

Bericht TKC 18.007

Auftraggeber:

AXPO AG

Kernkraftwerk Beznau,
5312 Döttingen

nicht öffentlich

ÜBERFLUTUNG BEZNAU

**ERMITTLUNG DER MAXIMALEN ÜBERFLUTUNGSHÖHE
DER BEZNAU-INSEL UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON
FESTSTOFFTRANSPORT**

Zürich, 03.12.2013

TK CONSULT AG


Hallenstrasse 10
CH-8008 Zürich, Switzerland
www.tkconsult.ch

Tel: +41 (0)44 310 14 70
Email: tkc@tkconsult.ch

Dokumenttitel:	Dokument-Nr.	18.007
Überflutung Beznau	Version	001
Ermittlung der maximalen Überflutungshöhe der Beznau-Insel unter Berücksichtigung von Feststofftransport	Datum	03.12.2013
Kurztitel:	Anzahl Seiten	30
Überflutungsberechnungen des KKB-Areals mit einem Wasser-/Feststoffmodell	Anzahl Beilagen	-

ersetzt Dokument-Nr.: -

KKB-Bericht-Mehrkorn-20131201

	Datum	Name	Visum
erstellt	02.12.2013		
geprüft	03.12.2013		
freigegeben	03.12.2013		

Revisionsverzeichnis

Nr.	Datum	Erstellt	Geprüft	Freigegeben	Vermerk

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN	1
2.1	UNTERSUCHUNGSPERIMETER.....	1
2.2	WEHR BEZNAU.....	2
2.3	HYDROLOGIE.....	2
2.4	FESTSTOFFMATERIAL	3
2.4.1	SOHLEN- UND GESCHIEBEMATERIAL.....	4
2.4.2	KORNZUSAMMENSETZUNG SCHWEBSTOFFMATERIAL.....	7
2.5	FESTSTOFFFRACHT	8
2.5.1	GESCHIEBEFRACHT.....	8
2.5.2	SCHWEBSTOFFFRACHT	10
2.6	BERECHNUNGSPROGRAMM.....	13
3	VORGEHENSWEISE.....	13
4	WASSER-/FESTSTOFFMODELL.....	14
4.1	GELÄNDEMDELL	14
4.2	RANDBEDINGUNGEN	15
4.2.1	OBERE RANDBEDINGUNG	15
4.2.2	UNTERE RANDBEDINGUNG	16
4.3	SOHLENBESCHAFFENHEIT	17
5	GEFÄHRDUNGSSZENARIEN.....	17
5.1	SZENARIO 1	18
5.2	SZENARIO 2	18
6	ERGEBNISSE.....	19
6.1	SZENARIO 1	19
6.2	SZENARIO 2	24
7	ZUVERLÄSSIGKEIT DER RESULTAT	28
8	SCHLUSSFOLGERUNG	29
9	REFERENZEN	30

1 Einleitung

Die Hochwassersicherheit des Kernkraftwerks Beznau (KKB) wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht. Dabei wurde die Hochwassersicherheit des KKB-Areals (Abbildung 1) für Extremhochwasser beurteilt [NOK, 2008; Resun, 2011].

Im Zusammenhang mit extremen Hochwasserereignissen wurden auch Abklärungen zum Geschiebetransport vorgenommen. Die Berechnungen des Geschiebetransports wurden mit einem gekoppelten zweidimensionalen Einkorn-Modell bearbeitet, das das Geschiebe mit einem mittleren Korn charakterisiert. Mit dem Schreiben von ENSI an das KKB vom 26.03.2013 wurden zusätzliche Untersuchungen angefordert. Dabei geht es in erster Linie darum, die Hochwassergefährdung des KKB-Areals unter Berücksichtigung des Feststofftransports (Geschiebe / Schwebstoff) mit Hilfe eines vollständig gekoppelten fraktionierten Wasser-/Feststoffmodells abzuklären.

Entsprechend der Aufgabenstellung in obgenanntem Schreiben (ENSI, 26.03.2013) wurde die TK Consult AG (TKC) damit beauftragt, die Hochwassergefährdung des KKB bei verschiedenen Szenarien unter Berücksichtigung von Feststofftransport zu untersuchen und zu dokumentieren.



Abbildung 1: Lage des KKB-Areals [Google Map]

2 Grundlagen

2.1 Untersuchungsperimeter

Das Untersuchungsgebiet entspricht demjenigen vom Einkorn-Modell. Es liegt im Konzessionsgebiet des Hydraulischen Kraftwerk Beznau (HKB) und erstreckt sich von Brugg bis zum Zusammenfluss der Aare mit dem Rhein (Abbildung 2).

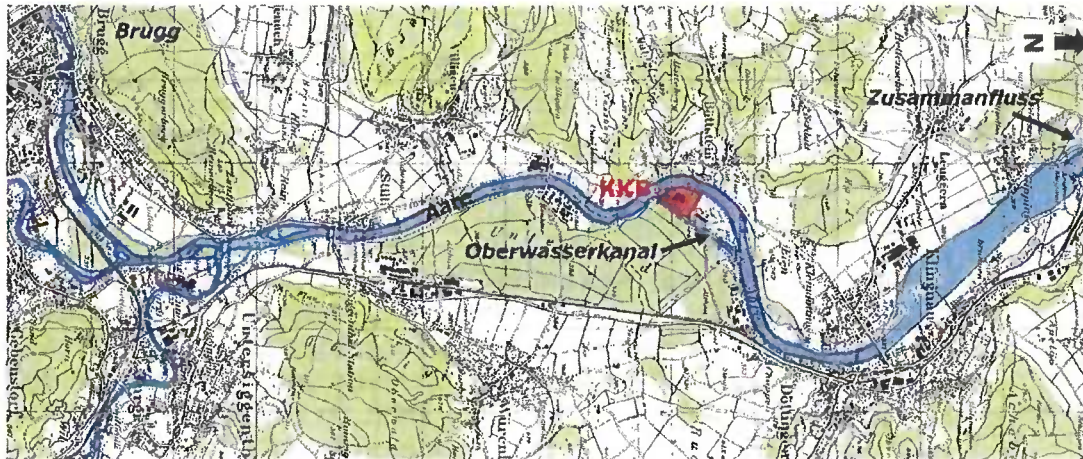


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet

2.2 Wehr Beznau

Das Wehr Beznau (Abbildung 3) besteht aus fünf Wehrröffnungen, jede weist eine Öffnungsweite von 20 m auf. Bei der vollständigen Öffnung der Segmentschützen liegt die Oberkante der Schütze auf der Kote von 328.70 m ü.M.. Diese Kote ist massgebend beim Szenario mit vollständiger Wehrverklammerung (vgl. Kapitel 5).

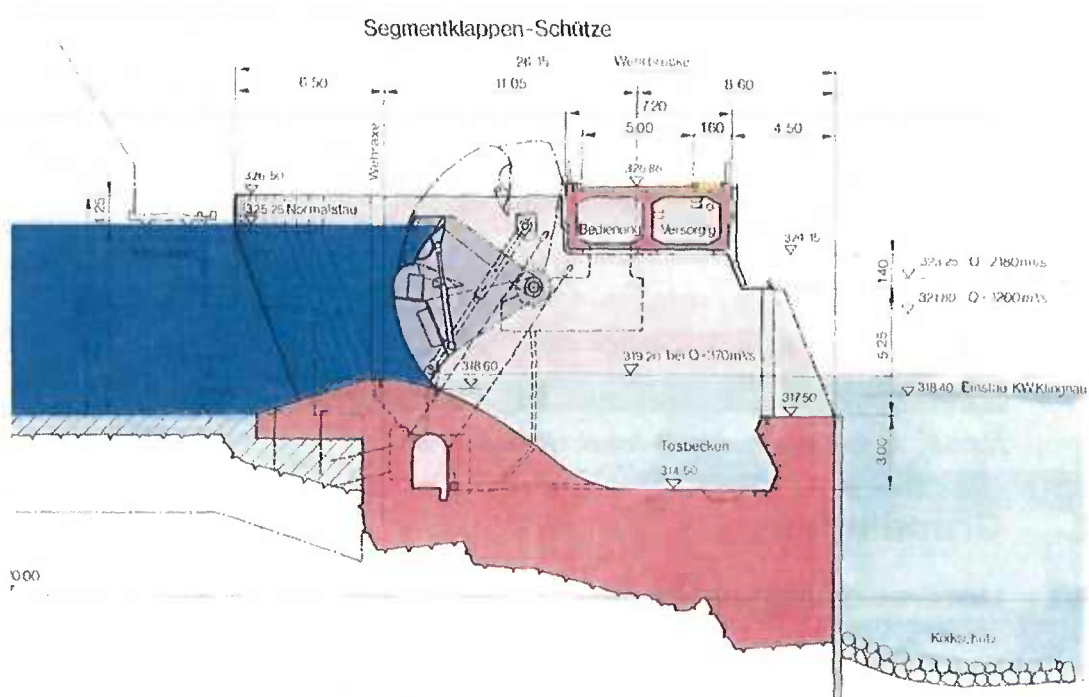


Abbildung 3: Schnitt durch das Wehr Beznau [Bild Axpo AG]

2.3 Hydrologie

Der Abfluss der Aare bei Beznau setzt sich aus dem Abfluss der Reuss, der Limmat sowie dem Abfluss des Einzugsgebietes der Aare bis zur Mündung der Reuss zusammen. Die extremen Hochwasserabflüsse mit bestimmter

Eintrittshäufigkeit wurden bereits bei den Untersuchungen des EKKB¹ ermittelt [Resun, 2008]. Gemäss den durchgeführten Analysen ergibt sich für das Extremhochwasser mit einer Überschreitungshäufigkeit von $10^{-4}/a$ ($HQ_{10'000}$) ein Spitzenabfluss von $4'200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hochwasser sind naturgemäss instationäre Vorgänge. Für die Modellierung solcher Ereignisse wie das $HQ_{10'000}$, gekoppelt mit Geschiebe- und Schwebstofftransport, sind deshalb neben der Abflussspitze auch der zeitliche Verlauf (Ganglinie) des Hochwassers erforderlich. Die Form der Ganglinie des $HQ_{10'000}$ (Abbildung 4) wurde dabei aus historischen Ereignissen abgeleitet [Resun, 2008].

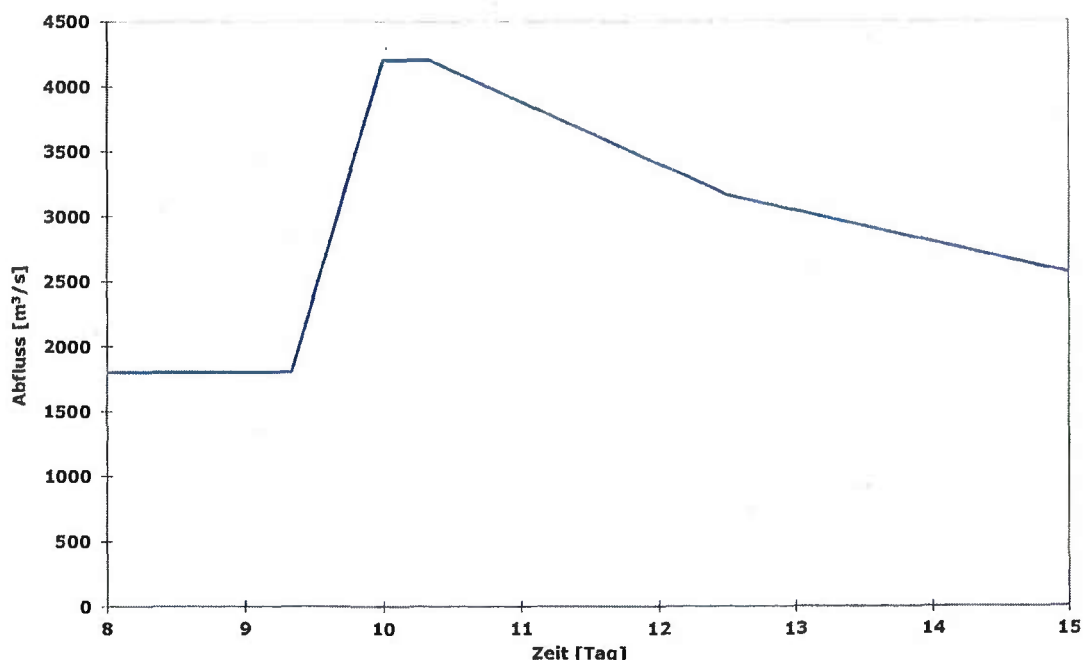


Abbildung 4: Abgeleitete Hochwasserganglinie für $HQ_{10'000}$ am Wehr Beznau

2.4 Feststoffmaterial

Die Aare weist im Untersuchungsgebiet heute ein Geschiebedefizit auf. Dieses beruht auf dem Bau von Geschiebesammlern sowie den grossen Flusskraftwerken in der Aare. Um das Geschiebedefizit in der Aare auszugleichen, wurden verschiedene Geschiebereaktivierungsmassnahmen geplant und auch teilweise umgesetzt. Auch bei einer Realisierung der vorgesehenen Reaktivierung des Geschiebehaushaltes werden die zukünftigen Geschiebeeinträge in die Aare relativ bescheiden bleiben. Diese Tatsache wurde bei der Formulierung der Randbedingungen berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.2.1).

¹ Ersatz Kernkraftwerk Beznau

In der Aare ist die Flusssohle gröber als das zugeführte Geschiebe aus dem Einzugsgebiet der Seitenbäche. Die Sohle der Aare ist teilweise abgeplästert und weist deshalb einen hohen Erosionswiderstand auf.

Die Schwebstofflieferanten im Untersuchungsgebiet sind in erster Linie die Emme und die Reuss.

2.4.1 Sohlen- und Geschiebematerial

A) Sohlenmaterial

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare wurde eine Untersuchung zum Thema Geschiebe in der Aare zwischen der Emme und dem Rhein durchgeführt [Kanton Solothurn, 1996]. Abbildung 5 zeigt den mittleren Durchmesser d_m und den Durchmesser d_{90} (90 Gewichts-% der Körner sind feiner als d_{90}) des Sohlenmaterials respektive der Unterschicht der Sohle entlang der Aare zwischen Wynau und Beznau. Im Bereich des Untersuchungsgebietes liegt d_m im Bereich von 7 cm und d_{90} von 14.5 cm.

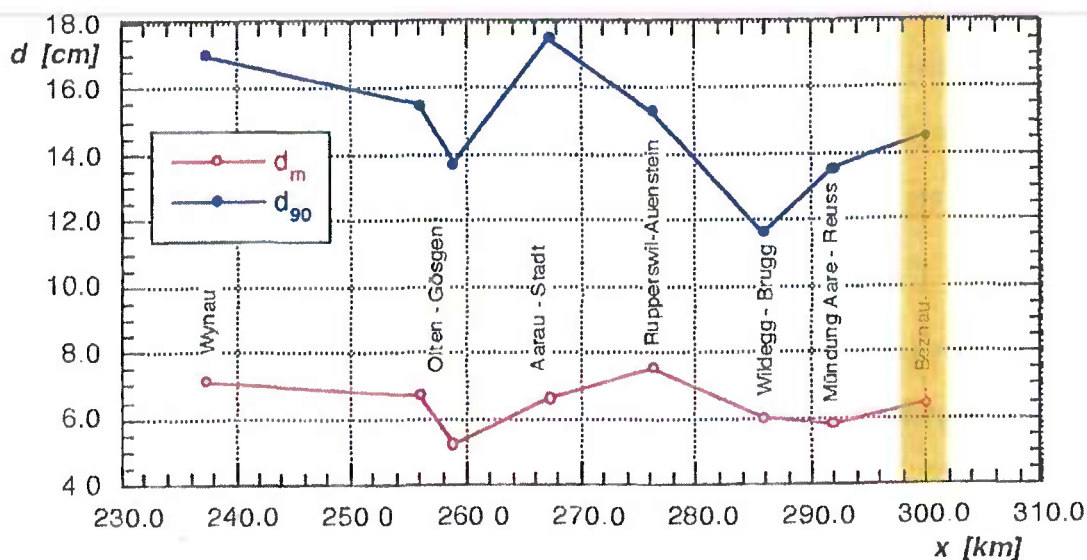


Abbildung 5: Charakteristische Korndurchmesser d_m und d_{90} des Sohlenmaterials der Aare im Längsprofil

Bei den ökomorphologischen Untersuchungen für den Neubau des HKB wurden verschiedene Sohlenaufnahmen im Stauraum mittels Taucharbeiten erhoben [Aquarius, 2010]. Gemäss der Auswertung dieser Aufnahmen liegen die Korngrössen der Sohle zwischen 3 cm (Nah am Wehr) bis 30 cm (Nah an der Stauwurzel). Ausserdem wurde eine starke Kolmation der Sohle beobachtet. Diese Durchmesser repräsentieren die Deckschichtgrössen. Abbildung 5 zeigt, dass die Korngrössen in Beznau in etwa die gleichen Werte wie in Gösgen aufweisen. Es kann daher angenommen werden, dass die Deckschicht im Untersuchungsgebiet dieselbe Korngrösse wie in der Aare

bei Gösgen aufweist. Demzufolge betragen die $d_m = 9.5$ bis 13.5 cm und $d_{90} = 14.4$ bis 20.0 cm für die Deckschicht.

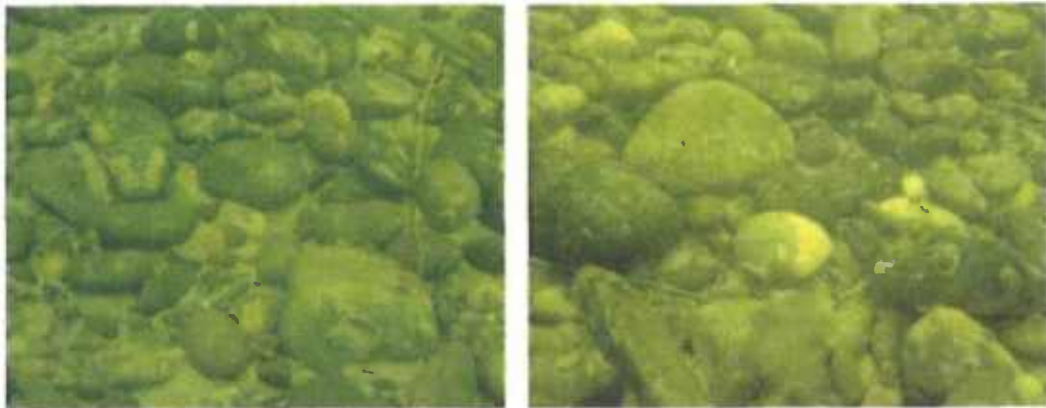


Abbildung 6: Sohlenaufnahmen im Stauraum des Wehrs Bezau

Im Rahmen des Neubaus des HKB wurden verschiedene Proben aus dem Oberwasserkanal unterhalb der Refuna-Brücke (Abbildung 7) entnommen, die als Grundlagen der Modellversuche des HKB an der VAW, ETH Zürich dienten [VAW, 1990]. Gemäss der Analyse dieser Proben betragen $d_m = 2.0$ bis 9.0 cm und $d_{90} = 5.0$ bis >12.0 cm (Abbildung 8).



Abbildung 7: Lage der Refuna-Brücke

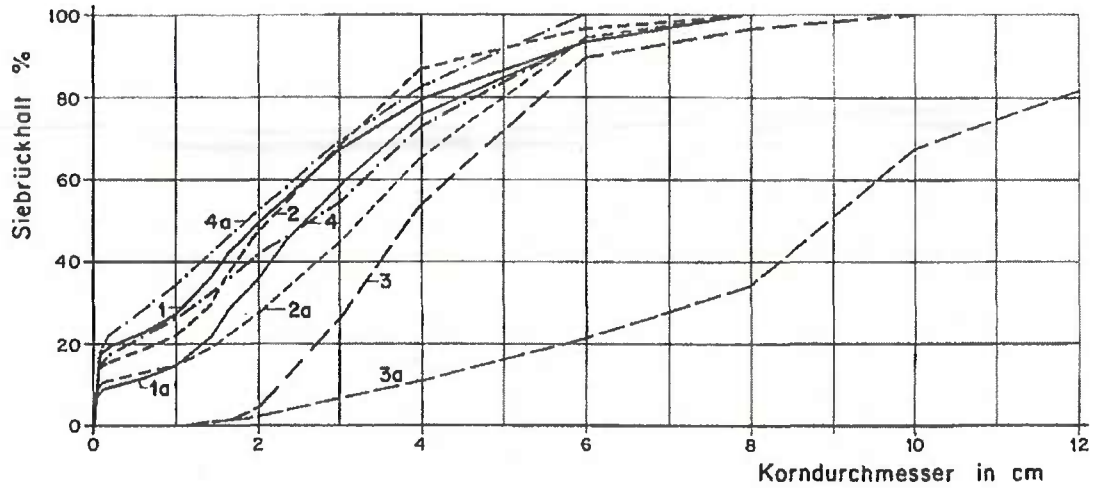


Abbildung 8: Probenanalyse aus dem Oberwasserkanal

B) Geschiebematerial

Abbildung 9 zeigt die Zusammensetzung des transportierten Aaregeschiebes zwischen Wynau und Aarau [Kanton Solothurn, 1996]. Die Korngrößen des Geschiebes sind feiner als diejenigen des Sohlenmaterials. Daraus kann geschlossen werden, dass das Geschiebe in der Aare hauptsächlich von den Seitengewässern stammt. Mit der Annahme eines konstanten Abriebs der Körner bis zum Wehr Beznau betragen $d_m = 2.5$ cm und $d_{90} = 5.0$ cm.

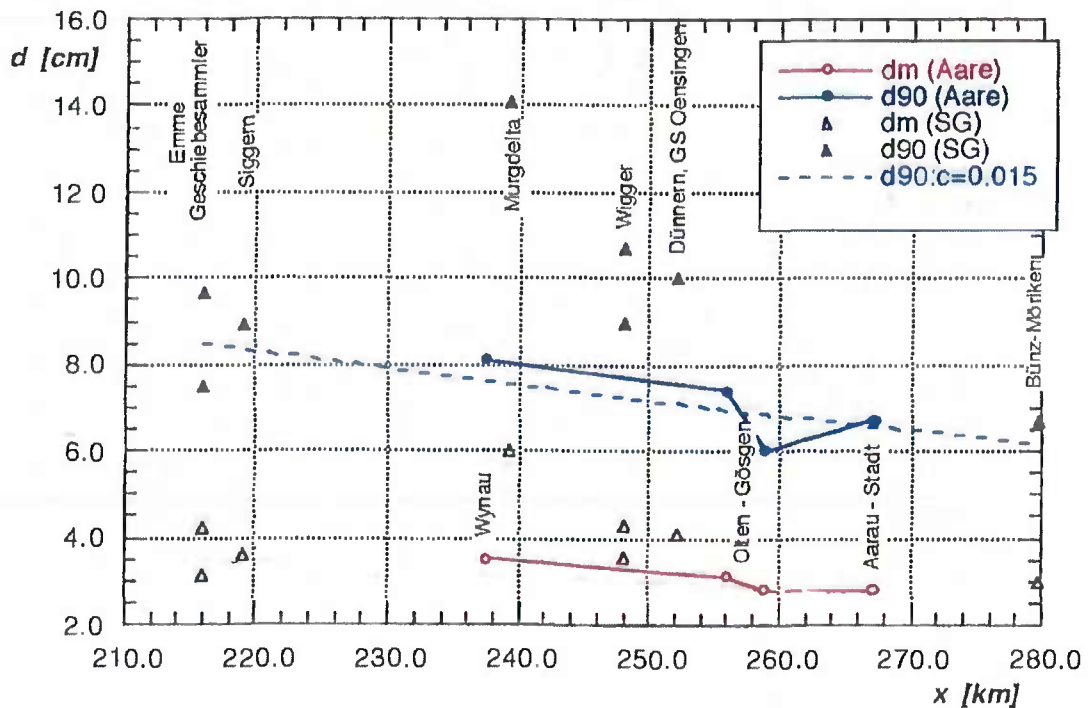


Abbildung 9: Charakteristische Korndurchmesser d_m und d_{90} des laufenden Geschiebes der Aare im Längenprofil (c : Abriebfaktor, SG: Seitengewässer)

C) Zusammenfassung der charakteristischen Korndurchmesser

Die Zusammenfassung der bisher vorliegenden Grundlagen zu den charakteristischen Korndurchmesser im Untersuchungsgebiet ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Charakteristische Korndurchmesser im Untersuchungsgebiet

	Deckschicht		Sohlenmaterial (Unterschicht)		Laufendes Geschiebe
	min.	max	min	max	
d_m [cm]	9.5	13.5	2.0	9.0	2.5
d_{90} [cm]	14.5	20.0	5.0	14.5	5.0

2.4.2 Kornzusammensetzung Schwebstoffmaterial

Über die Kornverteilung des Schwebstoffmaterials in der Aare im Untersuchungsgebiet liegt sehr wenig Information vor. In der Aare bei Stilli wurden am 16.09.1993 Schwebstoffproben genommen und deren Kornzusammensetzung bestimmt (Abbildung 10). An dem Tag floss ein mittlerer Abfluss von $851 \text{ m}^3/\text{s}$ (ca. Q_{55}) in der Aare bei Stilli.

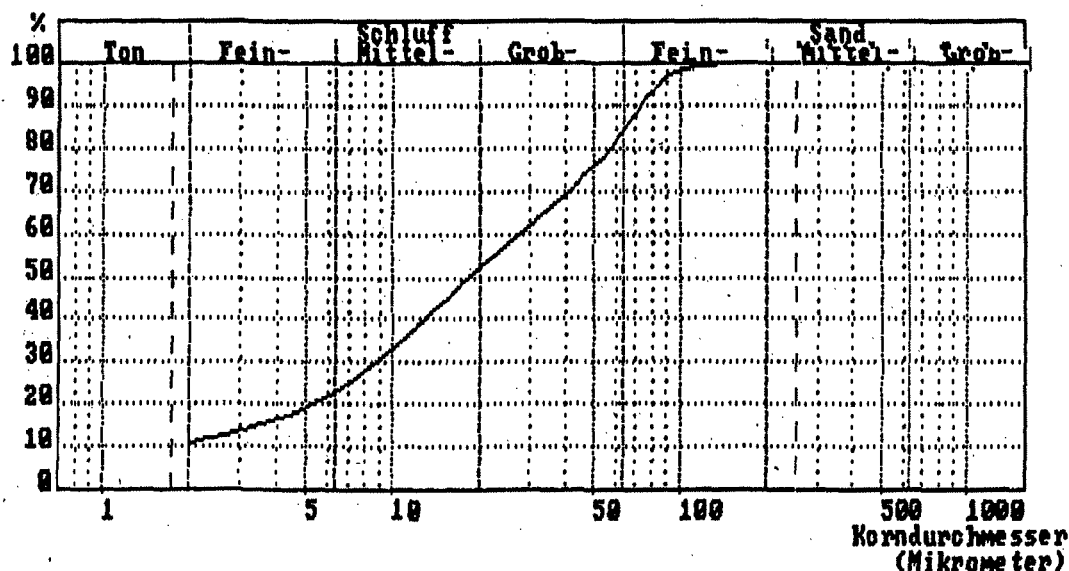


Abbildung 10: Kornverteilung der Schwebstoffe der Aare bei Stilli am 16.09.1993 [BAFU]

Abbildung 11 zeigt die Variationsbreite der Korngrößenverteilung des Schwebstoffs an verschiedenen Messstandorten in der Schweiz. Demzufolge liegen d_{50} zwischen 0.015 bis 0.09 mm und d_{90} zwischen 0.05 bis 0.4 mm .

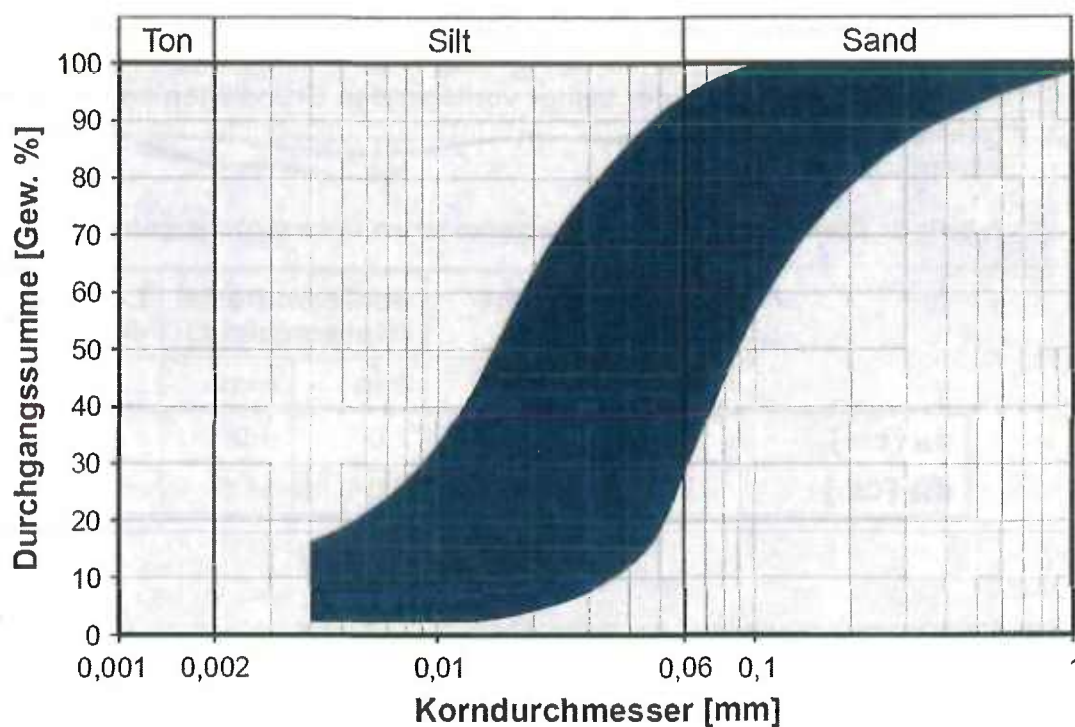


Abbildung 11: Variationsbreite der Korngrößenverteilung des Schwebstoffs an verschiedenen Messstandorten in der Schweiz [BWG, 2005]

2.5 Feststofffracht

2.5.1 Geschiebefracht

Im unbeeinflussten Zustand um 1913 (Abbildung 12) transportierte die Aare zwischen der Emme und dem Rhein jährlich durchschnittlich bis zu 20'000 m³ Geschiebe. Dominanter Geschiebelieferant unterhalb der grossen Jurarandseen waren die Emme und die Reuss. Weitere bedeutende Geschiebelieferanten oberhalb waren die Wigger und die Limmat. Das Geschiebe wurde damals mit den Hochwasserwellen ungehindert weitertransportiert.

Im 20. Jahrhundert hat die Geschiebezufuhr in die Aare infolge Flussverbauungen und wasserbaulicher Eingriffe an der Aare und ihren Zuflüssen stark abgenommen. Mit dem Neubau des neuen Kraftwerks Ruppoldingen im Jahre 2000 wurde der Oberwasserspiegel in der Aare um bis zu 2.2 m höher gestaut. Dadurch wurden die Fliessgeschwindigkeit, die Schleppkraft und demzufolge die Geschiebetransportkapazität des Gewässers reduziert und der Geschiebetransport vollständig unterbrochen (Abbildung 12).

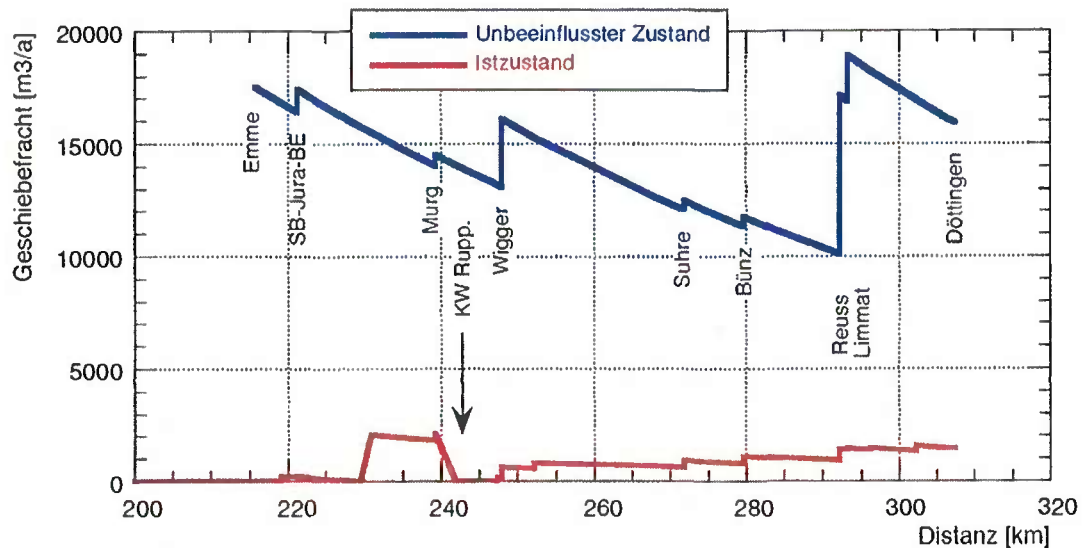


Abbildung 12: Längenprofil der transportierten Geschiebefracht der Aare bis 1913 (Unbeeinflusster Zustand) und im Istzustand [Alpiq Hydro Aare AG, 2010]

Zur Aufwertung der gewässerökologischen Verhältnisse werden deshalb durch die Begleitgruppe "Geschiebetrieb Aare" Massnahmen zur Reaktivierung der Geschiebezufuhr angestrebt, welche teilweise bereits umgesetzt wurden [Kanton Aargau, 2005].

Dabei wird in der Aare ab die Mündung der Limmat eine Geschiebeführung in der Grössenordnung von durchschnittlich 5'000 m³/a zur Reaktivierung des Geschiebehahls angestrebt. Abbildung 13 zeigt den Geschiebehalt der Aare nach der Reaktivierung.

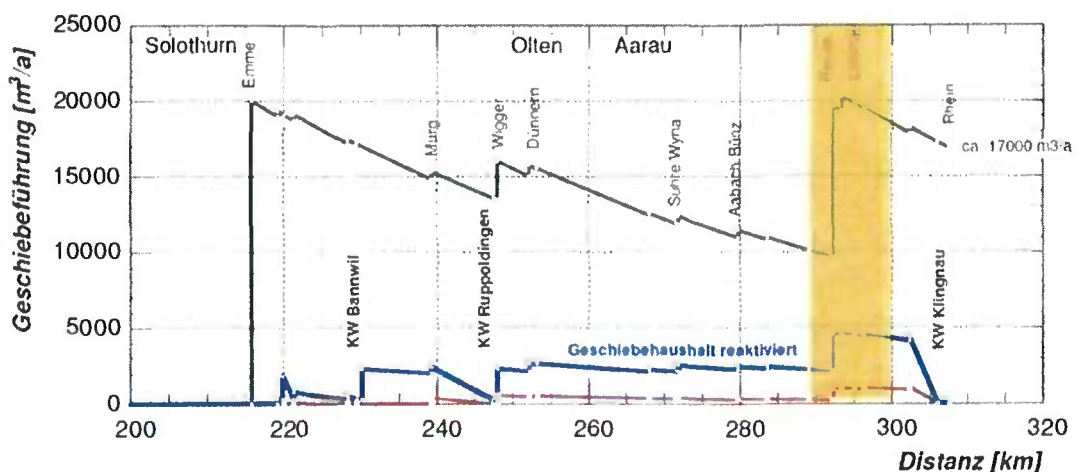


Abbildung 13: Längenprofil der Aare mit einer reaktivierten Geschiebeführung (grün: unbeeinflusster Zustand, rot: heutiger Zustand, blau: reaktivierter Zustand) [Kanton Aargau 2005]

2.5.2 Schwebstofffracht

Die Hauptlieferanten der Schwebstoffe in die Aare sind die Emme und die Reuss (Abbildung 14). Während der Hochwasserereignissen wird ein substantieller Teil der jährlichen Schwebstofffracht der Hauptlieferanten in die Aare eingetragen. Die Frachten variieren dabei in einzelnen Jahren beträchtlich.

Grosse Schwebstoffkonzentrationen, welche in der Aare in der Nähe des Untersuchungsgebietes gemessen wurden, betragen 1200 mg/l (Abbildung 14) bzw. 1300 mg/l (Abbildung 15).

Eine Korrelation zwischen der Schwebstoffkonzentration und dem Abfluss an der Station Stilli ist leider nicht vorhanden (Abbildung 16).

Die Schwebstofffracht kann anhand der gemessenen Schwebstoffkonzentrationen abgeschätzt werden (Abbildung 17). Die Grafik zeigt die Schwebstoffjahresfrachten in der Aare bei Stilli für die Periode 1962 bis 1993. Die maximale jährliche Schwebstofffracht betrug in diesem Zeitraum ca. 1'800'000 Tonnen, welche im Jahre 1968 beobachtet wurde.

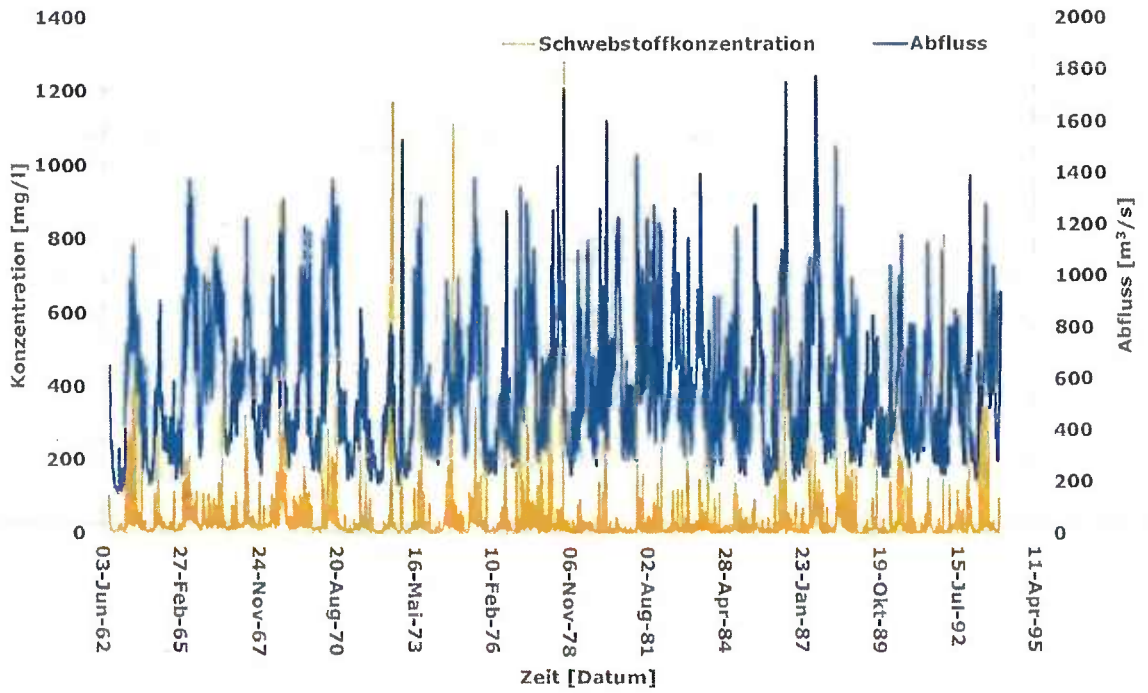


Abbildung 15: Mittlere Tagesabflüsse und Schwebstoffkonzentration am Pegel Aare-Stilli [BAFU]

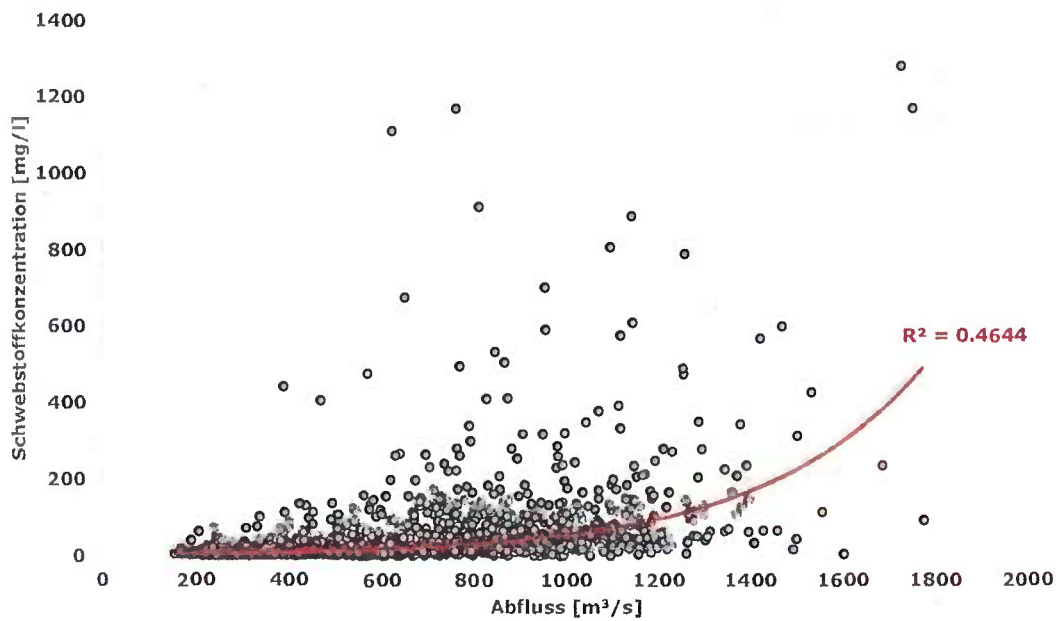


Abbildung 16: Relation Abfluss-Schwebstoffkonzentration für die Proben (Aare-Stilli) [BAFU]

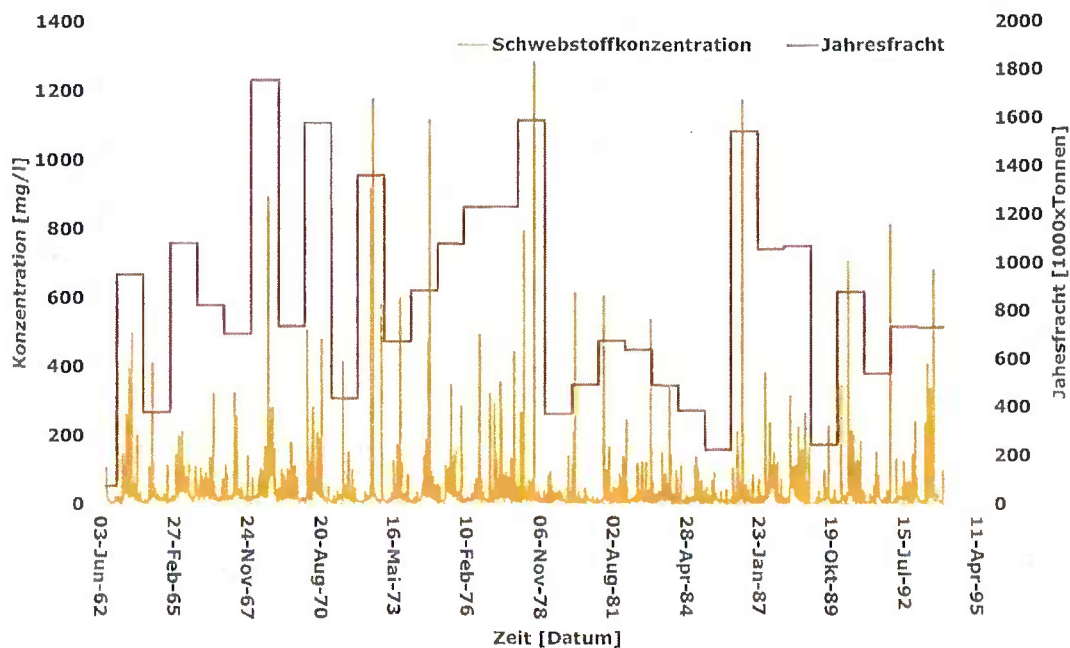


Abbildung 17: Schwebstoffkonzentration und -jahresfracht am Pegel Aare-Stilli [BAFU]

2.6 Berechnungsprogramm

Für die Simulationen wurde das Programmsystem BASEMENT in Version 2.3, R1344 eingesetzt [BASEMENT]. Für das Pre- und Postprocessing von Daten wurde das Programmsystem SMS (Surface Water Modelling System, Version 11.1) verwendet [SMS 11.1].

BASEMENT verwendet ein aus Drei- und Viereckelementen bestehendes Berechnungsnetz. Die Verwendung eines solchen Netzes gestattet eine genaue Anpassung an die topographischen und hydrodynamischen Gegebenheiten der jeweiligen Aufgabenstellung. Das in BASEMENT integrierte Verfahren basiert auf der hochpräzisen numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Flachwassergleichungen („Shallow Water Equations“), der Geschiebetransportgleichung („Exner Equation“) und der Schwebstofftransportgleichung („Advection-Diffusion-Equation“) mit der räumlichen Diskretisierung nach der Finiten-Volumen-Methode (FVM). BASEMENT ist deshalb ein geeignetes Programm für die Berechnung von gekoppelten 2D Wasser-/Feststoffmodellen.

3 Vorgehensweise

Die Untersuchung der Auswirkungen des Wasser-/Feststofftransports für ein Ereignis mit der Eintrittshäufigkeit $10^{-4}/a$ auf die Hochwassersicherheit des Standorts KKB mittels eines gekoppelten 2D-Modells wird in folgenden Schritten durchgeführt:

- Für die Modellierungen wird in einem ersten Schritt das bestehende Geländemodell optimiert. Die Optimierung des Modells war aus berechnungstechnischen Gründen erforderlich (vgl. Kapitel 4.1).
- Die Ermittlung der Randbedingungen ist ein wichtiger Bestandteil der Modellierungen. Dabei werden die Zuflussganglinien sowie die Feststoffmenge (Geschiebe, Schwebstoff) und deren zeitlicher Verlauf bestimmt. Die Randbedingungen werden auf Basis der in den Kapiteln 2.3 und 2.5 beschriebenen Grundlagen hergeleitet.
- Für die Feststoffmodellierung müssen die Korngrösse, die Mischungen der Körner und die Sohlenbeschaffenheit festgelegt werden. Diese Parameter werden auf Basis der in Kapitel 2.4 diskutierten Grundlagen definiert.
- Die Modellierungen werden für die mit dem ENSI vereinbarten Szenarien durchgeführt.

4 Wasser-/Feststoffmodell

4.1 Geländemodell

Die Grundlage für die Berechnungen ist das detaillierte, bestehende und bereits validierte Geländemodell aus den bisherigen Untersuchungen [NOK, 2008; Resun, 2011]. Da allerdings die Berechnungszeit mit einem vollgekoppelten 2D-Modell sehr lang ist, wurde das Modell optimiert, um die Berechnungszeit zu reduzieren (Abbildung 18).



Abbildung 18: Verwendetes 2D-Geländemodell

4.2 Randbedingungen

4.2.1 Obere Randbedingung

A) Wasserzufluss

Wie bereits im Kapitel 2.3 erwähnt, erfordern die morphologischen Berechnungen (Wasser-/Feststofftransport) die Formulierung von instationären, d.h. zeitabhängigen Randbedingungen. Die Ganglinie eines $HQ_{10'000}$ wurde bereits in früheren Untersuchungen hergeleitet (vgl. Kapitel 2.3). Abbildung 4 zeigt die Ganglinie für das $HQ_{10'000}$, welche als Wasserzuflussrandbedingung verwendet wird.

B) Geschiebeeintrag

Gemäss [Kanton Aargau, 2005] könnte eine massvolle Reaktivierung des Geschiebehaushaltes in der Aare erfolgen. In Kapitel 2.5.1 wurde auch erwähnt, dass im Mittel höchstens ein jährlicher Geschiebeeintrag von etwa $5'000 \text{ m}^3$ in die Aare beim KKB angestrebt werden sollte. Es wird konservativ angenommen, dass bei einem $HQ_{10'000}$ -Ereignis das gesamte zukünftige mittlere jährliche Geschiebe ($5'000 \text{ m}^3$) in das Untersuchungsgebiet eingetragen wird.

Auf Basis der Meyer-Peter & Müller Formel wird das gesamte Geschiebevolumen von $5'000 \text{ m}^3$ zeitlich verteilt. Damit konnte eine Geschiebeganglinie abgeleitet werden, welche als Randbedingung für das Modell verwendet wird. (Abbildung 19).

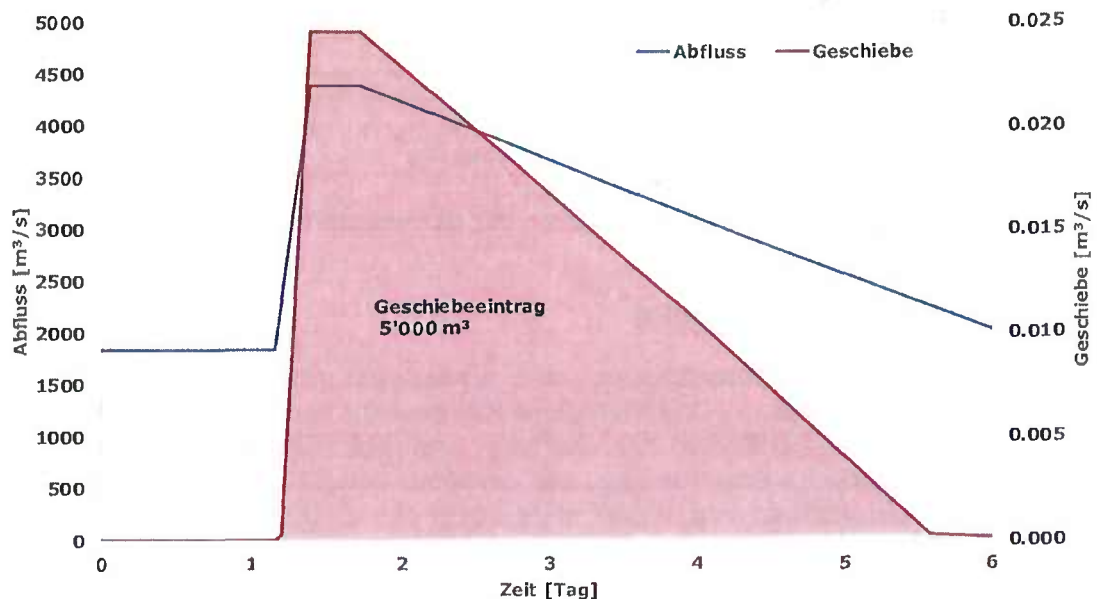


Abbildung 19: Hergeleitete Geschiebeganglinie für den Geschiebeeintrag im Falle $HQ_{10'000}$

C) Schwebstoffeintrag

Die grösste gemessene Schwebstoffkonzentration in der Aare beträgt ca. 1'300 mg/l (vgl. Kapitel 4.6.2). Maximale Schwebstoffkonzentrationen bei Hochwasserereignissen dürften auch in Zukunft in dieser Grössenordnung, also höchstens um 1'500 mg/l liegen.

Es wird konservativ einen zeitlichen Verlauf des Schwebstoffeintrags so veranschlagt, dass die bisher gemessene jährliche Schwebstofffracht (1'800'000 Tonnen) beim HQ_{10'000}-Ereignis in das Untersuchungsgebiet eingetragen wird. Die Messungen der Schwebstoffkonzentration bei Stilli (Abbildung 16) zeigen, dass die minimale Konzentration für Abflüsse ab 1800 m³/s in etwa 100 mg/l beträgt. Deshalb wurde die Basiskonzentration von 100 mg/l festgelegt. Daraus resultiert die in Abbildung 20 dargestellte Ganglinie der Schwebstoffkonzentration, dargestellt zusammen mit der Hochwasserganglinie HQ_{10'000}.

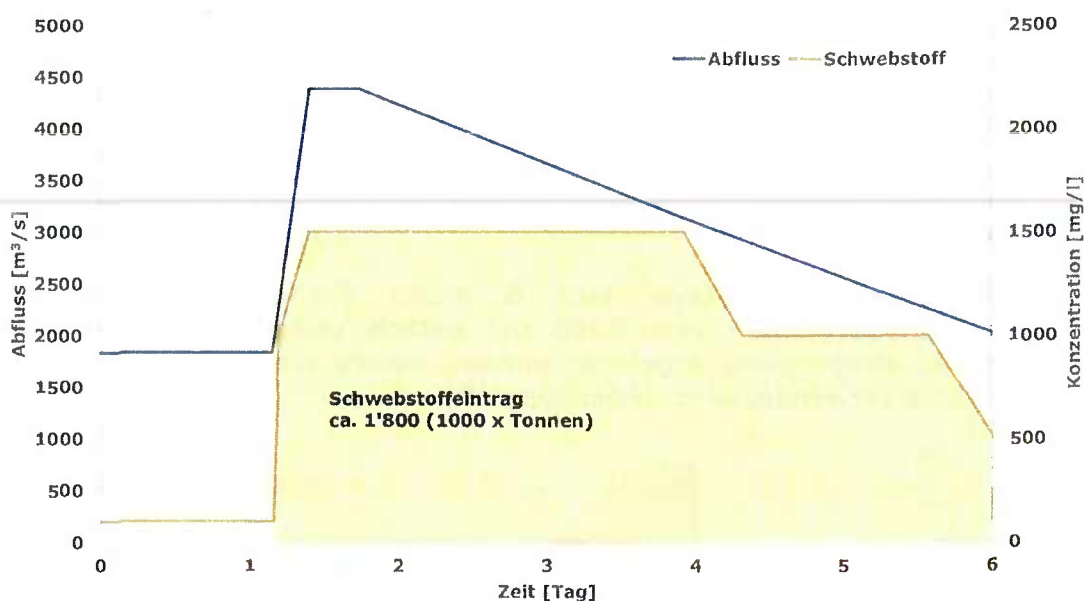


Abbildung 20: Hergeleitete Ganglinie der Schwebstoffkonzentration in der Aare für HQ_{10'000}

4.2.2 Untere Randbedingung

Die untere Randbedingung des Untersuchungsgebiets wird vom KW Klingnau bestimmt. Das Wehr des KW besteht aus vier Wehröffnungen, die mit Segmentschützen den Abfluss und das Stauziel kontrollieren. Das konzessionierte Stauziel liegt auf der Kote von 318.40 m ü.M. und kann bis zu einem Abfluss von 2'600 m³/s unter der Bedingung $(n-1)^2$ eingehalten werden.

² Das leistungsfähigste Feld kann im Hochwasserfall nicht geöffnet werden.

4.3 Sohlenbeschaffenheit

Die Flussole, resp. der Geländeuntergrund wird im BASEMENT mit Hilfe von verschiedenen Schichten modelliert. Jede Schicht besteht aus einer Kombination von Korngrößen und weist eine Anfangsmächtigkeit auf. Für die vorliegenden Untersuchungen werden 4 Korngrößen ausgewählt, um sowohl die Sohlenbeschaffenheit als auch die Zusammensetzung von Geschiebe und Schwebstoff (Kapitel 2.4) modellieren zu können (Tabelle 2).

Tabelle 2: Im Modell verwendete Korngrößen

d [mm]	Schwebstoffkörner		Sohle-/Geschiebekörner	
	0.02	0.1	20	170

Für die Modellierung wird die Zusammensetzung der Körner so ausgewählt, dass d_m und d_{90} jeder Mischung den entsprechenden Werten aus den Messungen (Kapitel 2.4) entsprechen. Insgesamt werden vier verschiedene Mischungen definiert (Tabelle 3).

Tabelle 3: Modellierte Kornzusammensetzungen (Prozentualer Anteil)

d [mm]	Deck-schicht	Sohlenunter-schicht	Laufendes Geschiebe	Schwebstoff
0.02	0	0	0	50
0.1	0	0	0	50
20	35	70	88	0
170	65	30	12	0
d_m	117	65	35	0.05
d_{90}	147	120	45	0.08

5 Gefährdungsszenarien

Aufgrund des Schreibens des ENSI vom 26.03.2013 werden verschiedene Gefährdungsszenarien mit ENSI diskutiert und die ungünstigen Szenarien für die weitere Untersuchung festgelegt (Tabelle 4).

Bei allen Szenarien wird die (n-1)-Regel beim Wehr Beznau berücksichtigt. Bei allen Szenarien wird der heutige Zustand der Sohlenlage als geometrischer Anfangszustand angenommen.

Die gesamte Menge der Feststoffeinträge wird konservativ unterhalb der Limmat in der Aare als Quellterm modelliert. Damit wird angenommen, dass der gesamte Feststoffeintrag von der Reuss und Limmat in die Aare transportiert wird (vgl. Kapitel 4.2.1).

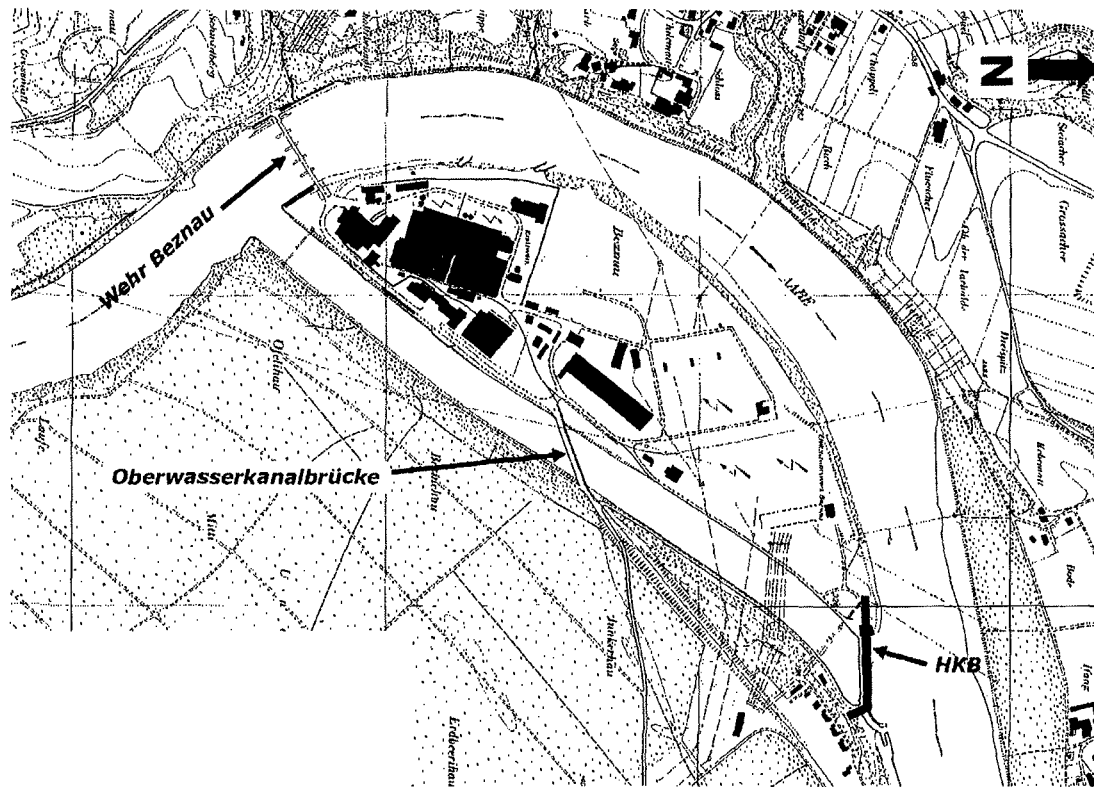


Abbildung 22: Lage der Oberwasserkanalbrücke

6 Ergebnisse

6.1 Szenario 1

Bei Szenario 1 landet die Sohle stellenweise bis über 1.0 m auf. Die grossen Auflandungen sind die Folge von Uferrutschungen. Im Stauraum des Wehrs Beznau sowie oberhalb des HKB treten Schwebstoffauflandungen auf (Abbildung 23).

Die berechneten maximalen Schwebstoffkonzentrationen sind in Abbildung 24 dargestellt. Die Schwebstoffkonzentration wird durch lokale Auflandungen stromabwärts reduziert.

Abbildung 25 zeigt die berechneten maximalen Fliesstiefen. Das KKB-Areal wird bei Szenario 1 überflutet. In Tabelle 5 sind die Wasserstände in den Stellen A - J (Abbildung 26) dargestellt. Zum Vergleich sind die Wasserstände ohne Feststoffmodellierungen auch dargestellt. Unter Berücksichtigung des Feststofftransports sinkt der Wasserstand in einigen Stellen bei Szenario 1. Der Grund dafür sind die Querschnittsvergrößerungen durch Uferrutschungen.

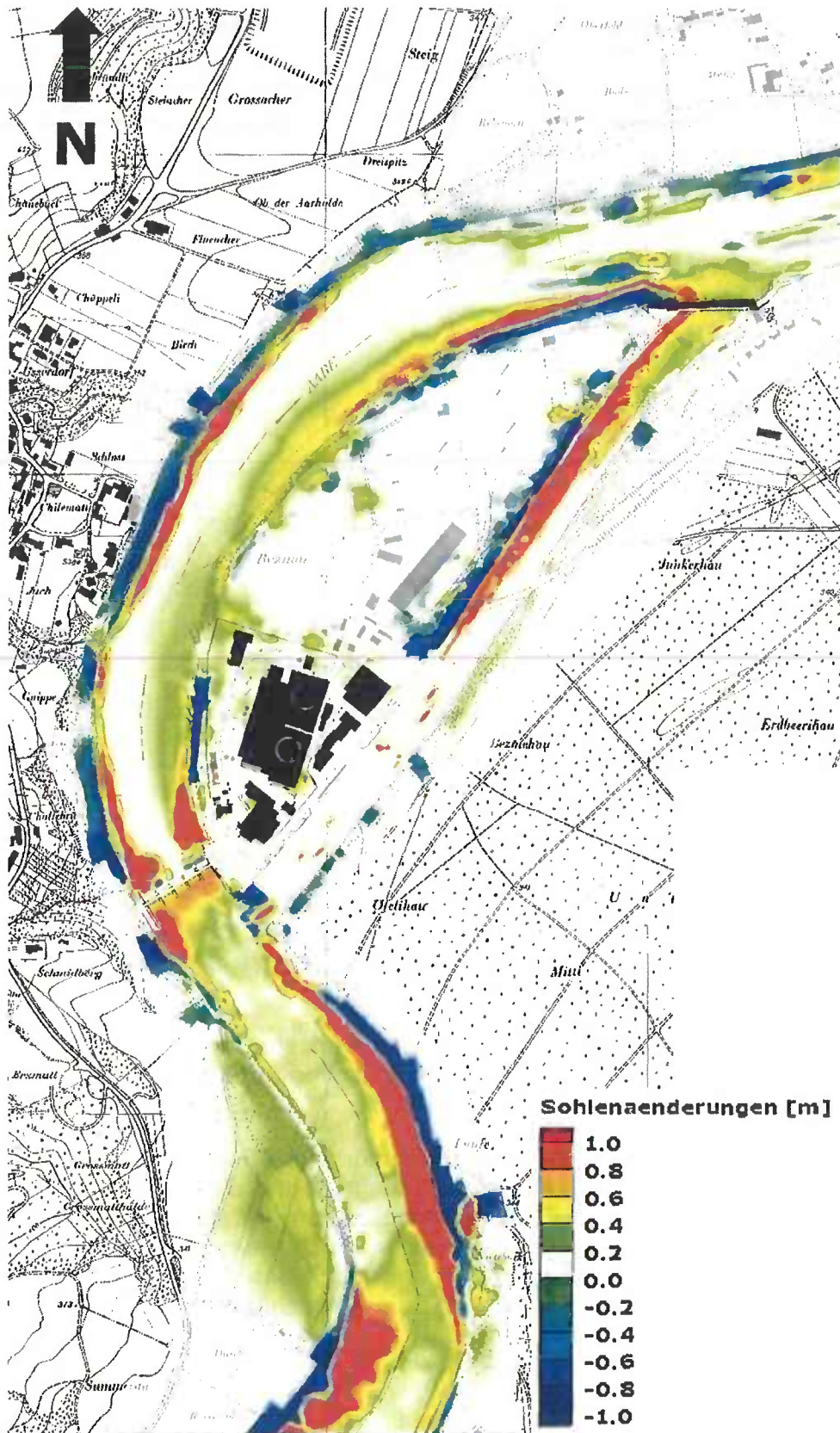


Abbildung 23: Berechnete Sohlenänderungen für Szenario 1

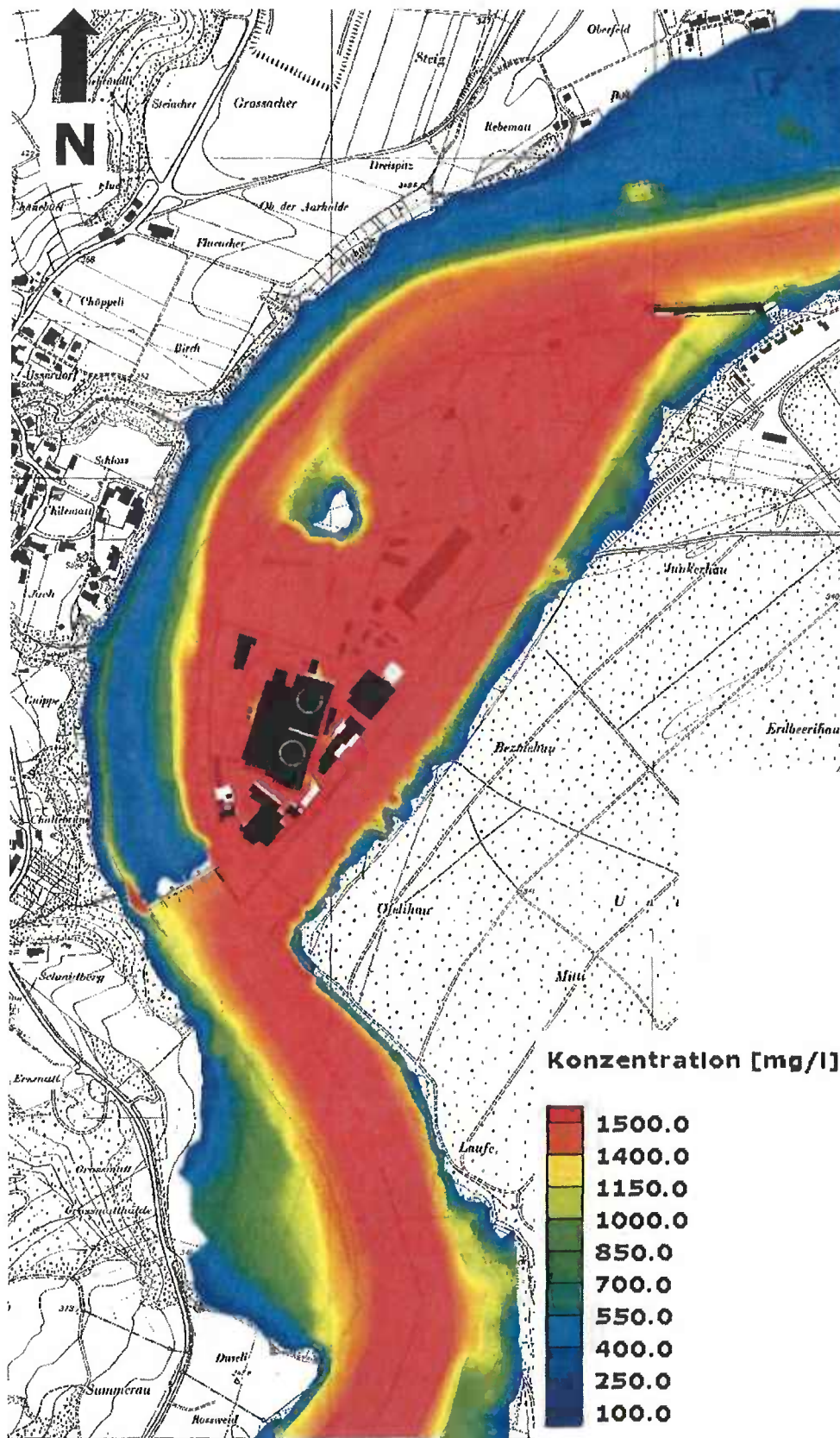


Abbildung 24: Berechnete maximale Schwebstoffkonzentration für Szenario 1

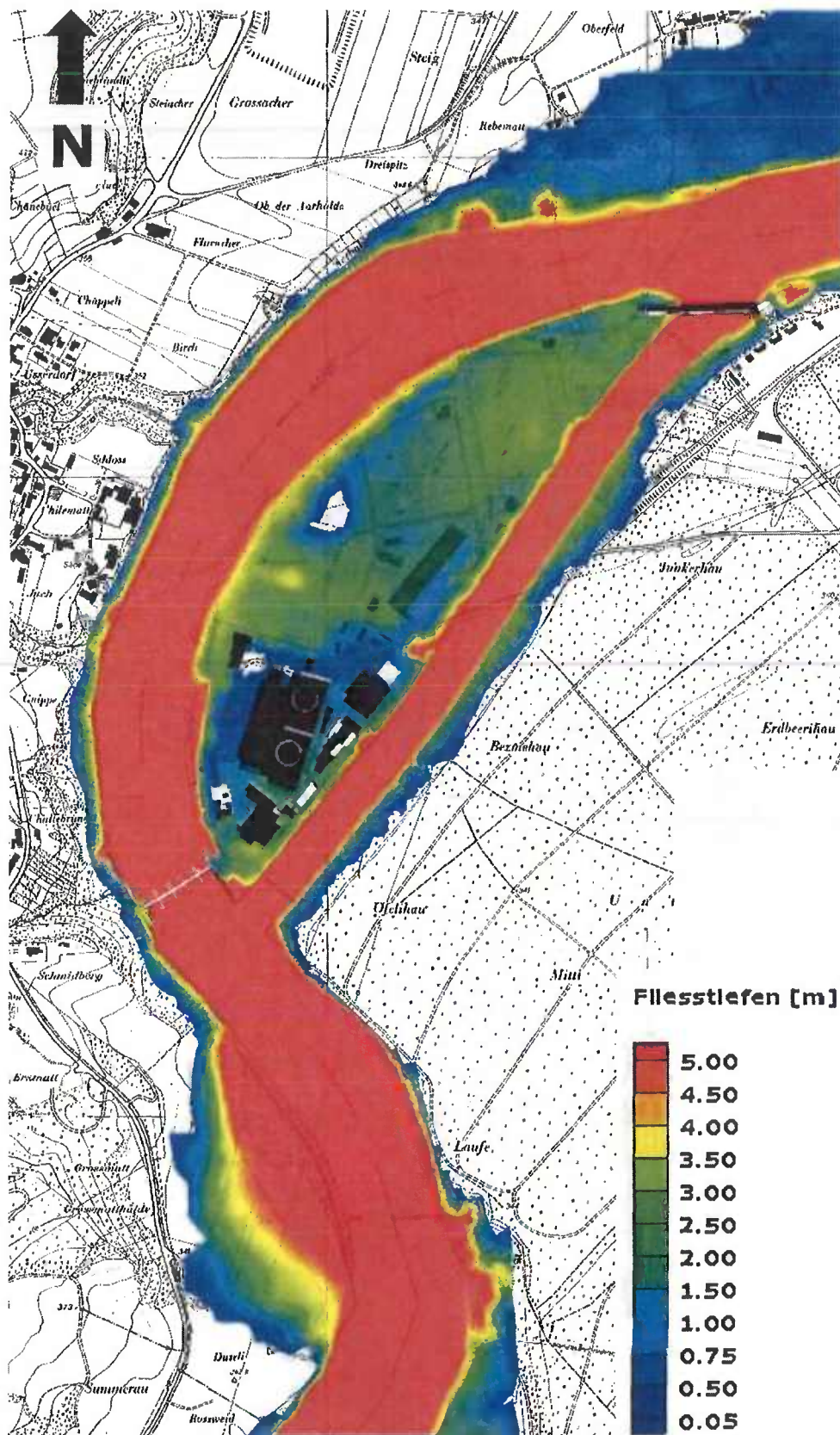


Abbildung 25: Berechnete maximale Fliessstiefen für Szenario 1

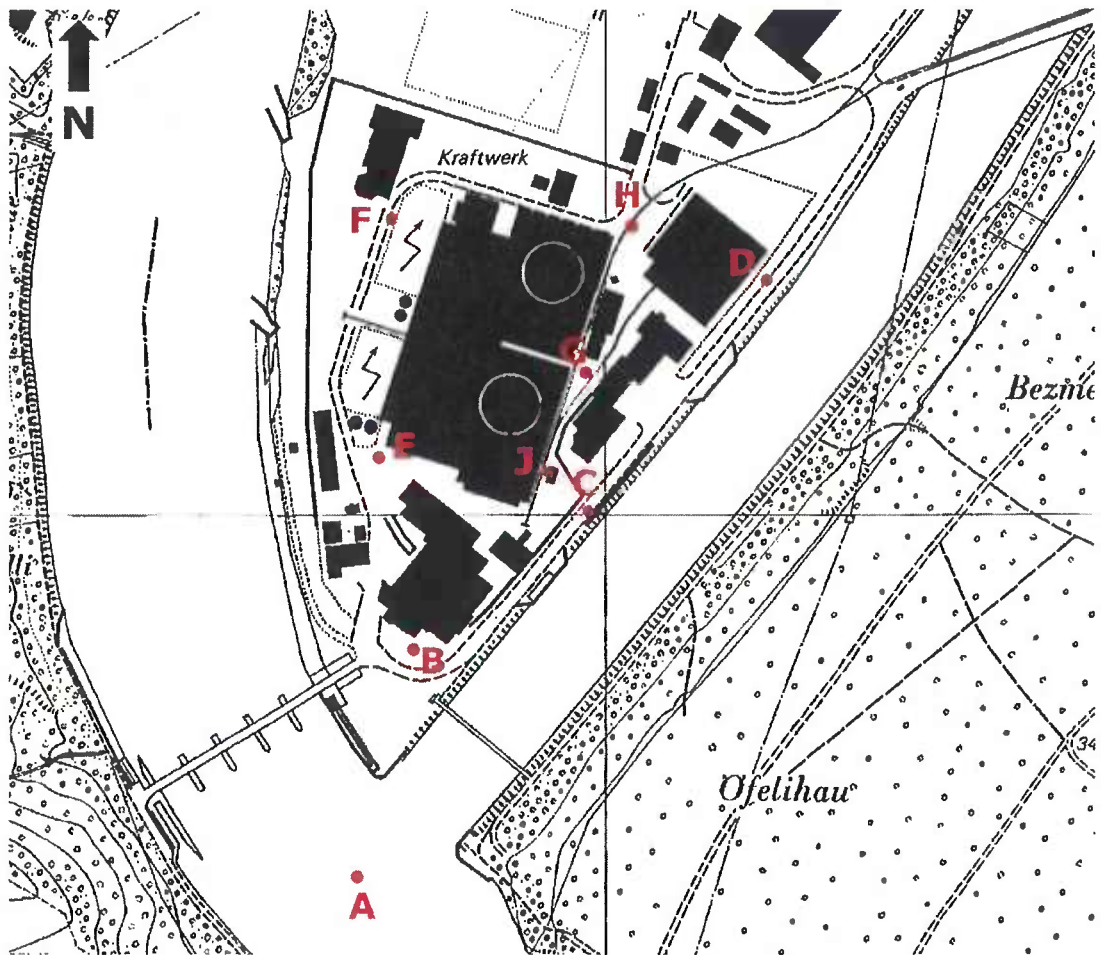


Abbildung 26: Lage der Stellen für Wasserstand

Tabelle 5: Berechnete Wasserstände an den ausgewählten Stellen (Abbildung 26) für Szenario 1

Stelle	Ohne Feststoffmodellierung	Mit Feststoffmodellierung
A	331.39	331.39
B	330.00	330.10
C	329.28	329.13
D	328.73	328.43
E	327.95	327.95
F	NÜ*	NÜ
G	328.57	328.42
H	327.66	327.60
J	327.75	327.60

*: Nicht überflutet.

6.2 Szenario 2

Beim Szenario 2 treten Auflandungen von Schwebstoffmaterial im Oberwasserkanal oberhalb der Brücke auf (Abbildung 27).

Durch den von der verklausten Brücke verursachten Rückstau und dadurch entstehende grossflächige Überflutungen ist letztlich auch das KKB-Areal betroffen (Abbildung 29)

Die berechneten Wasserstände an den Stellen A bis J ((Abbildung 26) zeigen den Einfluss des Feststoffs auf die Überflutungshöhe des KKB-Areals durch die Brückenverklausung (Tabelle 6).

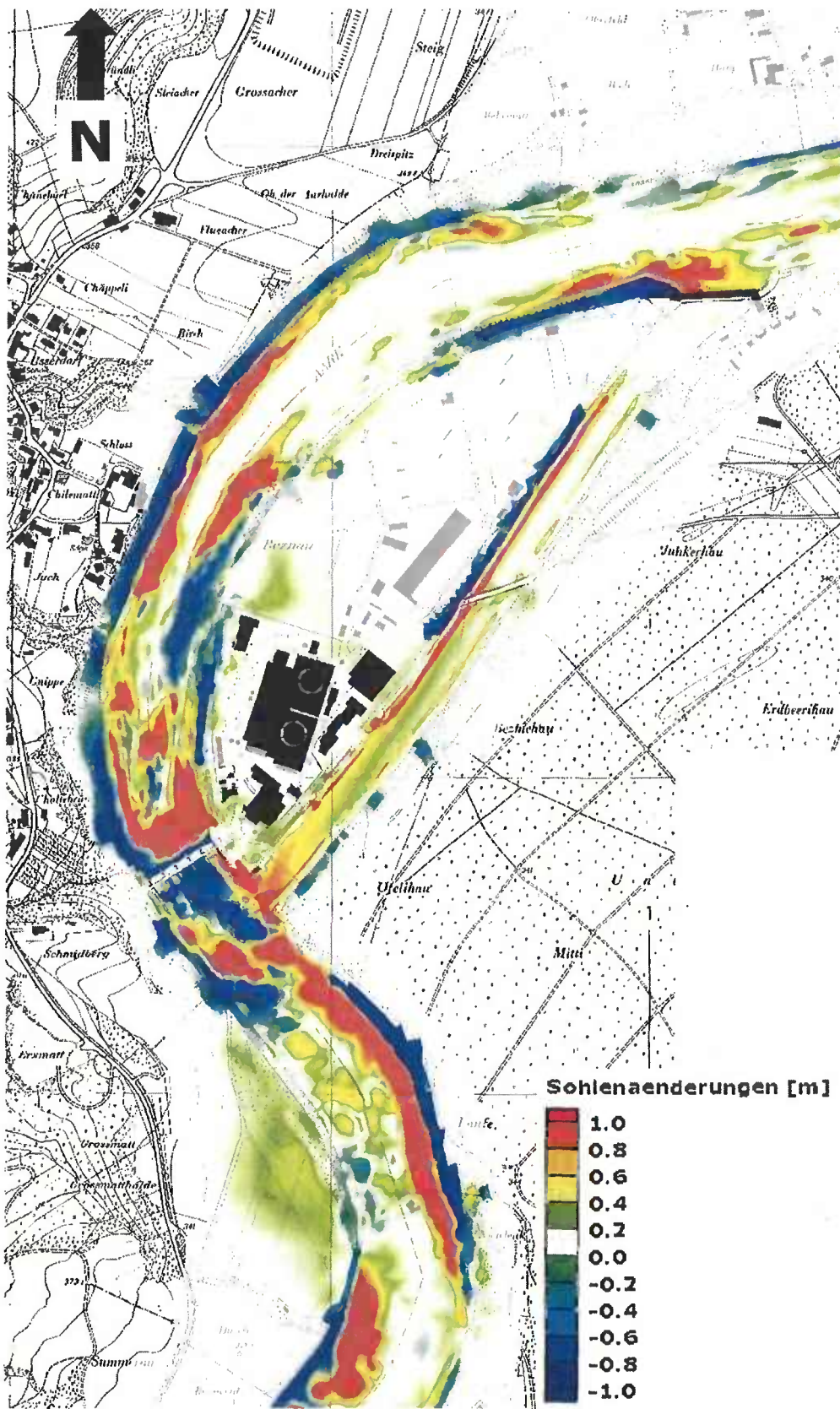


Abbildung 27: Berechnete Sohlenänderungen für Szenario 2

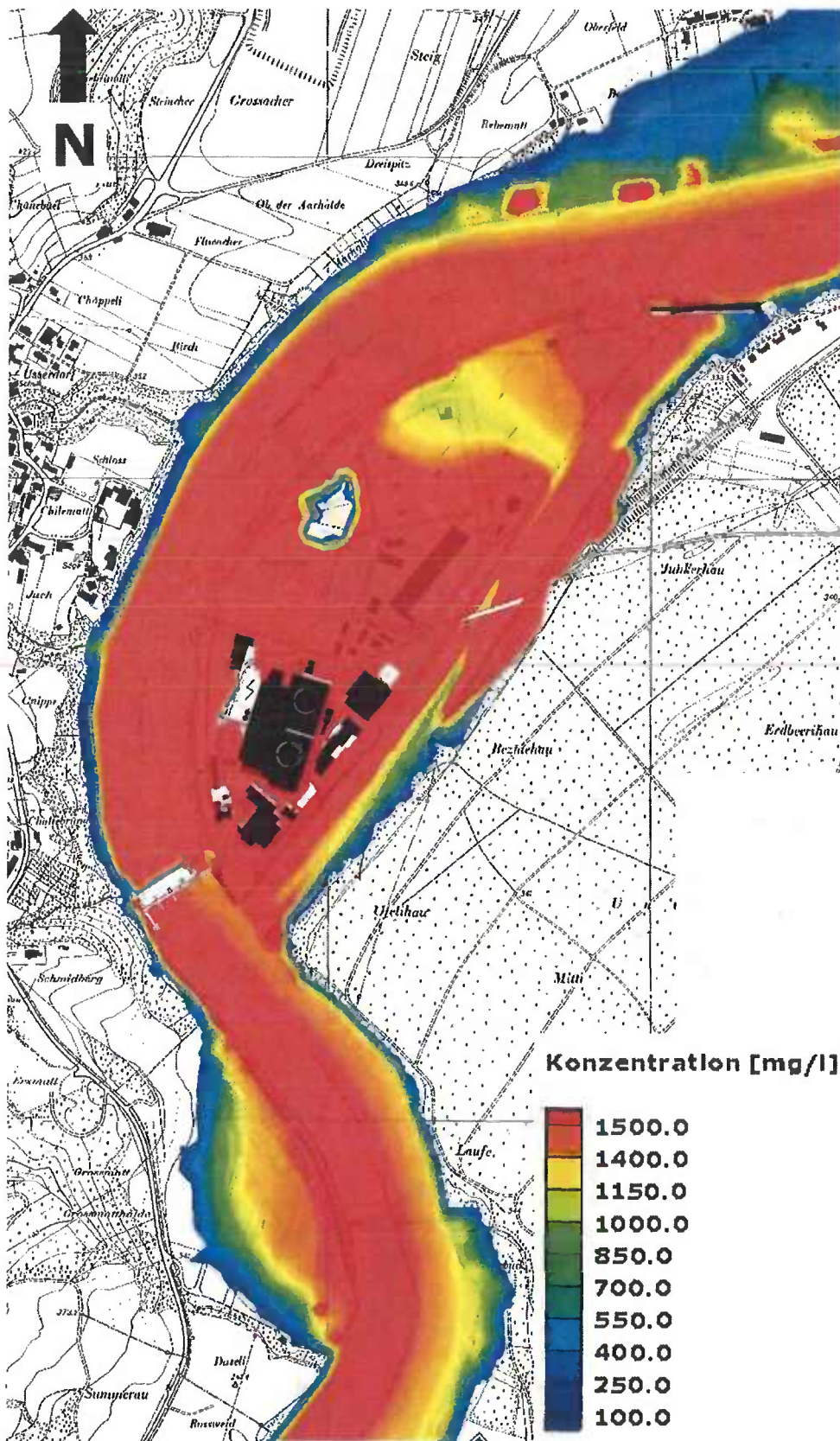


Abbildung 28: Berechnete maximale Schwebstoffkonzentration für Szenario 2

Tabelle 6: Berechnete Wasserstände an den ausgewählten Stellen (Abbildung 26) für Szenario 2

Stelle	Ohne Feststoffmodellierung	Mit Feststoffmodellierung
A	327.08	327.35
B	327.14	327.34
C	327.19	327.38
D	327.18	327.37
E	326.92	326.98
F	NÜ*	NÜ
G	327.16	327.32
H	327.09	327.21
J	327.17	327.34

*: Nicht überflutet.

7 Zuverlässigkeit der Resultat

Die allen hydraulischen Berechnungen zugrunde gelegten Querprofile basieren auf den aktuellen Vermessungen. Die Genauigkeit der damit ermittelten Sohlenlage beträgt ± 10 cm. Die für das Geländemodell verwendeten digitalen Höhendaten (DTM) haben eine Genauigkeit von ca. ± 0.5 m. Eine weitere Unsicherheitskomponente der Simulationen besteht in der Einschätzung der Rauigkeit des Fließgerinnes. Dieser Wert ist stark von der Beschaffenheit der Flusssohle und allenfalls vorhandener Wasserflora abhängig. Dank vorhandener Messwerte und Beobachtungen war es möglich, die Wasserspiegellagen für verschiedene Aareabflüsse zu eichen beziehungsweise die Rauigkeitsbeiwerte lokal und zuverlässig zu ermitteln.

Die berechneten Wasserspiegelkoten haben eine Genauigkeit von max. ± 5 cm in ihrer absoluten Höhenlage beziehungsweise von wenigen Zentimetern beim Vergleich verschiedener Prognosezustände. Für die mittleren Fließgeschwindigkeiten resultiert daraus ein relativer Fehler von wenigen Prozenten.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wird der aktuelle Stand der Wissenschaft einbezogen und aktuellste Berechnungsmodelle verwendet. Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse zum Feststofftransport zeigen Tendenzen des Feststoffeinflusses auf die Überflutungssicherheit des KKG auf. Hingegen erlauben zum heutigen Zeitpunkt die verfügbaren, fortgeschrittenen Berechnungsmodelle insbesondere für Extremereignisse nach wie vor keinen Anspruch auf exakte Prognosen.

8 Schlussfolgerung

Die Hochwassergefährdung des KKB-Areals wurde für ein HQ_{10^000} -Ereignis für zwei Szenarien und unter der Berücksichtigung des Feststofftransports untersucht. Die Untersuchungen zeigen die Gefährdung des Areals durch ein Hochwasserereignis. Die betrachteten Szenarien sind mit ungünstigen und konservativen Annahmen verbunden, wie z.B. 100% Verklausung der Oberwasserkanalbrücke bei der eintreffenden maximalen Flutwelle des Hochwassers beim Szenario 2.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Einfluss der Feststoffmodellierung bei diesen Szenarien gering ist. Im Vergleich zur Modellierung mit einer festen Geometrie (ohne Feststofftransport) beträgt die Wasserstandserhöhung je nach Stelle bis 0.20 m. Bei Szenario 1 sinkt der Wasserstand bei einigen Stellen im Vergleich zur Modellierung ohne Feststofftransport.

9 Referenzen

- Alpiq Hydro AG 2011 Kraftwerk Ruppoldingen, Massnahmen zur Sanierung des Geschiebehaushalts, *Entwurf, Flussbau AG, Juli 2011*
- AQUARIUS 2010 NEBE - Neues hydraulisches Kraftwerk Beznau, Ist-Zustand Morphologie, *Fachbericht, Dezember 2010*
- BAFU 2013 Hydrologisches Atlas der Schweiz, *Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Geographisches Institut - Universität Bern, Bern,*
<http://www.hydrologie.unibe.ch/hades/index.html>
- BASEMENT Basement is a numerical simulation software and provides a software tool for numerical modeling of environmental flow and natural hazard events.. VAW, ETHZ,
<http://www.basement.ethz.ch/>
- BWG 2005 Feststoffbeobachtungen in der Schweiz, *Bericht des BWG, Serie Wasser, Nr. 8, Bern 2005*
- Kanton Aargau Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare zwischen der Wigger und dem Rhein, Monitoring und Erfolgskontrolle 2004, *Kurzbericht, Februar, Schälchli, Abegg + Hunzinger, Zürich, 2005,*
- Kanton Solothurn 1996 Hydraulische, geschiebemechanische und flussmorphologische Machbarkeitsstudie zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare zwischen der Emme und dem Rhein, *Technischer Bericht Schälchli, Abegg + Hunzinger, Zürich, Mai 1996*
- NOK 2008 Überflutung Beznau, Szenarien zur Bestimmung der maximalen Überflutungshöhe der Beznau-Insel, *TK Consult, Bericht 0918, September 2008*
- Resun 2008 Sicherheitsbericht Ersatz Kernkraftwerk Beznau (EKKB), Beilage zur Rahmenbewilligungsgesuch, *Dezember 2008*
- Resun 2011 Überflutung Beznau, Szenarien zur Untersuchung der Überflutung der Beznau-Insel, *TK Consult, Bericht 1618, März 2011*
- SMS 11.1 Surface Water Modeling System (SMS), A pre- and post-processor for surface water modeling, Version 11.1, <http://www.aquaveo.com/sms>
- VAW 1990 Neubau Hydraulisches Kraftwerk Beznau, Modellversuche über die Strömungsverhältnisse und die Geschiebebewegung im erweiterten Oberwasserkanal, *Bericht 996, Juli 1990*