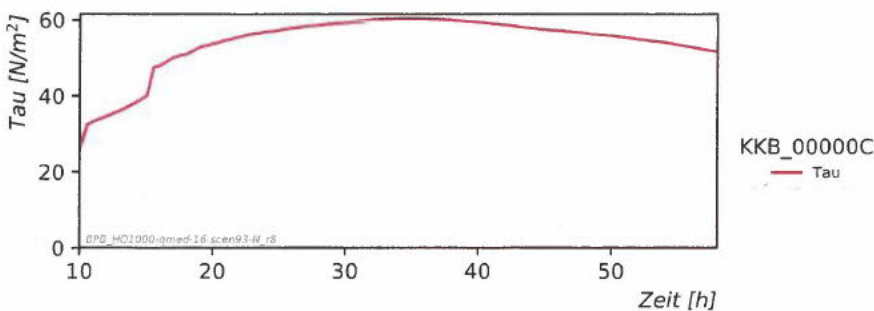
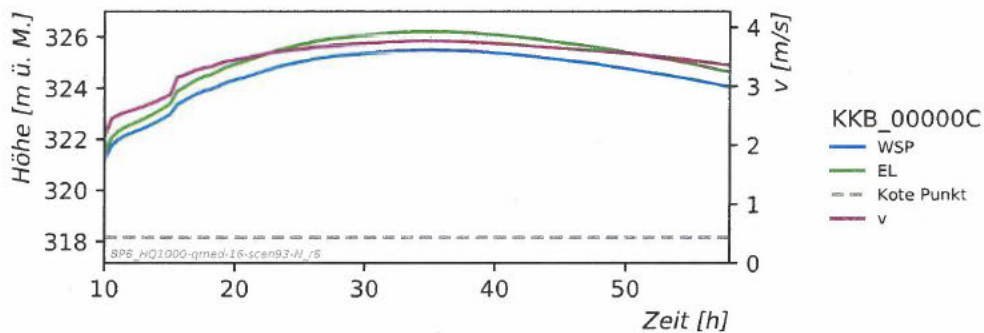
Im Oberwasserkanal liegen die Fliessgeschwindigkeiten anfänglich bei rund 1 m/s. Sobald das Wasserkraftwerk Beznau den Betrieb einstellt, sinkt die Fliessgeschwindigkeit auf fast 0 m/s und steigt anschliessend, sobald das Stauwehr Beznau verklaust und die Abflussganglinie weiter steigt, wieder auf knapp 1 m/s an.

Für die maximale Hochwassergefährdung durch die Wasserspiegellage (vgl. Kapitel 4.3.1) sind für beide Szenarien der Zeitstempel bei rund 34h relevant. **Hinweis:** Die anfänglichen Schwankungen der Parameter liegt in der Anfangsbedingung der hydraulischen Simulation.

**Ganglinien für das Szenario 13 (1E-3/Jahr)**



**Abbildung 13:** Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienknoten A für das Szenario 13 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).



**Abbildung 14:** Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienknoten C für das Szenario 13 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

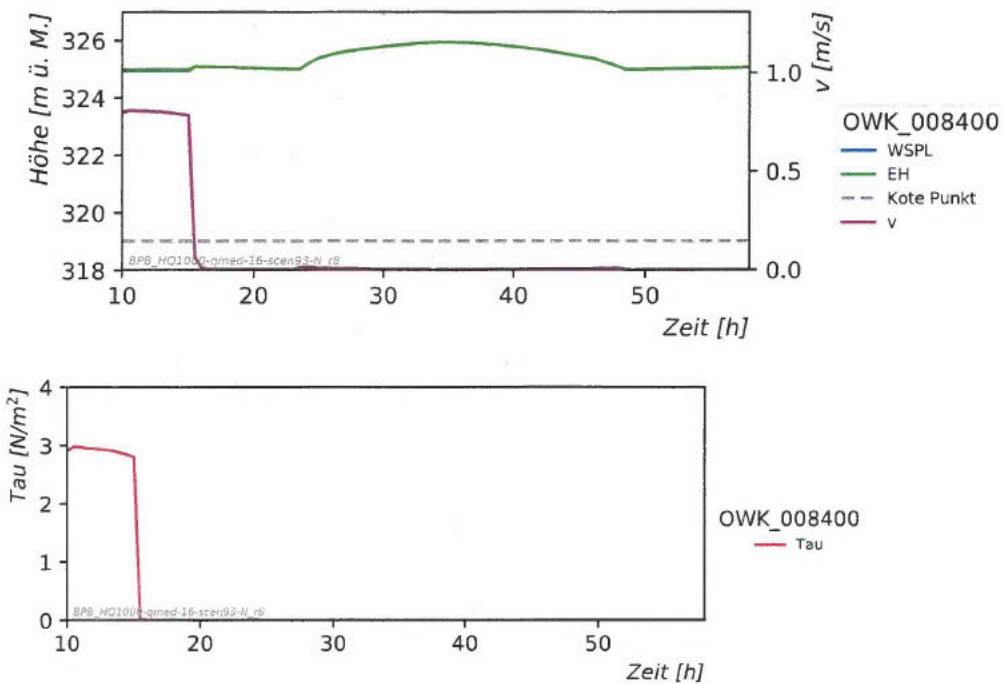


Abbildung 15: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt OWK\_008400 für das Szenario 13 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

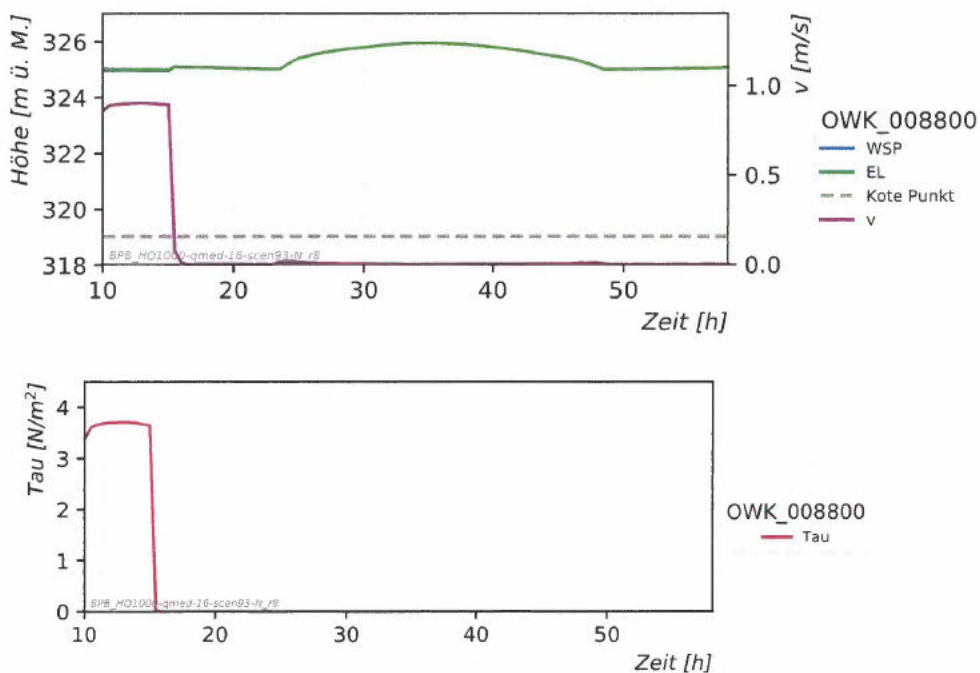
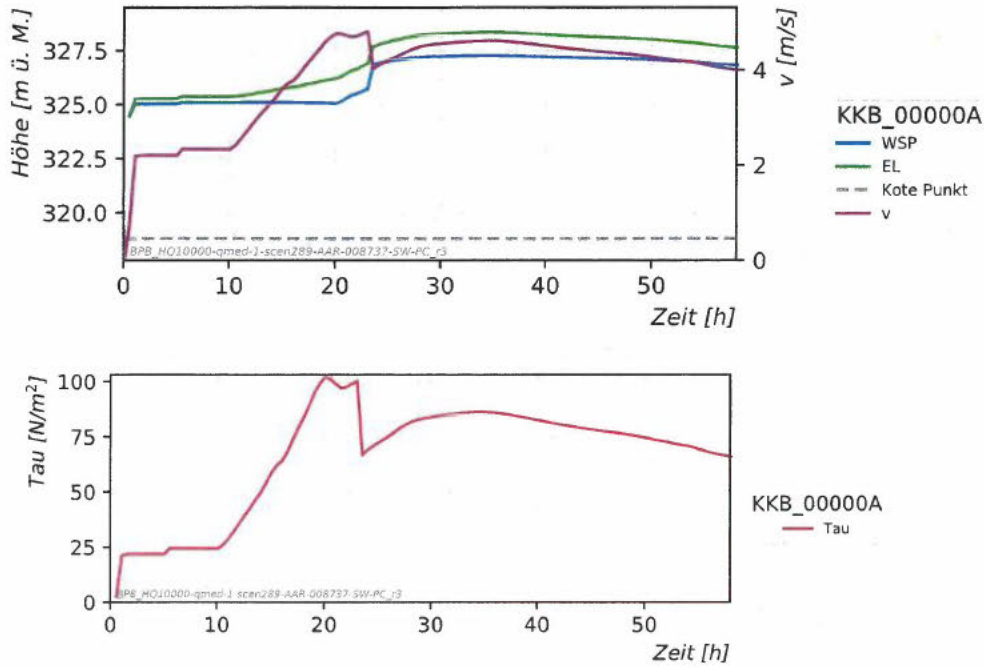
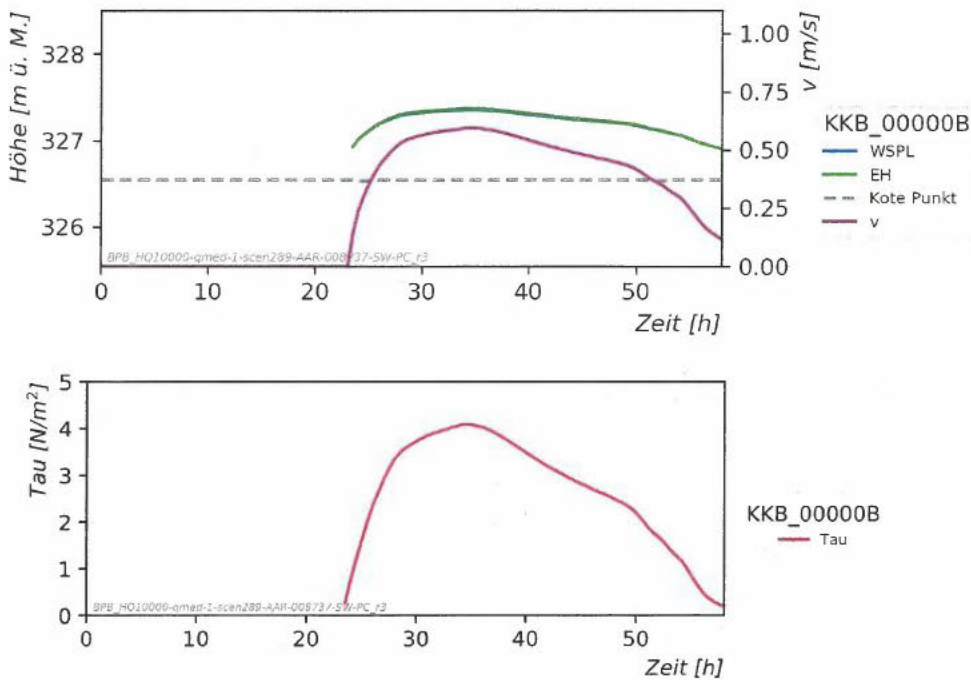


Abbildung 16: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt OWK\_008800 für das Szenario 13 (1E-3/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSP, blau), Energiehöhe (EL, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

**Ganglinien für das Szenario 7 (1E-4/Jahr)**



**Abbildung 17:** Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt A für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).



**Abbildung 18:** Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt B für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).



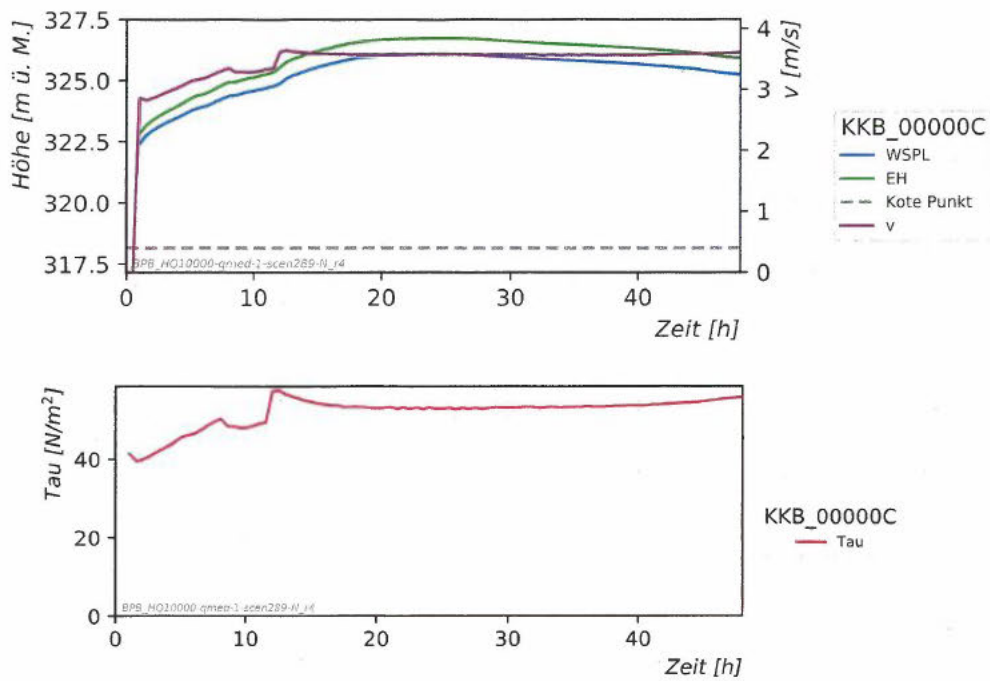


Abbildung 19: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt C für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

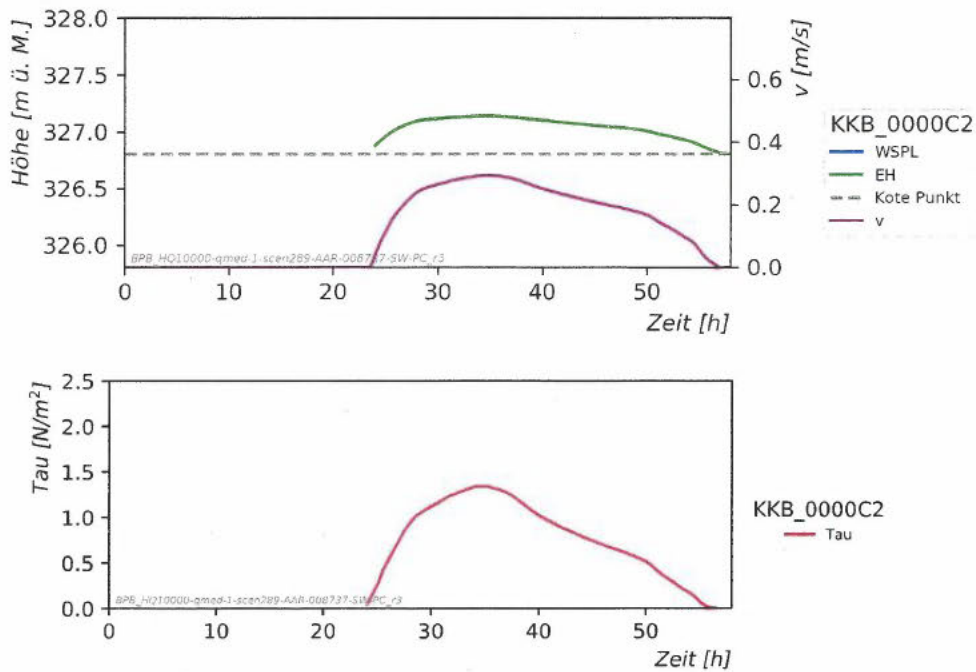


Abbildung 20: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt C2 für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

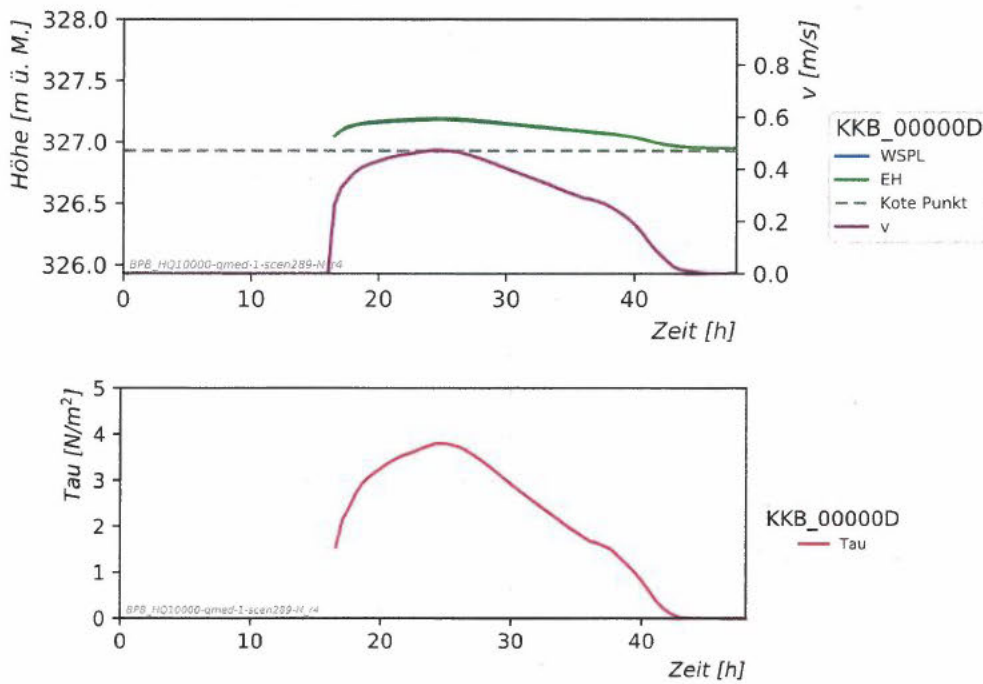


Abbildung 21: Verlauf der hydraulischen Parameter am Referenzpunkt D für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

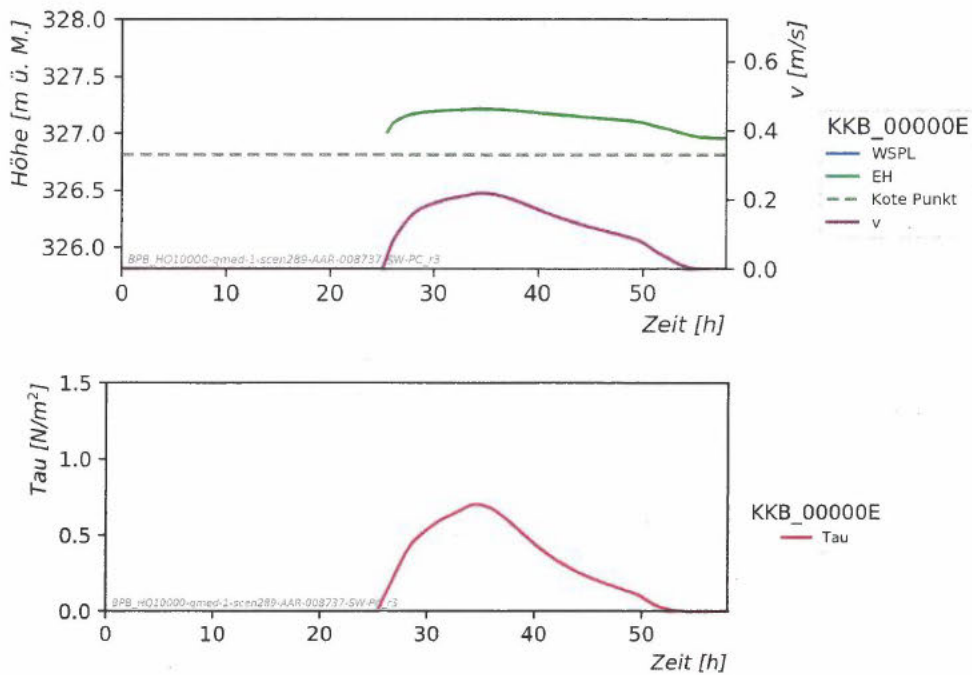


Abbildung 22: Verlauf der hydraulischen Parameter am Referenzpunkt E für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

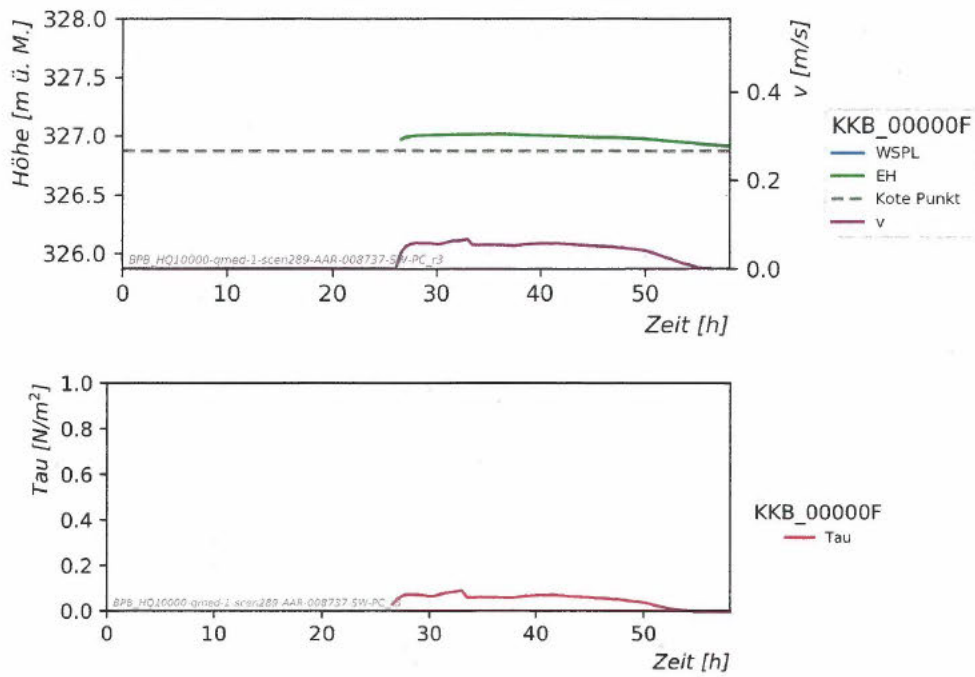


Abbildung 23: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienknoten F für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

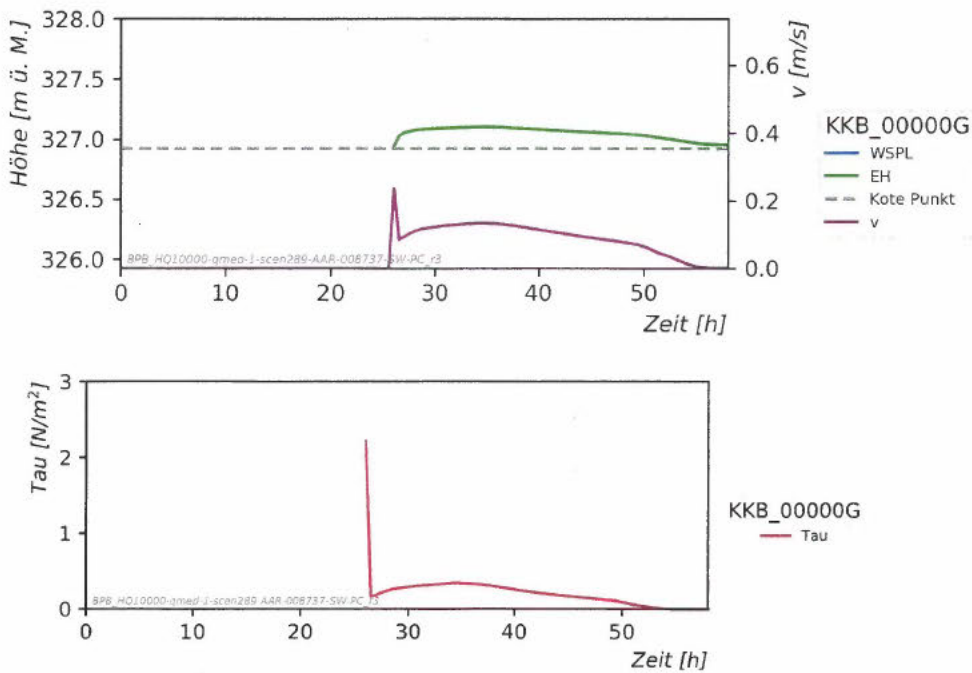


Abbildung 24: Verlauf der hydraulischen Parameter am Referenzpunkt G für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

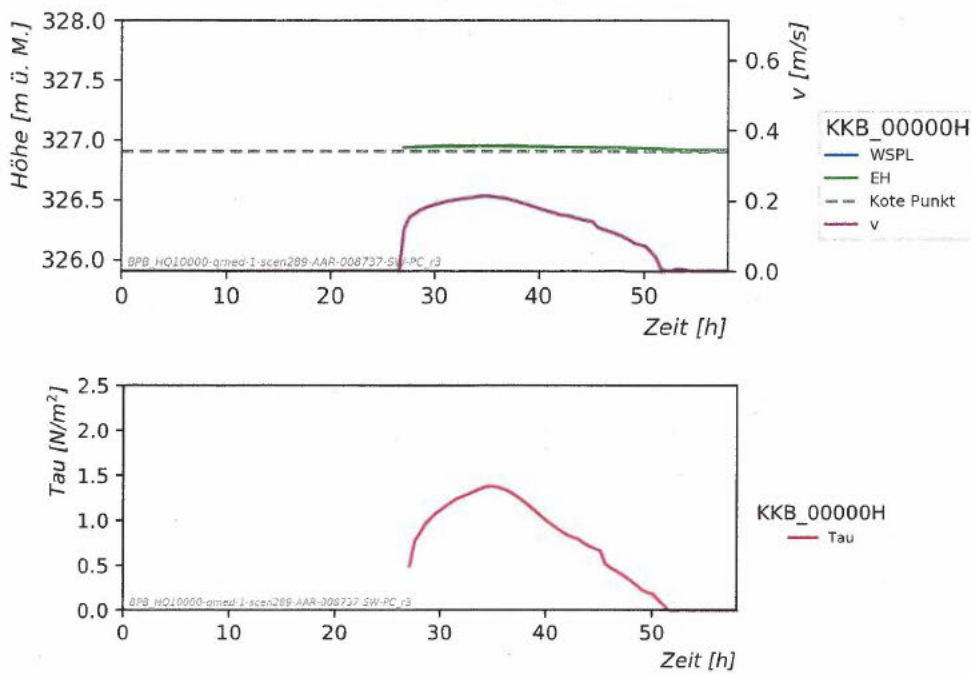


Abbildung 25: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt H für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

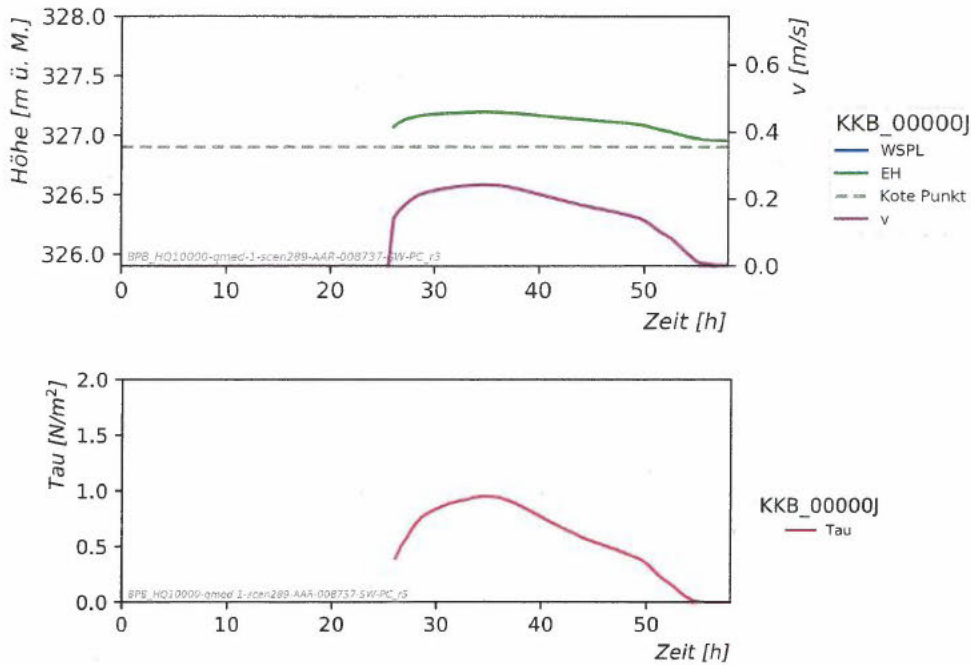


Abbildung 26: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt J für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).



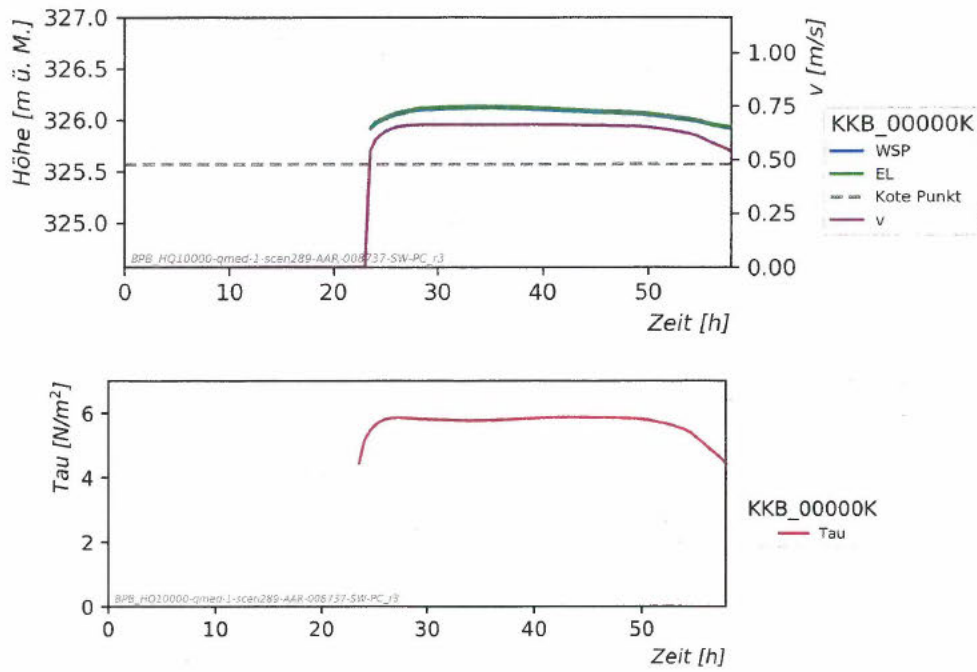


Abbildung 27: Verlauf der hydraulischen Parameter am Szenarienpunkt K für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

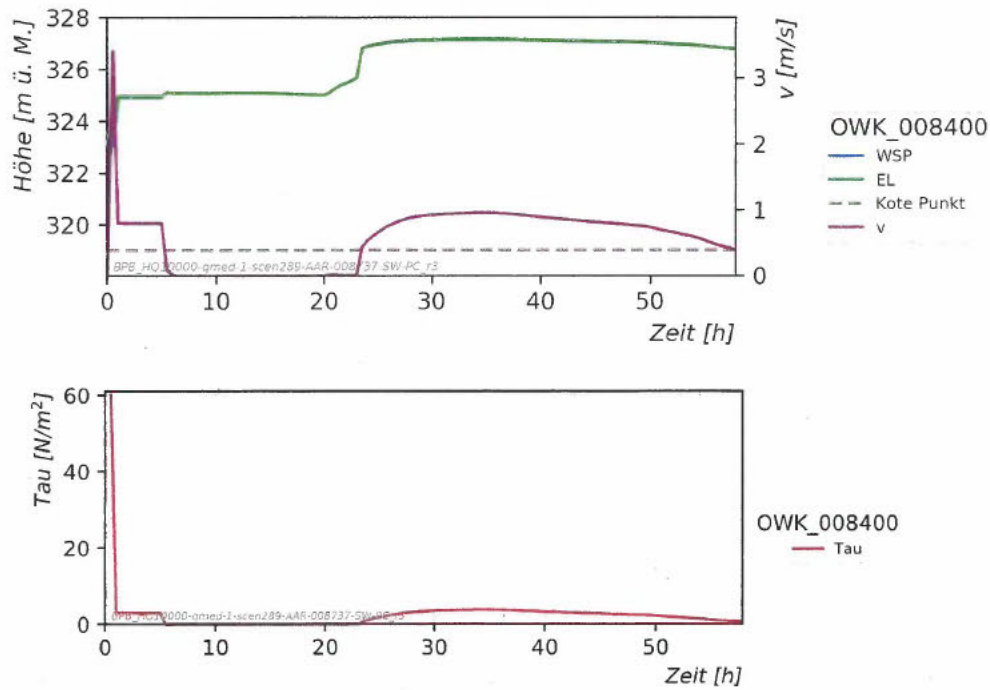


Abbildung 28: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt OWK\_008400 für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

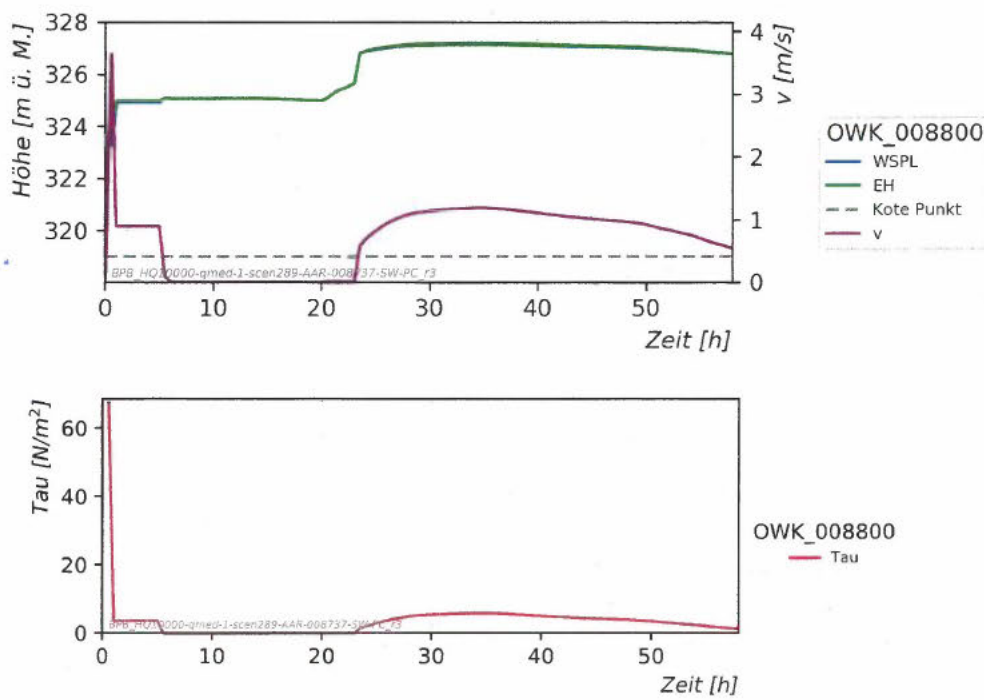


Abbildung 29: Verlauf der hydraulischen Parameter am Hilfspunkt OWK\_008800 für das Szenario 7 (1E-4/Jahr). Oben: Wasserspiegellage (WSPL, blau identisch mit EH), Energiehöhe (EH, grün), Geschwindigkeit (v, violett). Unten: Schubspannung (Tau, purpur).

#### 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 der Kernkraftwerke 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 gewünschten Angaben konnten im Rahmen einer Ergänzung aus den vorhandenen Grundlagen und Berechnungen der EXAR-Studie abgeleitet werden. Es wurden keine weiterführenden Modellrechnungen durchgeführt.

##### 4.4.1 Informationen aus der hydrologischen Zeitreihe für den Beurteilungssperimeter Beznau

Der Beurteilungssperimeter Beznau liegt an der Aare zwischen der Mündung der Limmat (Stilli) und der Mündung der Aare in den Rhein. Das Subsystem mit den beiden Beurteilungssperimetern 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 30 und Abbildung 31). Die Hochwasserwelle verändert sich in ihrer Form zwischen dem Transferpunkt Stilli und dem Beurteilungssperimeter kaum, da es nur kleinräumige Austritte gibt. Zwischen dem Transferpunkt Stilli und dem Beurteilungssperimeter gibt es zudem aus der Hydrologie keine seitlichen Zuflüsse – diese fließen erst unterhalb des Beurteilungssperimeters Beznau in die Aare (Surb in Döttingen und ein diffuser Zufluss in den Klingnauer Stausee).

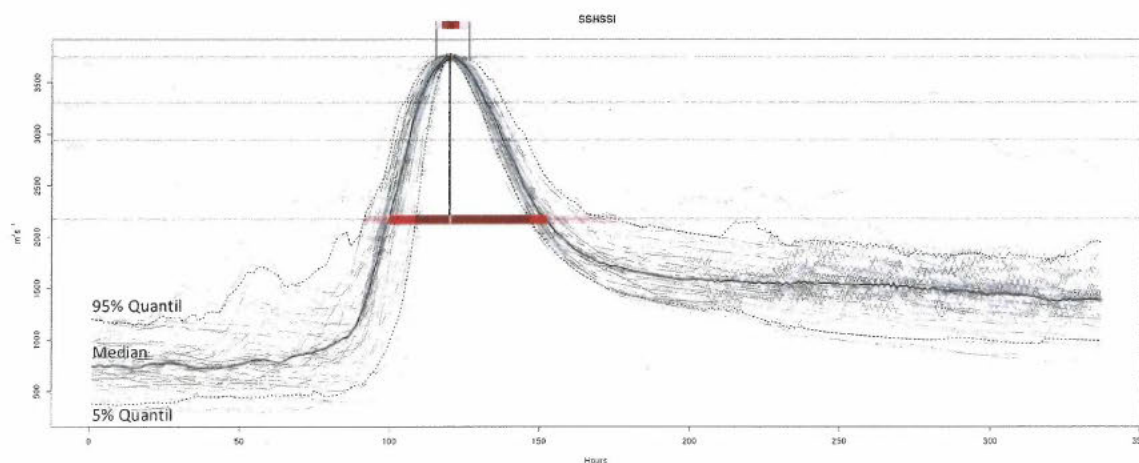
Als erster Schritt zur Bestimmung der Zeitspannen der Hochwasserereignisse wurde die mögliche Streuung der Hochwasserereignisse aus der Langzeitsimulation der Hydrologie (289'000 Jahre) ermittelt. Dafür wurden für den 1'000- und 10'000-jährlichen Spitzenabfluss je 50 Ereignisse ausgewählt, die diesen Spitzenabfluss sehr genau erreichen. Unter diesen 50 Ereignissen liegt jeweils 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 30 und Abbildung 31 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.

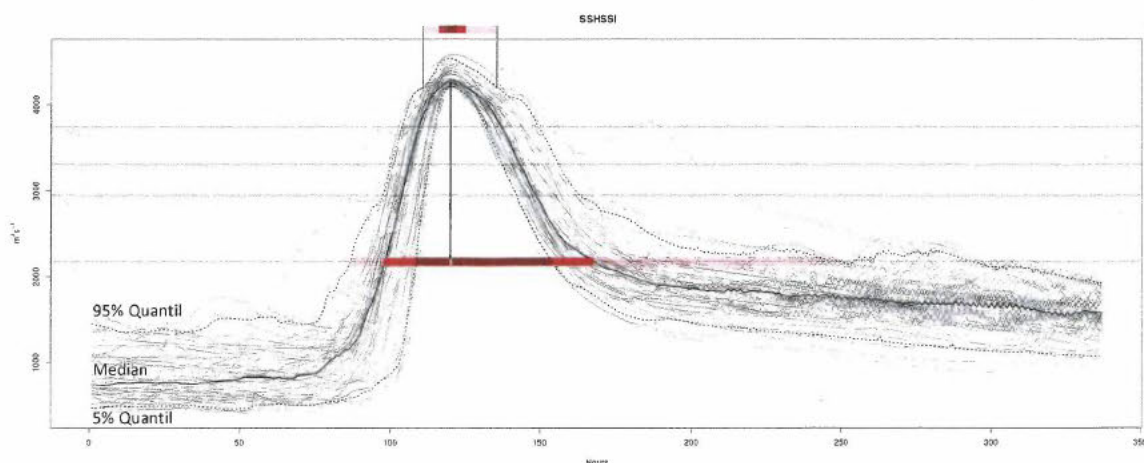
In den beiden folgenden Abbildungen sind die Zeitspannen der erforderlichen Hochwasserdauer-Angaben für die verschiedenen Quantile angegeben (roter Balken mit unterschiedlicher Intensität). Die Zeitspanne beginnt, sobald die Quantilwerts-Kurve resp. die Median-Kurve den Grenzwert des HQ10 kreuzt.

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 ( $> 5h$ ) von der Anstiegszeit und der abfallenden Zeit subtrahiert.



**Abbildung 30:** 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 1E-3/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 31:** 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 30 und Abbildung 31 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	<b>20 - 25 h</b>	ca. 25 h
	Dauer des Spitzenabflusses	ca. 2 h	<b>ca. 5 h</b>	ca. 10 - 12 h
	Abfallende Zeit Spitzenabfluss bis Normalabfluss	ca. 25 h	<b>30 - 35 h</b>	ca. 45 - 55 h
FL4, Transferpunkt Stilli	Anstiegszeit Normalabfluss bis Spitzenabfluss	10 - 15 h	<b>15 - 20 h</b>	20 - 30 h
	Dauer des Spitzenabflusses	ca. 4 h	<b>ca. 10 h</b>	ca. 25 h
	Abfallende Zeit Spitzenabfluss bis Normalabfluss	ca. 35 h	<b>35 - 45 h</b>	105 - 115 h

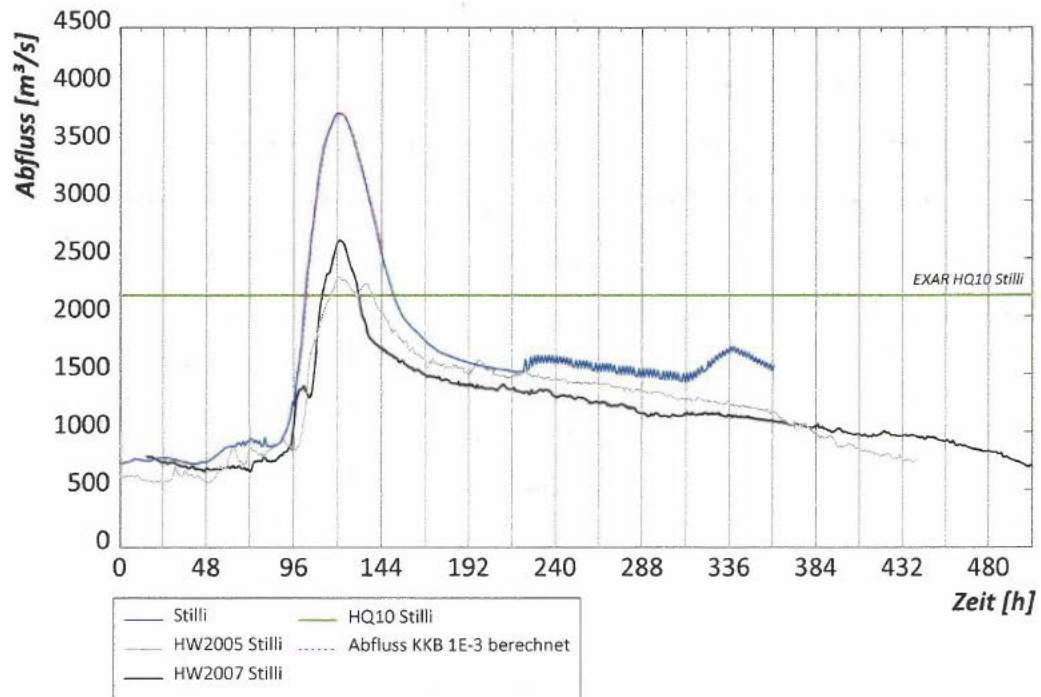
Die Auswertung zeigt, dass der ansteigende Ast der Ganglinienschar am Transferpunkt Stilli nur eine geringe Streuung aufweist, wobei der abfallende Ast insbesondere bei FL4-Ereignissen eine sehr grosse Variabilität aufweisen kann. Dies liegt aber insbesondere an der Definition, dass ein Normalzustand 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 Beznau**

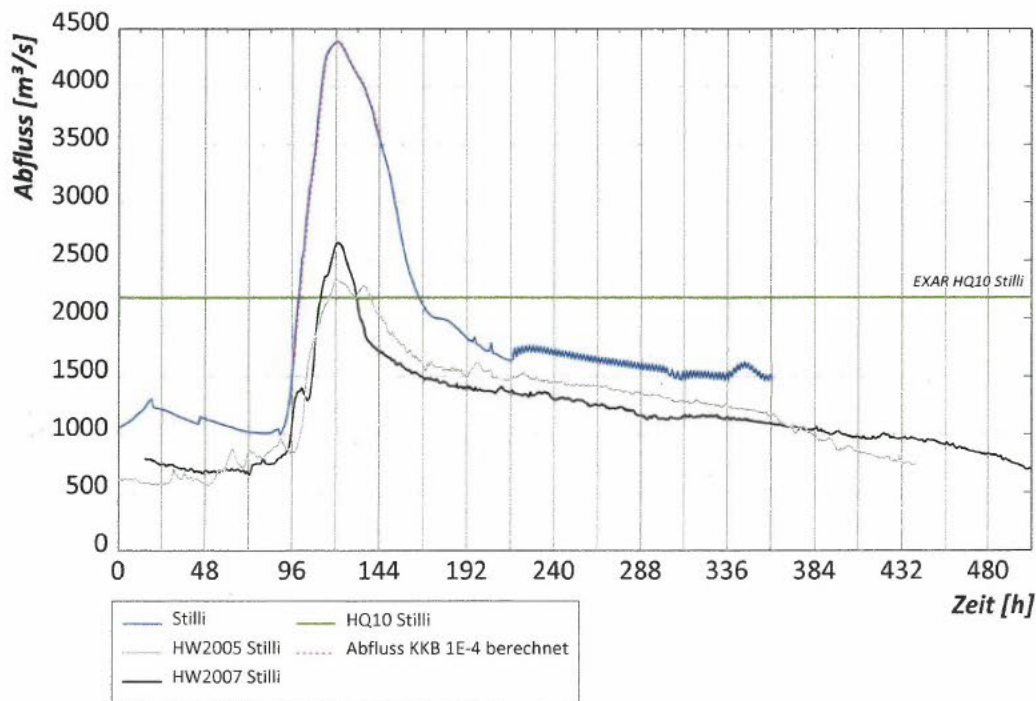
Die spezifischen Szenarien wurden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung so gewählt, dass die Ganglinien am Transferpunkt möglichst dem Median, resp. dem Mittelwert der Ganglinienschar (Abbildung 32 und Abbildung 33) entsprechen. Da das Hauptresultat der EXAR-Studie die Hochwassergefährdung mit einem Fokus auf die Maximalwerte in den Beurteilungsperimetern untersuchte, wurde die Ganglinie 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 13 und 7 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 BP Beznau übernommen werden.

Der nachfolgende Vergleich der Ganglinien (Abbildung 32 und Abbildung 33) zeigt, dass der berechnete Abfluss beim Beurteilungsperimeter Beznau (pinke Linie) nahezu identisch ist wie die Ganglinie am Transferpunkt Stilli (dunkelblaue Linie). Die Zeitspannen, welche in Stilli auftreten, können deshalb für den Beurteilungsperimeter Beznau übernommen werden.



**Abbildung 32:** Vergleich der Hochwasserganglinie FL3 des Szenarios 13 (1E-3/Jahr) aus der Betrachtung des Transferpunkts Stilli (dunkelblaue Linie), zusammen mit der berechneten Abflussganglinie im Bereich des Spitzenabflusses beim Beurteilungspereimeter Beznau (pinke 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 200 Stunden immer noch so hoch, dass der Hochwasserbetrieb aufgrund der vereinfachten Regelung aktiviert resp. deaktiviert wird.



**Abbildung 33:** Vergleich der Hochwasserganglinie FL4 des Szenarios 7 (1E-4/Jahr) aus der Betrachtung des Transferpunkts Stilli (dunkelblaue Linie), zusammen mit der berechneten Abflussganglinie im Bereich des Spitzenabflusses beim Beurteilungspereimeter Beznau (pinke 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 200 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 13 und 7 sind in Tabelle 4 dargestellt. Die erhaltenen Werte 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 (Mittelwert) der spezifisch ausgewählten Szenarien 13 und 7 am Transferpunkt Stilli. Die Angaben sind für den Standort des KKB übertragbar. Die Dauer des jeweiligen Spitzenabflusses für die beiden Szenarien ist in Tabelle 3 ersichtlich.

		1E-3/Jahr Szenario 13	1E-4/Jahr Szenario 7
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).

Kanton Aargau, D.B., Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer, 2014: Sanierung Geschiebehaushalt - Strategische Planung.