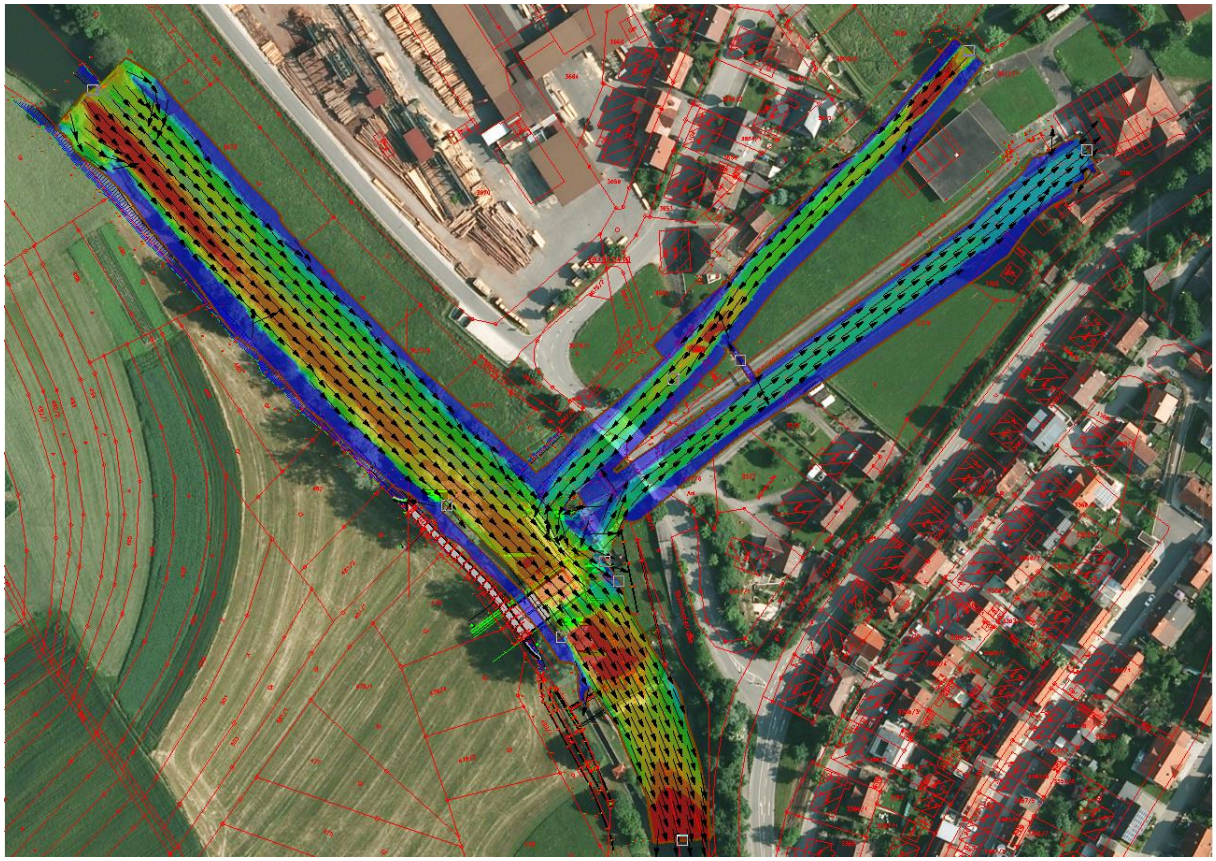
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Fakultät Bauingenieurwesen Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm
Dipl.-Ing. Tobias Gierra

FORSCHUNGSBERICHT 2017/03

„HYDRAULISCHE ANALYSE DER ANSTRÖMBEDINGUNGEN ZUR WASSERKRAFTANLAGE FRIDINGEN“

Dresden, Mai 2017

Adresse:
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Telefon: +49 351 463 34397
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: juergen.stamm@tu-dresden.de
Web: www.iwd.tu-dresden.de

IWD

FORSCHUNGSBERICHT 2017/03

Titel: Hydraulische Analyse der Anströmbedingungen zur Wasserkraftanlage Fridingen

Auftraggeber: EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Genehmigung und Umweltmanagement
Betrieb Erneuerbare Energien
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart

Auftragnehmer: GWT-TUD GmbH
Fachbereich Industrie
Chemnitzer Straße 48b
01187 Dresden

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing Jürgen Stamm
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Tobias Gierra

Datum: Dresden, Mai 2017

.....
Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Stamm

Adresse:
Fakultät Bauingenieurwesen
Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden

Telefon: +49 351 463 34397
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: juergen.stamm@tu-dresden.de
Web: www.iwd.tu-dresden.de

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis I
Abbildungsverzeichnis II
Tabellenverzeichnis II
Abkürzungsverzeichnis III
1 Motivation 1
2 Datengrundlage 2
3 Modellierung 4
3.1 2D-HN-Modell 4
3.2 Simulationen 7
4 Ergebnisse 7
4.1 Ermittlung des bordvollen Abflusses 7
4.2 2-Jährliches Hochwasser HQ_2 mit Verbindungskanal 9
4.3 2-Jährliches Hochwasser HQ_2 Ohne Verbindungskanal 12
4.4 Mittleres Hochwasser MHQ mit Verbindungskanal 15
5 Zusammenfassung 17

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1 Orthofoto des Untersuchungsgebietes mit Bestandteilen der Anlage (1 – 7) 1
Abbildung 1.2 Untersuchungsgebiet (braun) mit Bestandteilen der Genehmigungsplanung (8 – 11) . 2
Abbildung 2.1 Anschluss Bära mit Sedimentabweiser 3
Abbildung 2.2 Grobrechen an Straßenbrücke 3
Abbildung 2.3 Bära und Verbindungskanal 3
Abbildung 3.1 Grenzen und Bathymetrie des 2D-HN-Modells im Untersuchungsgebiet (Größe des Bildausschnitts: 395 m x 310 m) 4
Abbildung 3.2 Rauheitsverteilung 5
Abbildung 3.3 Berechnungsnetz und Lage der Randbedingungen 6
Abbildung 4.1 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei HQ_2 8
Abbildung 4.2 Wasserspiegellagen am untersuchten Querschnitt bei verschiedenen Donauabflüssen 8
Abbildung 4.3 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei HQ_2 10
Abbildung 4.4 Wassertiefen in m im Untersuchungsgebiet bei HQ_2 10
Abbildung 4.5 Fließgeschwindigkeiten in m/s im Untersuchungsgebiet bei HQ_2 11
Abbildung 4.6 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2) 11
Abbildung 4.7 Wasserspiegellagen in m ü. NHN bei HQ_2 ohne Verbindungskanal 12
Abbildung 4.8 Wassertiefen in m bei HQ_2 ohne Verbindungskanal 13
Abbildung 4.9 Differenz der Wasserspiegellagen [m] (HQ_2 mit – HQ_2 ohne Verbindungskanal) 13
Abbildung 4.10 Fließgeschwindigkeiten in m/ bei HQ_2 ohne Verbindungskanal 14
Abbildung 4.11 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2) 14
Abbildung 4.12 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei MHQ 15
Abbildung 4.13 Wassertiefen in m im Untersuchungsgebiet bei MHQ 16
Abbildung 4.14 Fließgeschwindigkeiten in m/s im Untersuchungsgebiet bei MHQ 16
Abbildung 4.15 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2) 17

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1 Ergänzende Daten der hydraulischen Analyse 3
Tabelle 2.2 Fotographische Bestandsaufnahme des Verbindungskanals 3
Tabelle 3.1 Varianten mit Abflussrandbedingungen der 2D-HN-Simulationen 7

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Neben den gebräuchlichen Abkürzungen werden weiterhin vereinbart:

Abkürzung	**Bedeutung**
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
EnBW	EnBW AG
IWD	Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden
HN	hydrodynamisch-numerisch
HS	Höhenstatus
I_E	Energieliniengefälle
IWD	Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden
KUK	Konstruktionsunterkante
m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull
WKA	Wasserkraftanlage
WSP	Wasserspiegel
WSPL	Wasserspiegellage
W/Q	Wasserstands-Abfluss-Beziehung
2D	zweidimensional
3D	dreidimensional

1 MOTIVATION

Die EnBW AG (EnBW) betreibt nördlich der Stadt Fridingen linksseitig der Donau (1) eine Wasserkraftanlage (2). Um eine konstante Fallhöhe zu gewährleisten, wird die Donau durch ein fünffeldriges Schützentafelwehr (3) gestaut. Ungefähr 50 m oberhalb des Wehres befindet sich der Einlauf mit Grobrechen (4) zu einem 220 m langen Ausleitungskanal (5), durch den der Wasserkraftanlage ein Durchfluss von derzeit max. 10 m³/s (Ausbaudurchfluss) zugeführt wird. Unmittelbar oberhalb des Einlaufbereiches in den Ausleitungskanal mündet der Fluss Bära (6) in die Donau. 80 m vor der Mündung existiert ein schmaler Verbindungskanal zwischen Bära und Ausleitungskanal (7).

Abbildung 1.1 Orthofoto des Untersuchungsgebietes mit Bestandteilen der Anlage (1 – 7)

Im Jahr 2011 beauftrage die EnBW das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden (IWD) mit der hydraulischen Analyse der Anströmbedingungen zur Wasserkraftanlage Fridingen. Die EnBW plante, die bestehende Wehranlage in der Donau zu modernisieren und aktuellen Erfordernissen, im Hinblick auf die Durchgängigkeit für Fische und Geschiebe, anzupassen. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen wurde eine Genehmigungsplanung zur Anordnung einer neuen Wehr- (8), Fischauf- (9) und –abstiegsanlage (10) sowie eines geänderten Einlaufbauwerks (11) in den Kraftwerkskanal erstellt und im Sommer 2016 ein entsprechender Wasserrechtsantrag gestellt.

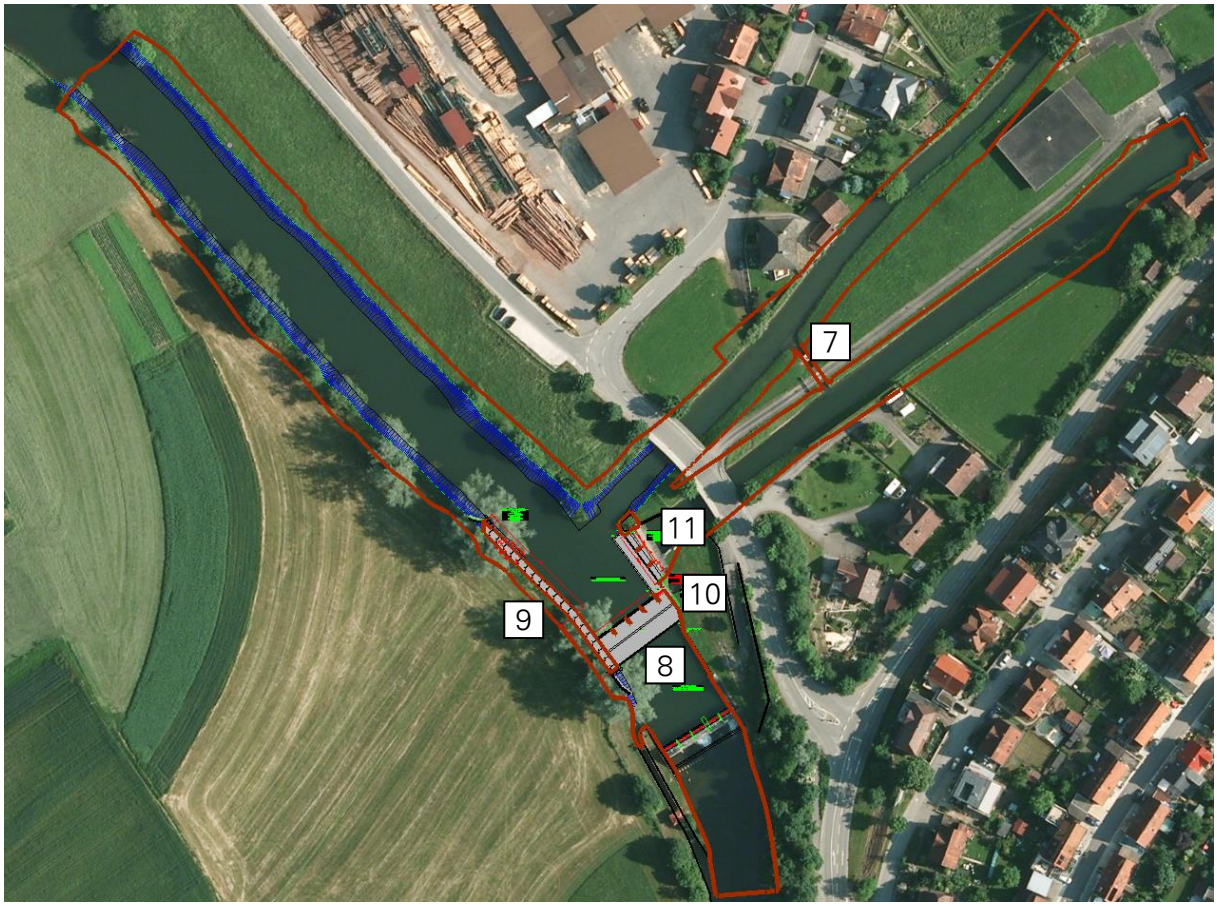


Abbildung 1.2 Untersuchungsgebiet (braun) mit Bestandteilen der Genehmigungsplanung (8 – 11)

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens soll nun ergänzend geprüft werden, in welchem Maß der Verbindungskanal zwischen Bära und Kraftwerkskanal (7) zur Hochwasserentlastung der Bära beiträgt, da er gemäß derzeitiger Planungen zugeschüttet werden soll, um ein Eindringen von Fischen in den Kraftwerkskanal zu verhindern. Diese Beurteilung soll für den Abfluss eines 2-jährlichen Hochwassers (HQ_2) angestellt werden. Weiterhin ist zu überprüfen, inwieweit sich die geplante Dimensionierung der Anlage auf den bordvoll abführbaren Abfluss auswirkt, bei dem im Untersuchungsgebiet noch keine Ausuferungen zu erwarten sind.

Zur Analyse dieser Fragestellungen wurde das IWD beauftragt, die bestehende Geometrie des 2D-HN-Modells des Ist-Zustandes durch Übernahme der Bauwerksdaten des Planungsstandes der Genehmigungsplanung anzupassen sowie die hydraulische Wirkung des Verbindungskanals durch vergleichende Simulationen (mit/ohne Verbindungskanal) für das 2-jährliche Hochwasserereignis sowie den bordvollen Abfluss für einen Wasserstand von ca. 624,85 m ü. NHN im Zuströmbereich des Modells zu ermitteln. Alle Untersuchungen sollten für eine erhöhte Ausbauwassermenge des Donaukraftwerks von 15 m³/s durchgeführt werden.

2 DATENGRUNDLAGE

Grundlage der hydraulischen Analyse war vor allem die vorhandene Modellierung des Ist-Zustandes im Rahmen des Forschungsprojektes zur hydraulischen Analyse der Anströmbedingungen zur Wasserkraftanlage Fridingen (Forschungsbericht 2011/07, IWD,

März 2012). Die Modellierung der derzeit geplanten Anlage wurde anhand ergänzend übergebener Vermessung- und Planungsdaten (siehe Tabelle 2.1) vorgenommen.

Als geodätisches Koordinatenreferenzsystem der Modelle wird weiterhin eine Gauß-Krüger-Abbildung im dritten Meridianstreifensystem auf dem Bessel-Erdellipsoid mit Zentralpunkt Rauenberg (Potsdam Datum) verwendet (kurz: GK3, EPSG:31467). Als zugehöriges Höhenreferenzsystem fanden die Normalhöhen im Deutschen Haupthöhennetz 1992 (DHHN92, HS160) Verwendung.

Tabelle 2.1 Ergänzende Daten der hydraulischen Analyse

Inhalt	Quelle	Lage-/Höhenbezug
Bauwerksplanung: Grundriss und Bauwerksschnitte aller geplanter Anlagenteile (PDF & DXF)	EnBW/Hydro-Energie Roth GmbH 2016	GK3/NHN
Schnittübersicht und Geländeschnitte von Donau, Bära sowie Kraftwerkskanal (PDF & DXF)	Braun Vermessung (aufgenommen August 2011)	GK3/-
Fotos und Handskizze mit Bemaßung des Verbindungskanals (Entlastungsgerinne)	EnBW	

Tabelle 2.2 Fotographische Bestandsaufnahme des Verbindungskanals

Abbildung 2.1 Anschluss Bära mit Sedimentabweiser

Abbildung 2.2 Grobrechen an Straßenbrücke

Abbildung 2.3 Bära und Verbindungskanal

3 MODELLIERUNG

3.1 2D-HN-MODELL

Abbildung 3.1 Grenzen und Bathymetrie des 2D-HN-Modells im Untersuchungsgebiet (Größe des Bildausschnitts: 395 m x 310 m)

Für die zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Abflussmodellierung wurde das Simulationsprogramm Hydro_AS-2D (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH) in Version 4.2.3 verwendet, das die zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsgleichungen durch die Anwendung der Finiten-Volumen-Methode (FVM) löst. Für die Modellerstellung sowie das Pre- und Postprocessing kam das Programmsystem SMS (Surface Water Modeling System, Aquaveo LLC) in der Version 12.2.6 zum Einsatz.

Ausgehend vom bestehenden Geometriemodell des Ist-Zustandes wurde das vorhandene Wehr bis zur Lage der vermessenen Sohle entfernt und die Bauteile der Planungsvariante (Schützenwehr inkl. Pfeiler und Tosbecken, Geschiebe- und Abschwemmschütz, Fischaufstiegsanlage, Fischabstiegsanlage, Einlaufbauwerk in Kraftwerkskanal sowie Sedimentfangkanal) auf Grundlage der übergebenen Zeichnungen eingepflegt. Zusätzlich wurde die Geometrie des Verbindungskanals an die manuelle Bestandsaufnahme und die gesamte Bathymetrie von Donau, Bära und Kraftwerkskanal an den Verlauf der Bruchkanten angepasst sowie die Gerinneverläufe nochmals mit der Sohlvermessung abgeglichen.

Der Geschiebeabweiser, welcher derzeit an der Einmündungsstelle der Bära beginnt, und die Geschiebeschwelle, welche sich derzeit direkt vor dem Grobrechen befindet, wurden aus der

Geometrie entfernt, da sie zu ungünstigen Strömungszuständen vor dem Einlaufbauwerk in den Kraftwerkskanal führen würden.

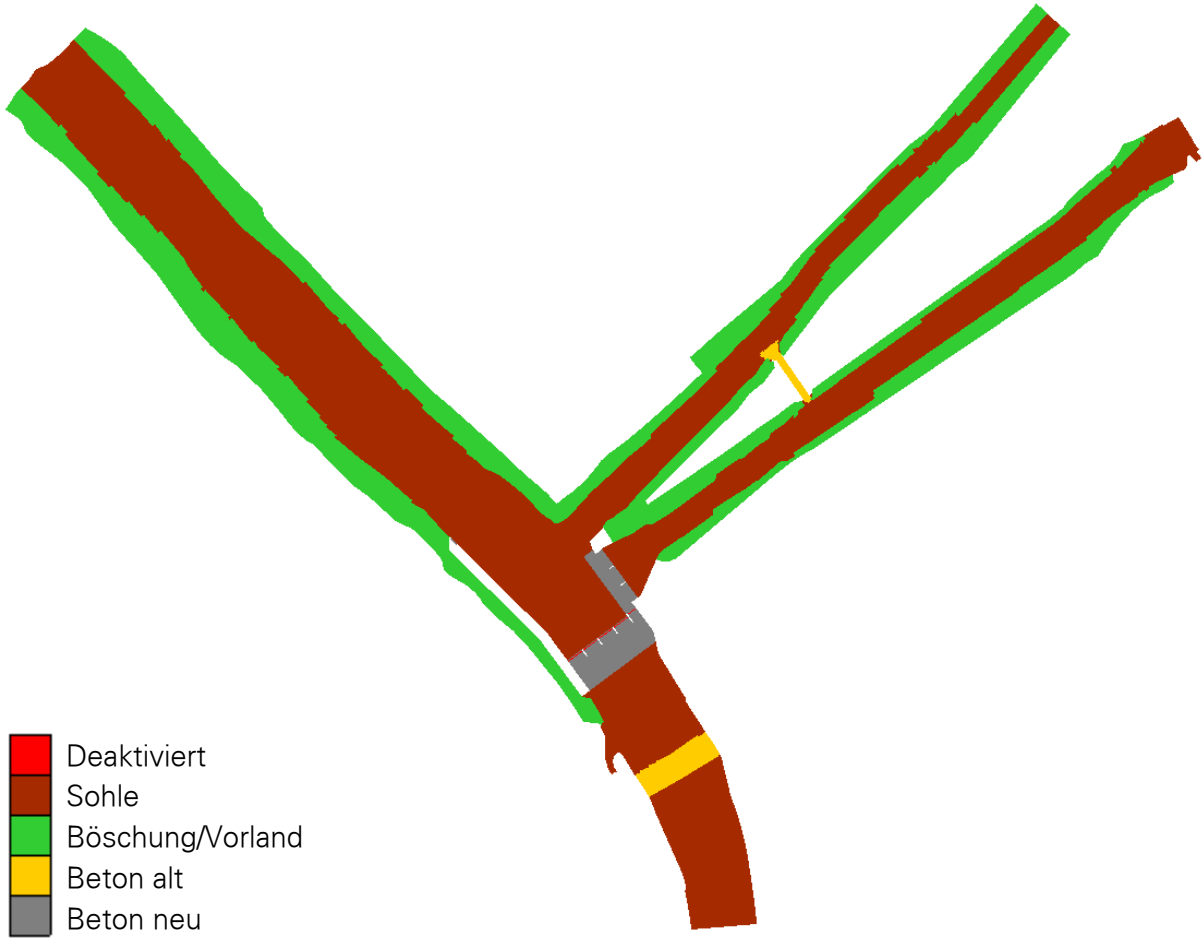


Abbildung 3.2 Rauheitsverteilung

Zur Berücksichtigung der Gerinnerauheit wurden vier verschiedene Bereiche (Sohle, Böschung/Vorland, Beton alt, Beton neu) definiert und durch entsprechend charakteristische Strickler-Beiwerte beschrieben:

- Sohle: fein, lehmig, $d_{ch} \approx 0{,}5$ mm → $k_{st} = 75\ m^{1/3}/s$
- Beton alt: $k \approx 3$ mm → $k_{st} = 55\ m^{1/3}/s$
- Beton neu: → $k_{st} = 70\ m^{1/3}/s$
- Böschung/Vorland: $k \approx 45$ mm → $k_{st} = 40\ m^{1/3}/s$

Durch die Staubeeinflussung vieler Teile des Untersuchungsgebietes ist der Einfluss der gewählten Rauheit auf Änderungen der Strömung jedoch grundsätzlich gering. Nur im Bereich nach dem Tosbecken der geplanten bzw. bestehenden Wehranlage bis zur Auslaufrandbedingung der Donau kann eine evtl. vorhandene hohe Sohlrauheit Auswirkungen auf das gesamte Untersuchungsgebiet haben, wenn sie im Hochwasserfall zu einem Rückstau bis zur Wehranlage führen und damit dort die Entkopplung von Staubereich und Unterwasserbereich aufheben würde.

Um die Wirkung der Turbulenz auf die Strömung (Schubspannungen innerhalb des Fluides bei turbulenten Strömungsvorgängen) zu berücksichtigen, wurde in dem Turbulenzansatz mit elementweise konstanter Wirbelviskosität der Software Hydro_AS-2D ein einheitlicher Wert von $\nu_0 = 0{,}01\ m^2/s^2$ für das gesamte Strömungsgebiet angenommen.

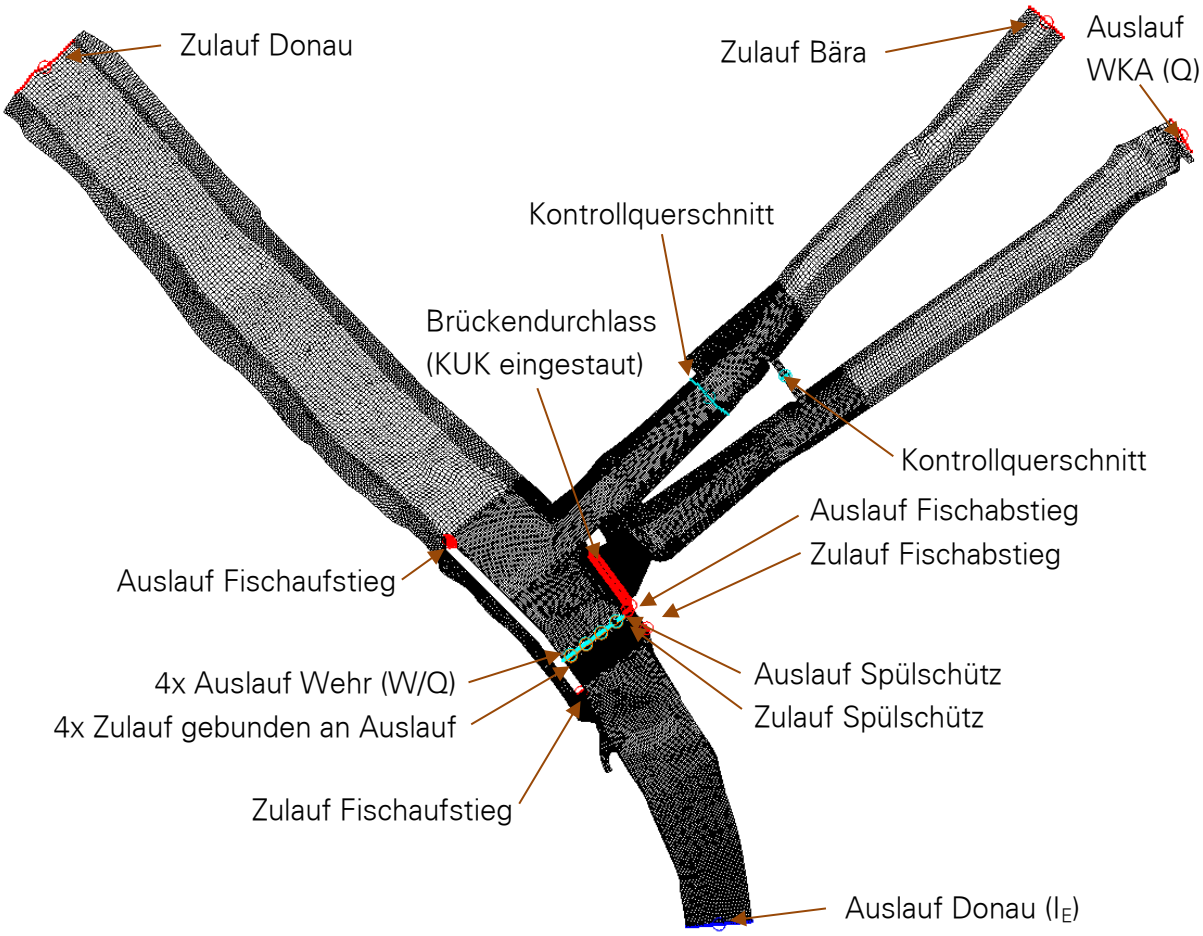


Abbildung 3.3 Berechnungsnetz und Lage der Randbedingungen

Die hydrodynamisch-numerischen Berechnungen wurden quasi-stationär durchgeführt, das heißt mit trockener Sohle gestartet und dann allmählich gefüllt, bis sich bei einem konstanten Zielabfluss ein ausgeglichener Zustand einstellte. Als Randbedingungen wurden an Donau und Bära jeweils ein Zulauf definiert, wobei die Richtung des Einlaufes rechtwinklig zur Schnittebene des Flussquerschnittes vorgegeben wurde. An der Wasserkraftanlage (WKA) wurde in gleicher Weise ein Auslauf definiert, durch den eine konstante Wasserentnahme modelliert werden konnte. Als Auslaufrandbedingung wurde am unterwasserseitigen Modellrand der Donau ein Energieliniengefälle I_E von 1 ‰ angesetzt, was bedeutet, dass sich unterwasserseitig der Randbedingung ein Normalabfluss mit diesem Gefälle einstellen sollte. Diese Annahme ist nicht durch Beobachtungen oder Vermessungen belegt und stellt damit eine Unsicherheit in der Modellierung dar, da ein geringeres Gefälle wiederum Einfluss auf die Wasserspiegellagen im Untersuchungsgebiet nehmen könnte. Das Wehr wurde mittels interner Randbedingungen definiert, für die eine Wasserstand-Abflussbeziehung definiert wurde, die bei dem auf die vier Wehrfelder aufgeteilten Abfluss den im Normalbetriebsfall angestrebten Wasserstand von 624,73 m ü. NHN einstellt. Zusätzlich wurden noch die vorgegebenen Durchflüsse für die Fischaufstiegsanlage (600 l/s), die Fischabstiegsanlage (400 l/s) sowie das Spülschütz (200 l/s) als konstante Aus- und Wiedereinleitungen definiert. Die Rechenanlage am Einlaufbauwerk in den Kraftwerkskanal wurde als Sohlschwelle in die Geometrie aufgenommen und die Betonblende als zusätzliche Knotenrandbedingung (Konstruktionsunterkante KUK) definiert.

3.2 SIMULATIONEN

Ausgehend von der Ermittlung des bordvollen Abflusses im Plan-Zustand mit offenem Verbindungskanal wurden die Fließzustände bei Abfluss eines HQ_2 auch bei vollständigem Verschluss des Verbindungskanals zwischen Kraftwerkskanal und Bära untersucht. Bei allen Simulationen wurde von einem normalen Betriebszustand der Wasserkraftanlage mit einer Ausbauwassermenge von 15 m³/s, korrespondierenden Jährlichkeiten der Hochwasserabflüsse in Donau und Bära sowie in Funktion befindlichen Fischauf- und -abstiegsanlagen ausgegangen. Bei der Suche nach dem bordvollen Abfluss wurde das Donauwehr als vollständig geöffnet (alle Felder inkl. Spülschütz) angenommen.

Tabelle 3.1 Varianten mit Abflussrandbedingungen der 2D-HN-Simulationen

Variante	Zuflüsse [m³/s]		Abflüsse [m³/s]			
	Donau	Bära	WKA	Fischaufstieg	Fischabstieg	Spülschütz
1. Ermittlung des bordvollen Abflusses						
	130 – 222	14 – 30	15	0,6	0,4	-
2. Zweijährliches Hochwasser HQ_2 mit Verbindungskanal						
	130	14	15	0,6	0,4	0,2
3. Zweijährliches Hochwasser HQ_2 ohne Verbindungskanal						
	130	14	15	0,6	0,4	0,2
4. Mittleres Hochwasser MHQ mit Verbindungskanal						
	140	15,7	15	0,6	0,4	-

4 ERGEBNISSE

Im Ergebnis der 2D-HN-Simulationen der untersuchten Modellvarianten und Abflüsse werden die Verteilungen der Wasserspiegellagen und Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und -richtungen sowie die Abflussaufteilung grafisch ausgewertet und vergleichend betrachtet.

4.1 ERMITTLUNG DES BORDVOLLEN ABFLUSSES

Für die Ermittlung des bordvollen Abflusses wurden die Zuflüsse in das Modell ausgehend von einem stationären Zustand bei HQ_2 linear bis zu einem HQ_{10} (Donau 222 m³/s, Bära 30 m³/s) gesteigert. Dabei wurde das Donauwehr als vollständig geöffnet angenommen. Maßgebend für die Festlegung des bordvollen Abflusses war die Wasserspiegellage im Oberwasserbereich des Donauwehres. Hierzu wurde die mittlere Wasserspiegellage an einem Querschnitt (siehe Abbildung 4.1) bestimmt, an dem die Einflüsse der Zuflussrandbedingung bereits abgeklungen sind. Als ausschlaggebende Wasserspiegellage wurde mit dem Auftraggeber eine Höhe von maximal 624,85 m ü. NHN festgelegt. Diese entspricht der charakteristischen Höhe der Böschungsoberkannte im Zulaufbereich des Modells und stellte sich bei einem Zufluss der Donau von etwa 140 m³/s (siehe Abbildung 4.2) und der Bära von ca. 15,7 m³/s ein, was laut der regionalisierten Abfluss-Kennwerte des Landes Baden-Württemberg dem Abfluss eines MHQ (155,4 m³/s) entspricht.

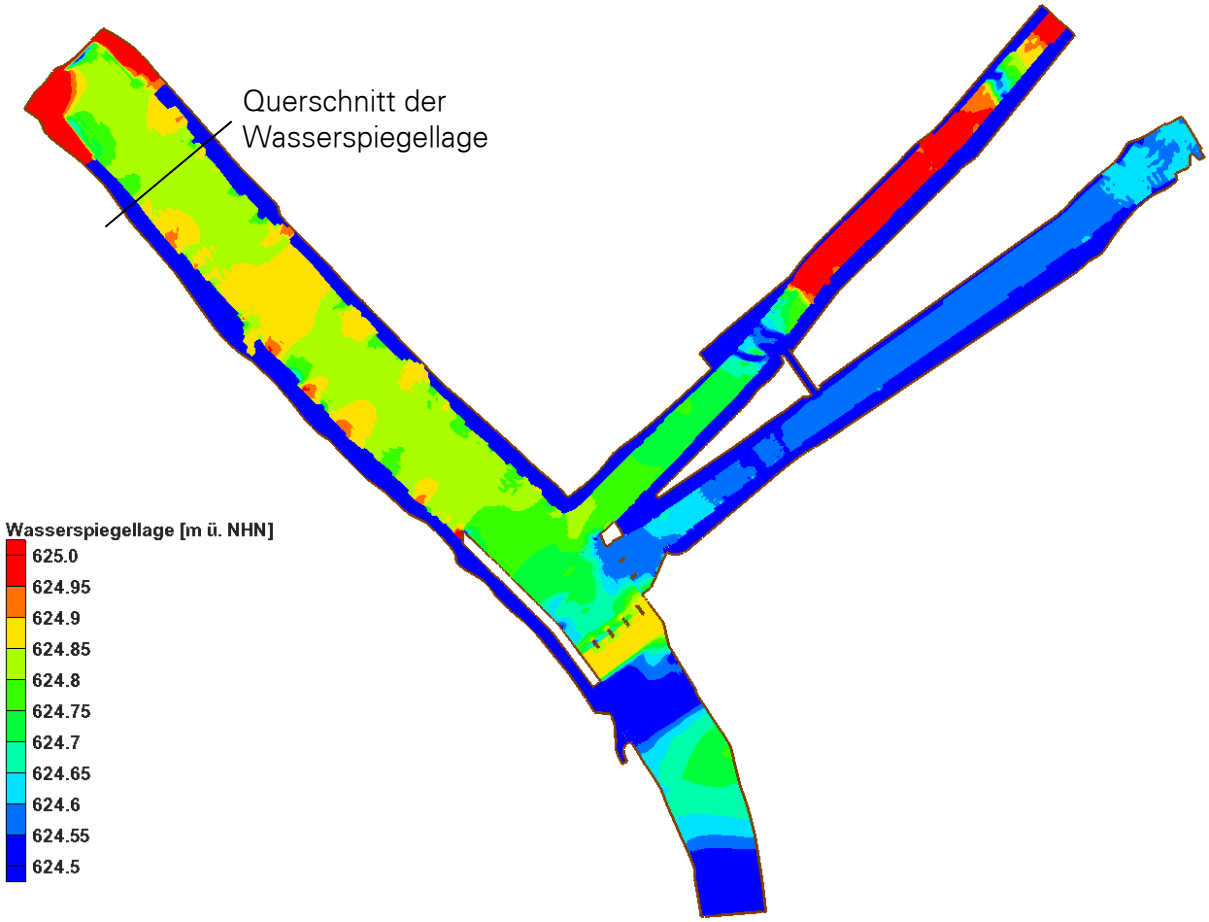


Abbildung 4.1 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei HQ_2

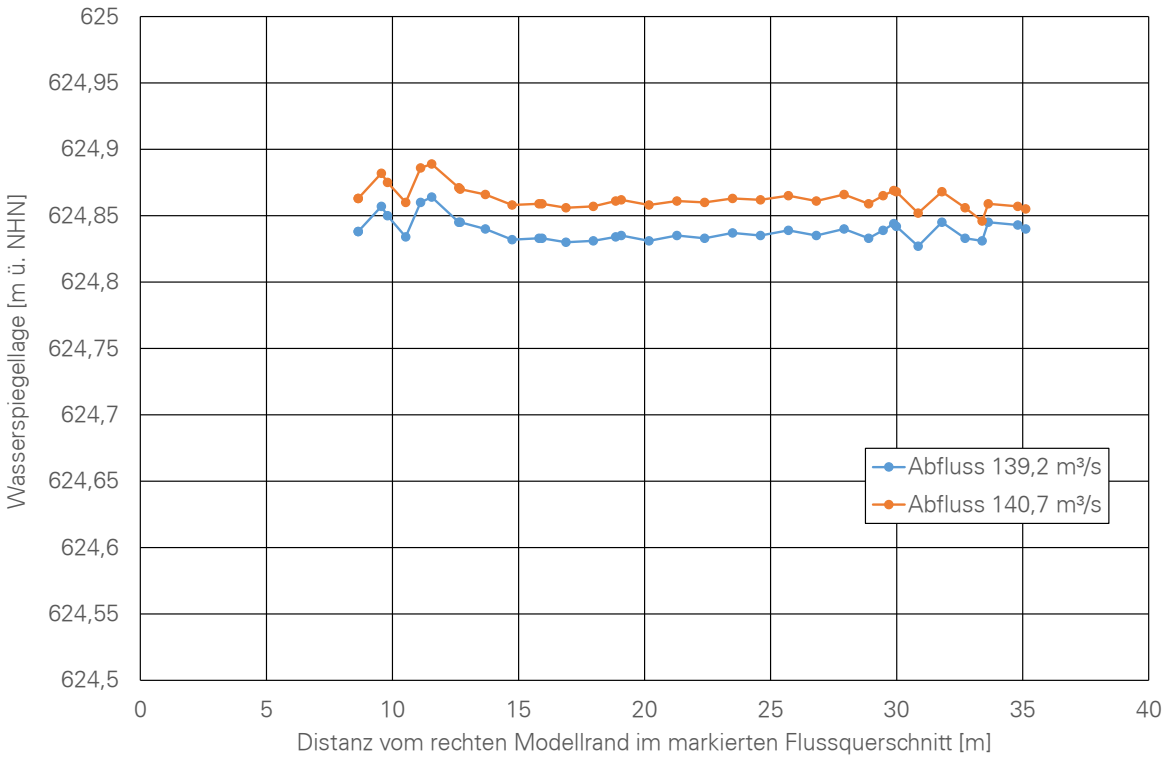


Abbildung 4.2 Wasserspiegellagen am untersuchten Querschnitt bei verschiedenen Donauabflüssen

4.2 2-JÄHRLICHES HOCHWASSER HQ_2 MIT VERBINDUNGSKANAL

Bei der Simulation des zweijährlichen Hochwassers HQ_2 mit offenem Verbindungskanal zwischen Bära und Kraftwerkskanal (Zufluss Donau: 130 m³/s, Zufluss Bära: 14 m³/s) wurden der Ausbauabfluss der Wasserkraftanlage von 15,0 m³/s sowie alle Betriebseinrichtungen der geplanten Anlage berücksichtigt und das Donauwehr so gesteuert, dass sich vor dem Wehr im Mittel der geplante Oberwasserstand von 624,70 m ü. NHN einstellt. Bei den Abbildungen zur grafischen Auswertung ist zu beachten, dass sowohl an den äußeren Zuflussrändern (Donau, Bära, WKA) als auch an den inneren Randbedingungen – vor allem im Tosbecken des Donauwehrs aufgrund der Wehrsteuerung – systembedingt Unstetigkeiten bei den Berechnungsergebnissen eintreten, die jedoch keinen Einfluss auf den Kern der Fragestellung haben (siehe auch Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4).

Aufgrund des komplexen hydraulischen Systems am Gewässerknoten stellt sich keine gleichmäßige Beaufschlagung des Donauwehrs ein (Abbildung 4.5). Da auch die Wasserspiegellagen vor den Wehrfeldern unterschiedliche Beträge aufweisen, stellen sich folgende Beaufschlagungen ein: Wehrfeld links 26,6 m³/s, Wehrfeld Mitte links 31,9 m³/s, Wehrfeld Mitte rechts 35,7 m³/s sowie Wehrfeld rechts 33,6 m³/s. Dies entspricht im Mittel dem korrekten Wert von 31,95 m/s pro Wehrfeld. Und auch der Ausfluss der Donau von 129 m³/s zeigt, dass die Kontinuität des Systems gewahrt bleibt.

Die 2D-HN-Simulation zeigte im Bereich der Ausleitung, dass es durch die 180°-Umlenkung der Bära zu einer ausgeprägten Walzenbewegung an der Rechenanlage und im gesamten Konfusorbereich des Kraftwerkskanals kommt. Dabei wird nur auf ca. der Hälfte der Rechenanlage der gesamte Zufluss der Bära und ein kleiner zusätzlicher Teil Donauwasser in den Kraftwerkskanal eingeleitet.

Laut Berechnungsergebnis fließen durch den Verbindungskanal vom Kraftwerkskanal ca. 0,6 m³/s in Richtung Bära. Dabei treten Fließgeschwindigkeiten von unter 0,5 m/s (im Mittel 0,35 m/s) bei Wassertiefen von ca. 77 cm im nicht sedimentierten Bereich auf. Sowohl die Durchflussmenge als auch die Strömungsrichtung reagiert sehr sensibel auf die Abflüsse und Wasserstände der Bära und des Kraftwerkskanals – sind aber für die simulierten Hochwasserfälle stabil (siehe Abbildung 4.6). Der Verbindungskanal führt somit zu einem zusätzlichen Abfluss im Mündungsbereich der Bära und am Anfang des Kraftwerkskanals, der als weitere große Walzen- oder Zirkulationsströmung betrachtet werden kann. Diese Zirkulationsströmung wird durch den Geschiebeabweiser in der Bära sowie den kontinuierlichen Impulseintrag in Bära (Zufluss) und Kraftwerkskanal (Ausbauwassermenge) mit den in diesem Fall sehr ähnlichen Abflussmengen begünstigt.

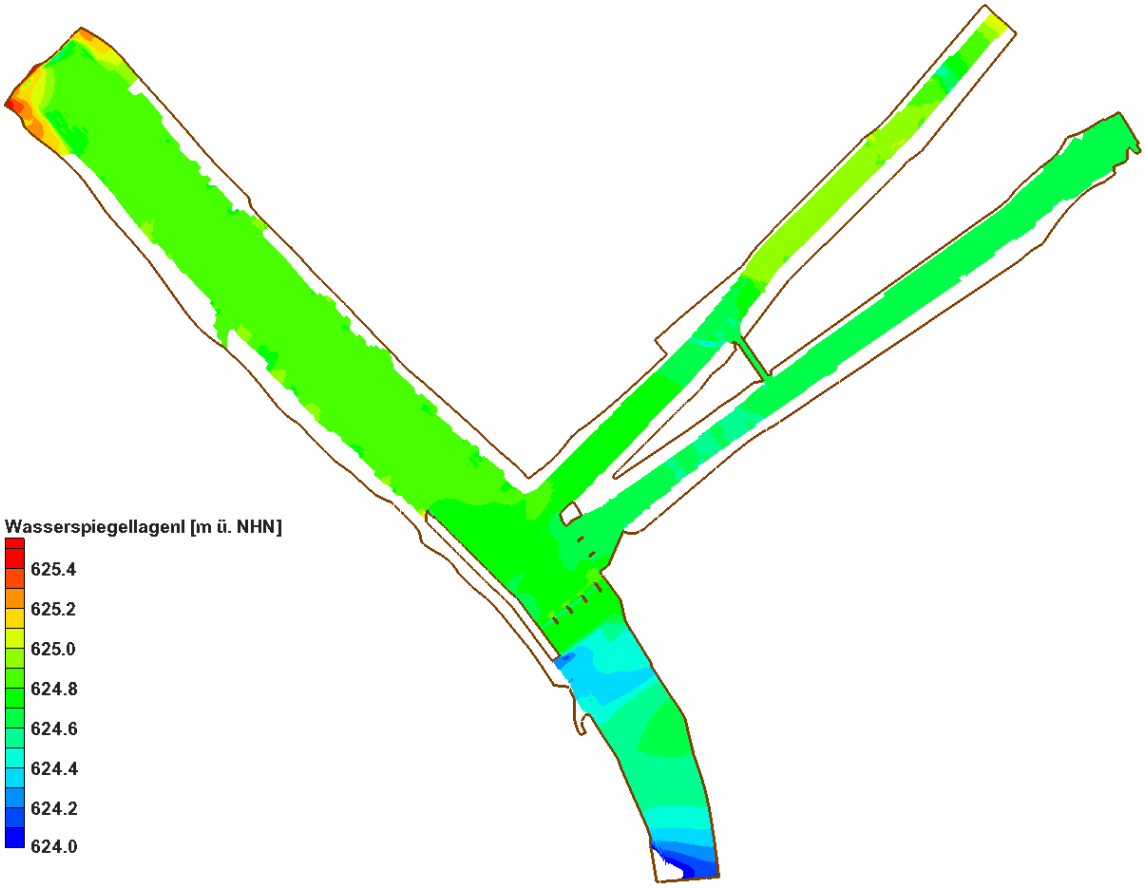


Abbildung 4.3 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei HQ_2

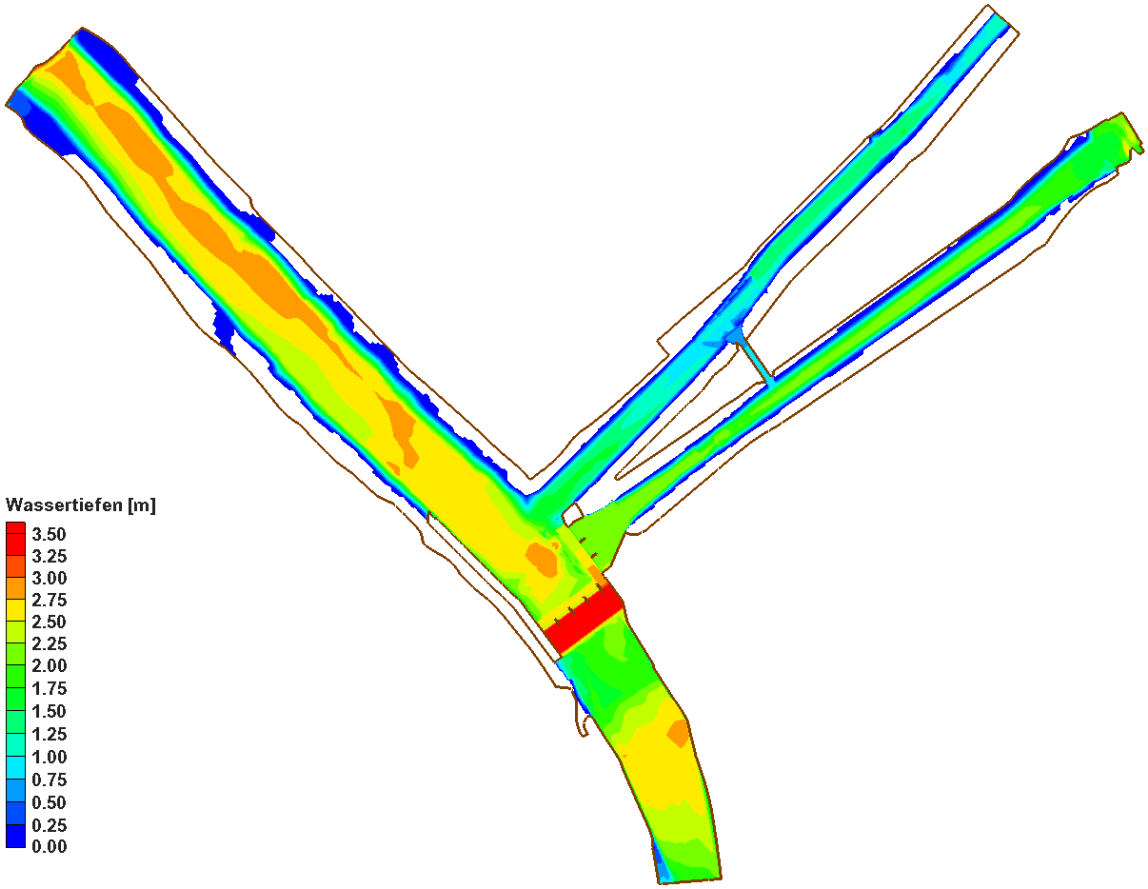


Abbildung 4.4 Wassertiefen in m im Untersuchungsgebiet bei HQ_2

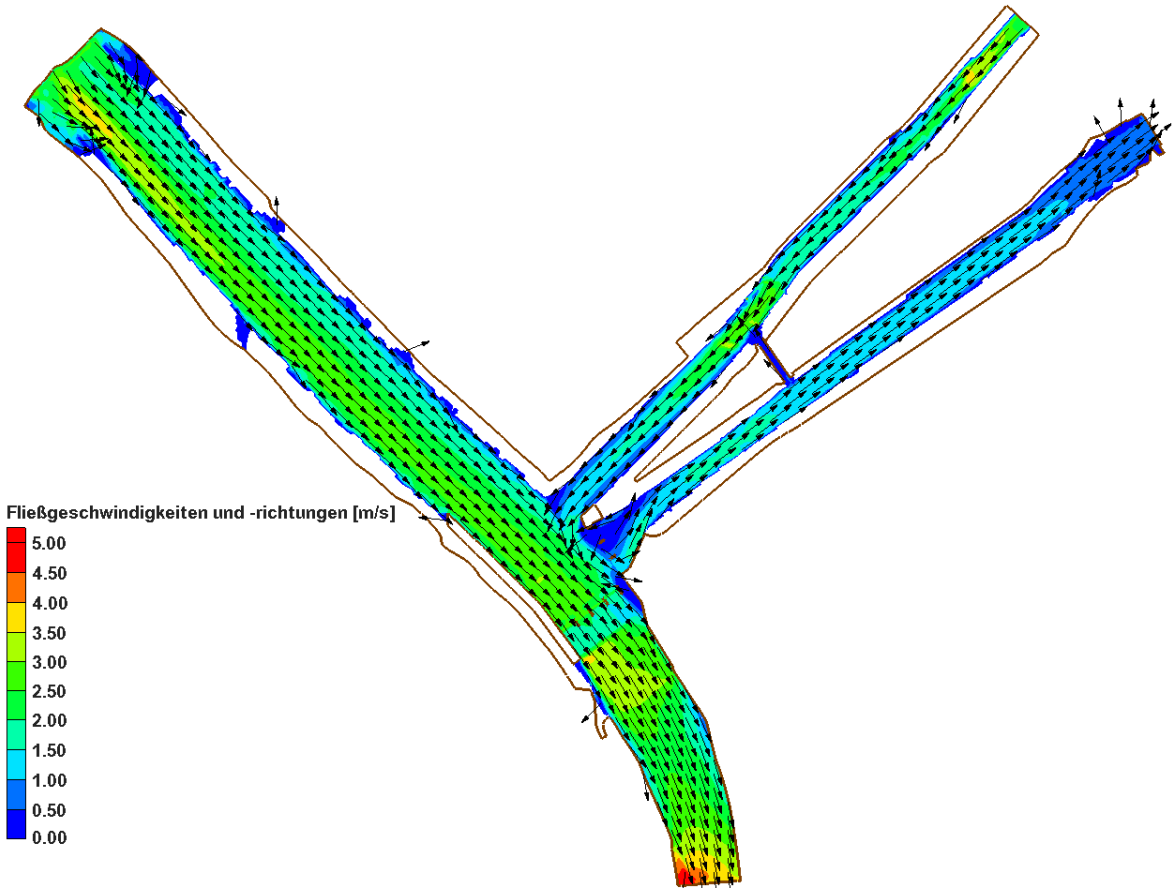


Abbildung 4.5 Fließgeschwindigkeiten in m/s im Untersuchungsgebiet bei HQ_2

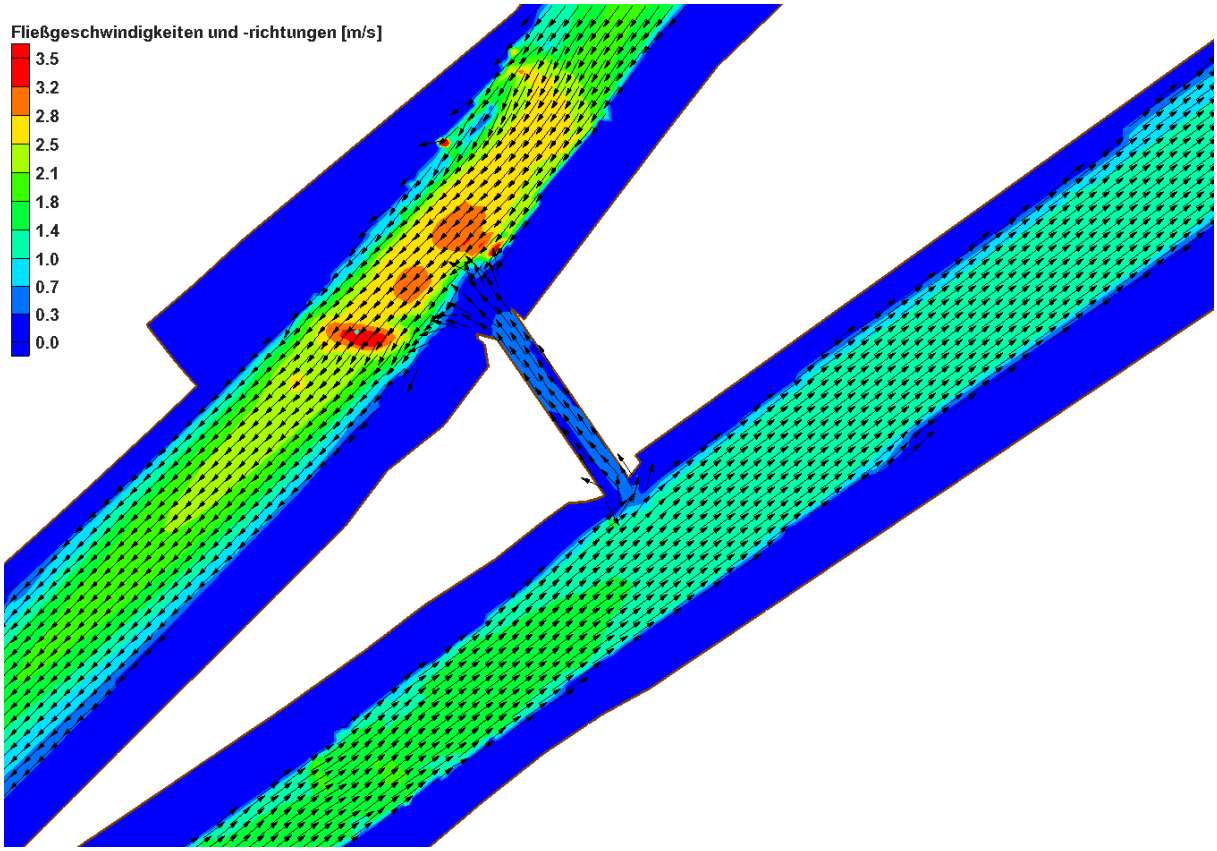


Abbildung 4.6 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2)

4.3 2-JÄHRLICHES HOCHWASSER HQ_2 OHNE VERBINDUNGSKANAL

Bei der Simulation des zweijährlichen Hochwassers HQ_2 ohne Verbindungskanal wurde im Vergleich zu Kapitel 4.2 die direkte Verbindung zwischen Bära und Triebwasserkanal als geschlossen angenommen. Alle anderen Randbedingungen blieben gleich. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass sich an den Strömungszuständen im Untersuchungsgebiet kaum Änderungen einstellen (siehe Abbildung 4.7 und Abbildung 4.8). Der direkte Vergleich der Wasserspiegellagen ergab nur im direkten Anschlussbereich des Verbindungskanals leichte Differenzen. Die weiteren punktuellen Unterschiede sind der instationären Simulationsmethode geschuldet und für die Fragestellung nicht relevant. Die Auswirkungen der Schließung des Verbindungskanals stellen bei Hochwasserabfluss also keine Verschlechterung der gesamten Strömungssituation dar.

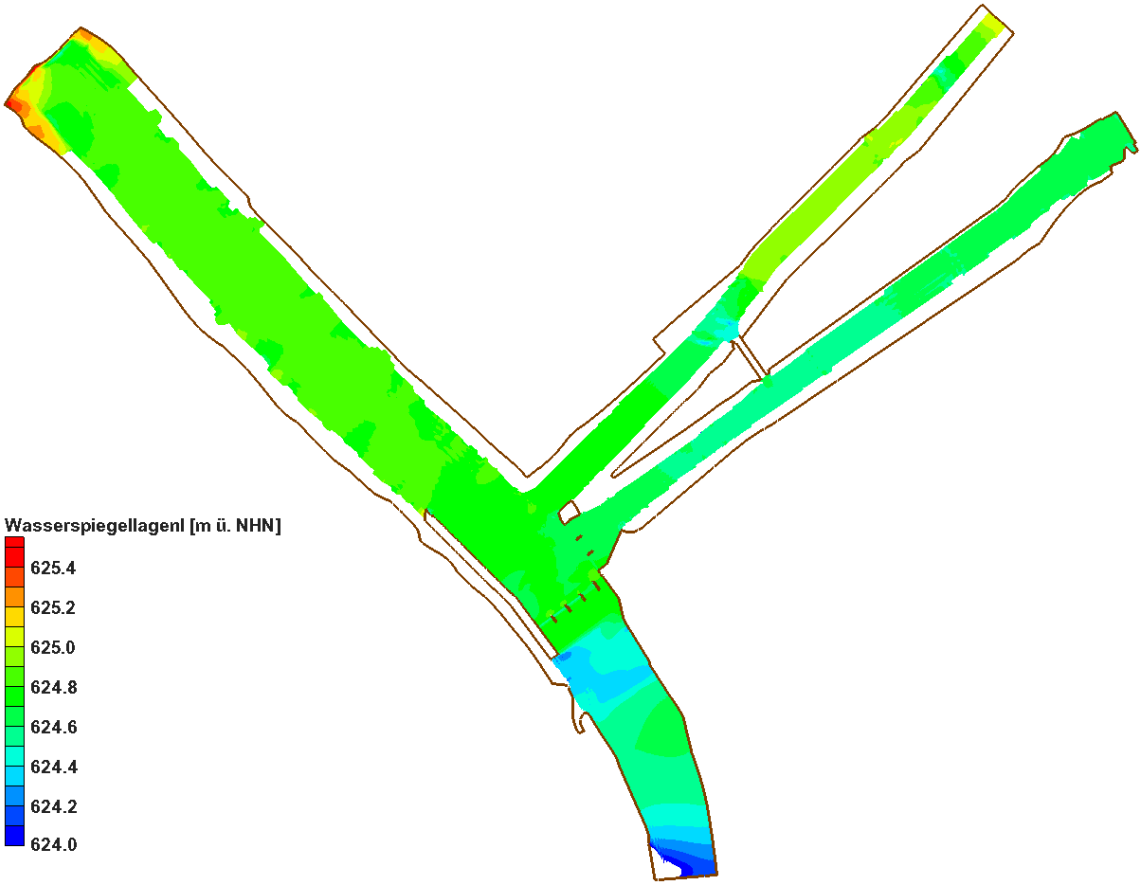


Abbildung 4.7 Wasserspiegellagen in m ü. NHN bei HQ_2 ohne Verbindungskanal

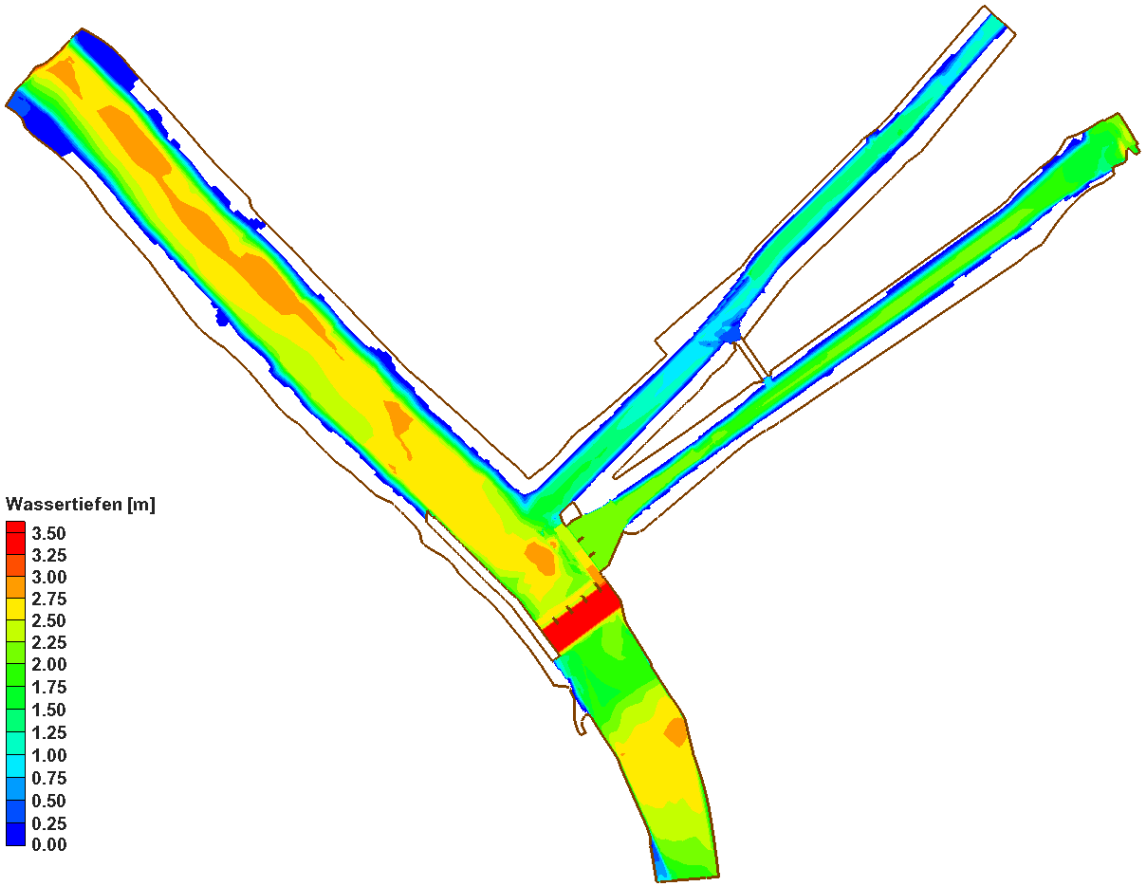


Abbildung 4.8 Wassertiefen in m bei HQ_2 ohne Verbindungskanal

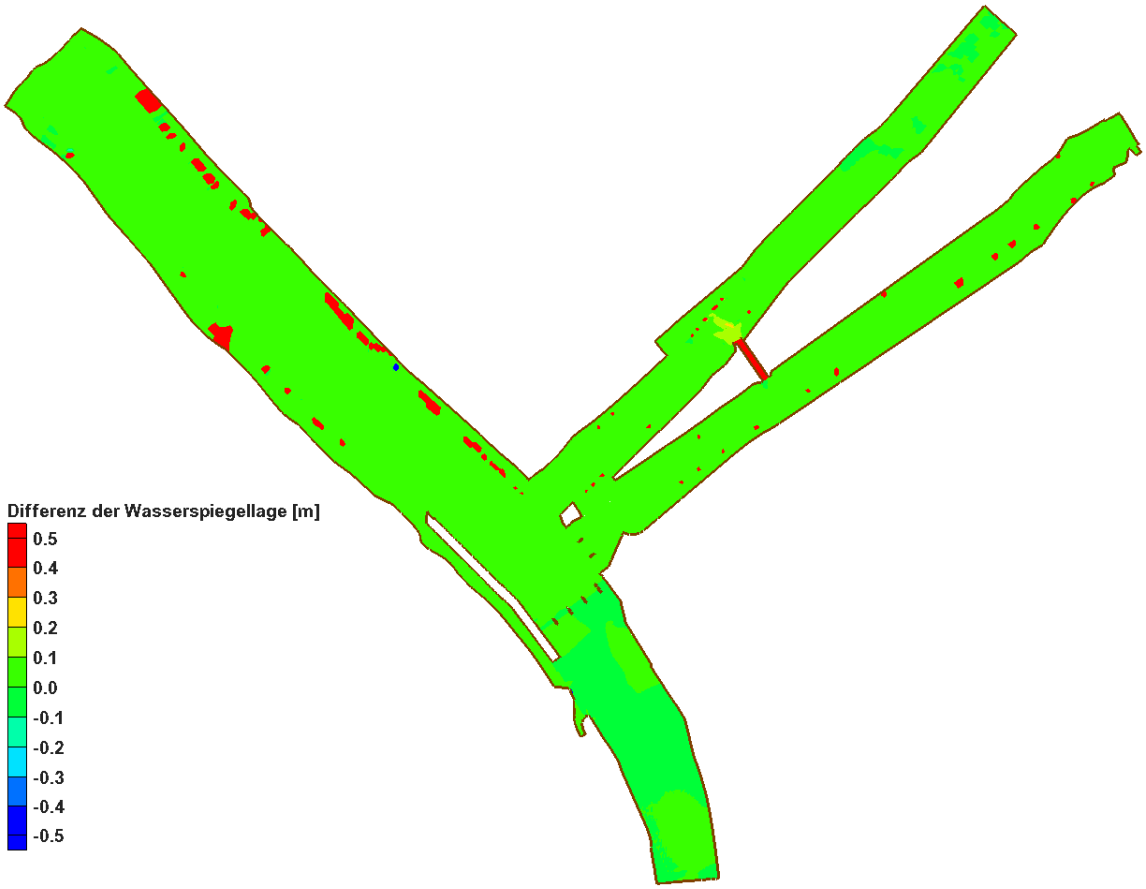


Abbildung 4.9 Differenz der Wasserspiegellagen [m] (HQ_2 mit – HQ_2 ohne Verbindungskanal)

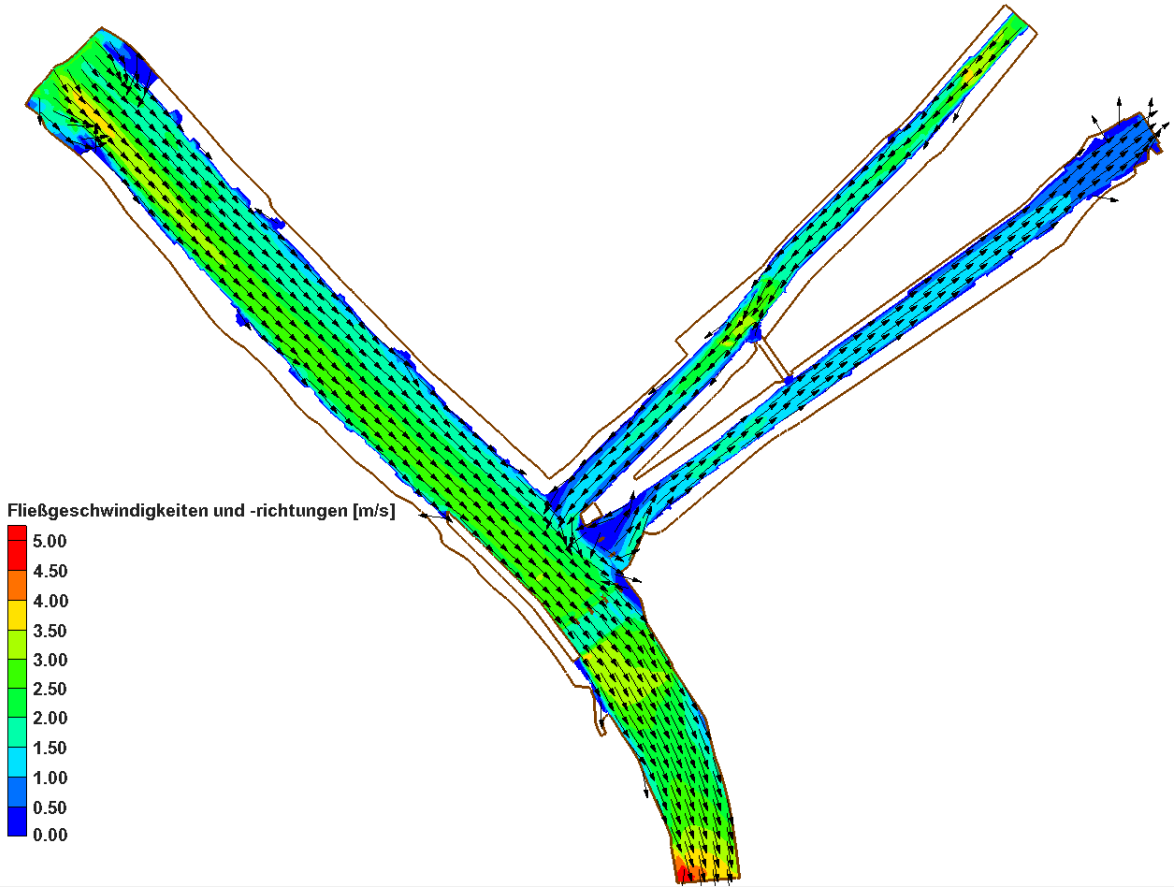


Abbildung 4.10 Fließgeschwindigkeiten in m/ bei HQ_2 ohne Verbindungskanal

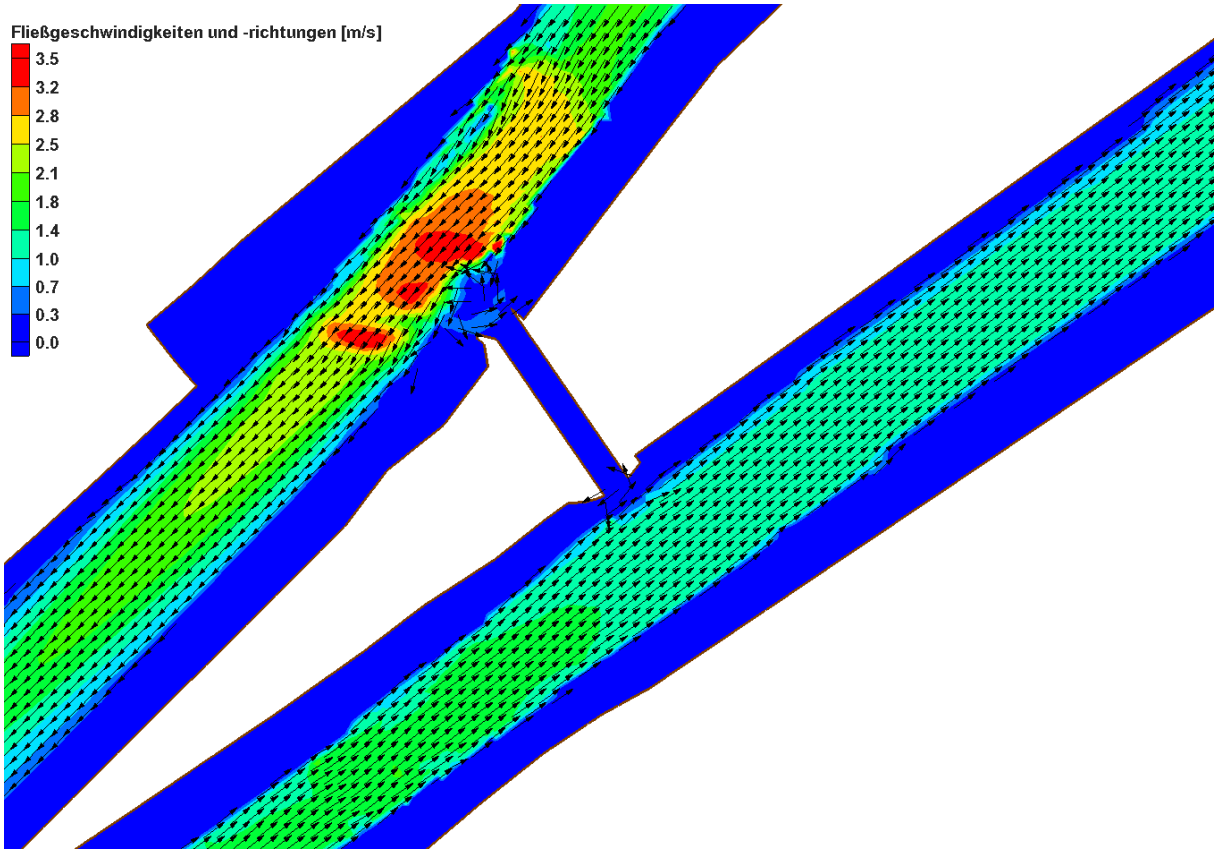


Abbildung 4.11 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2)

4.4 MITTLERES HOCHWASSER MHQ MIT VERBINDUNGSKANAL

Zur Verifizierung des bordvollen Abflusses sowie der Strömungssituation im Verbindungskanal wurde zusätzlich eine quasistationäre Simulation des mittleren Hochwasserabflusses MHQ (Zufluss Donau: 140 m³/s, Zufluss Bära: 15,7 m³/s) bei vollständig geöffnetem Wehr durchgeführt. Die Wasserspiegellagen aus Kapitel 4.1 konnten dabei bestätigt werden (siehe Abbildung 4.12). Im Verbindungskanal reduziert sich der Durchfluss auf ca. 0,4 m³/s in Richtung Bära, da hier das Energieliniengefälle zwischen Bära und Kraftwerkskanal bereits stärker zum Tragen kommt.

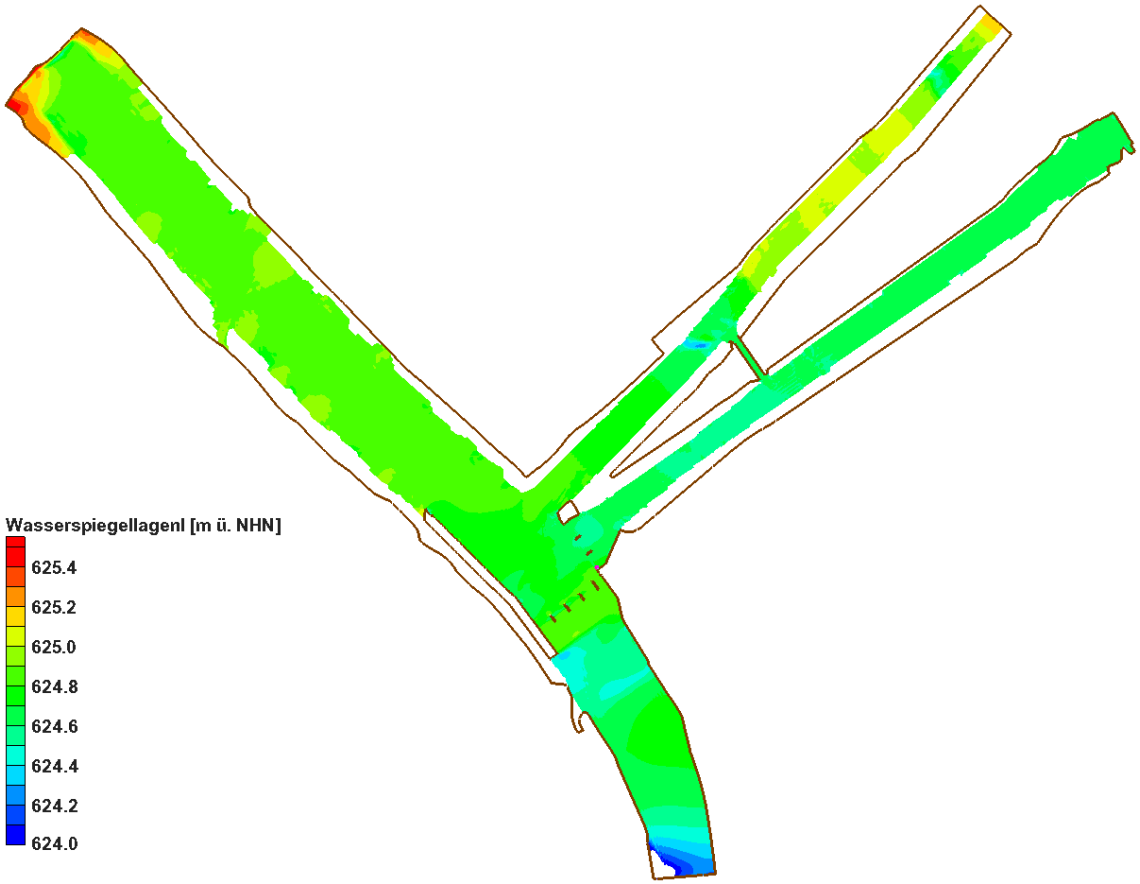


Abbildung 4.12 Wasserspiegellagen in m ü. NHN im Untersuchungsgebiet bei MHQ

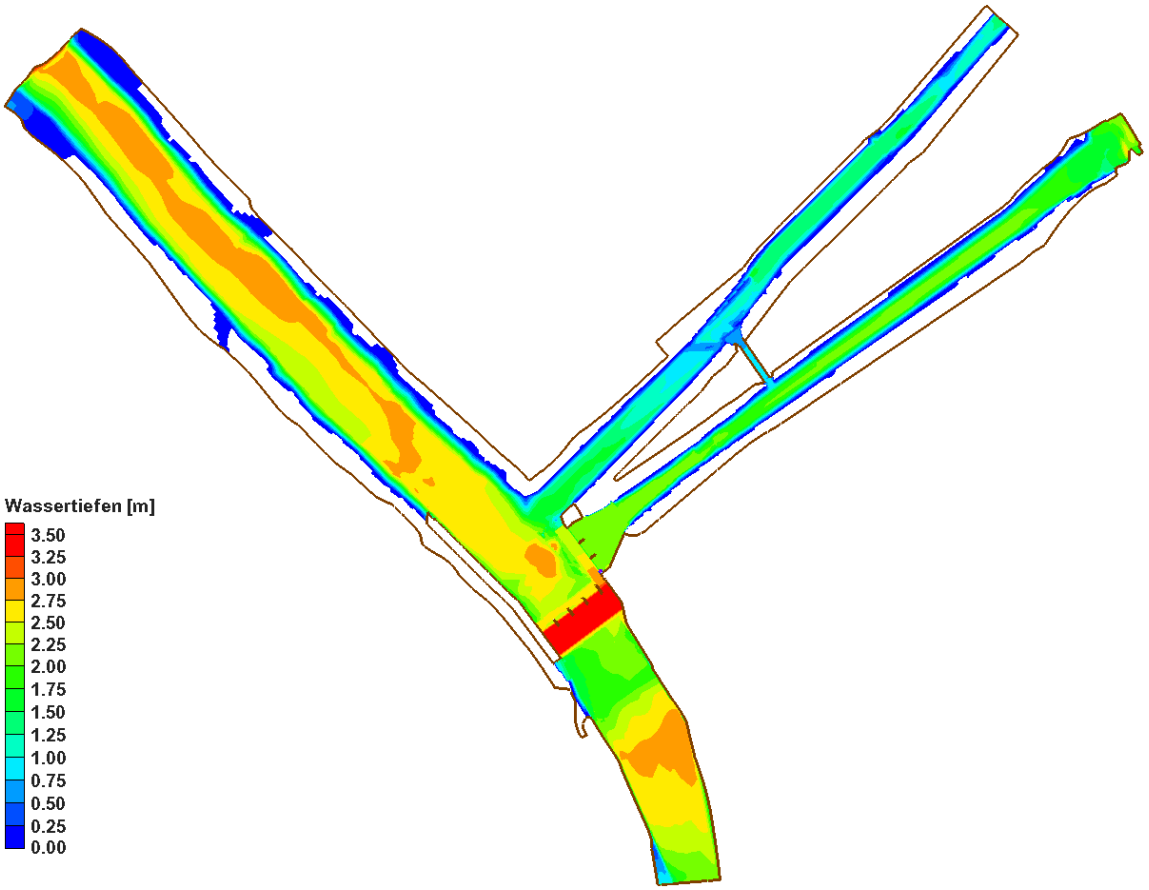


Abbildung 4.13 Wassertiefen in m im Untersuchungsgebiet bei MHQ

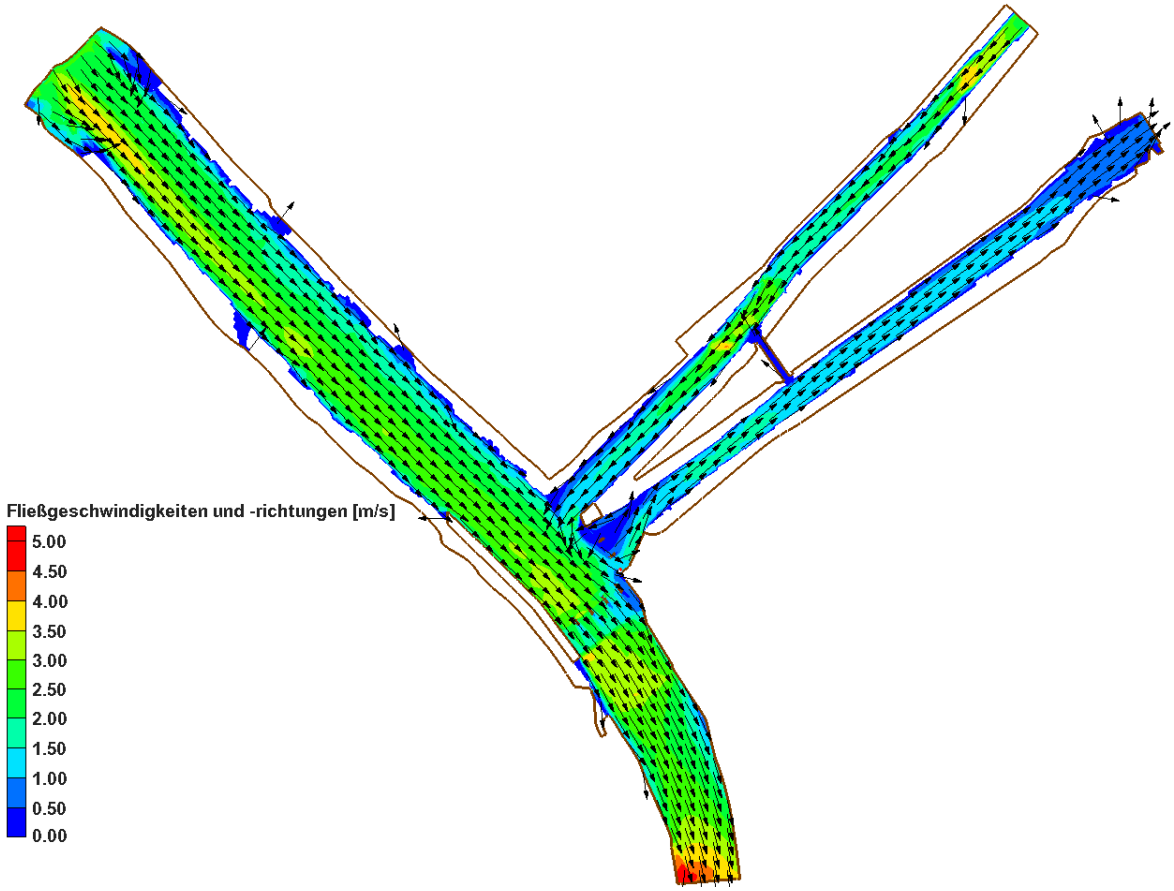


Abbildung 4.14 Fließgeschwindigkeiten in m/s im Untersuchungsgebiet bei MHQ

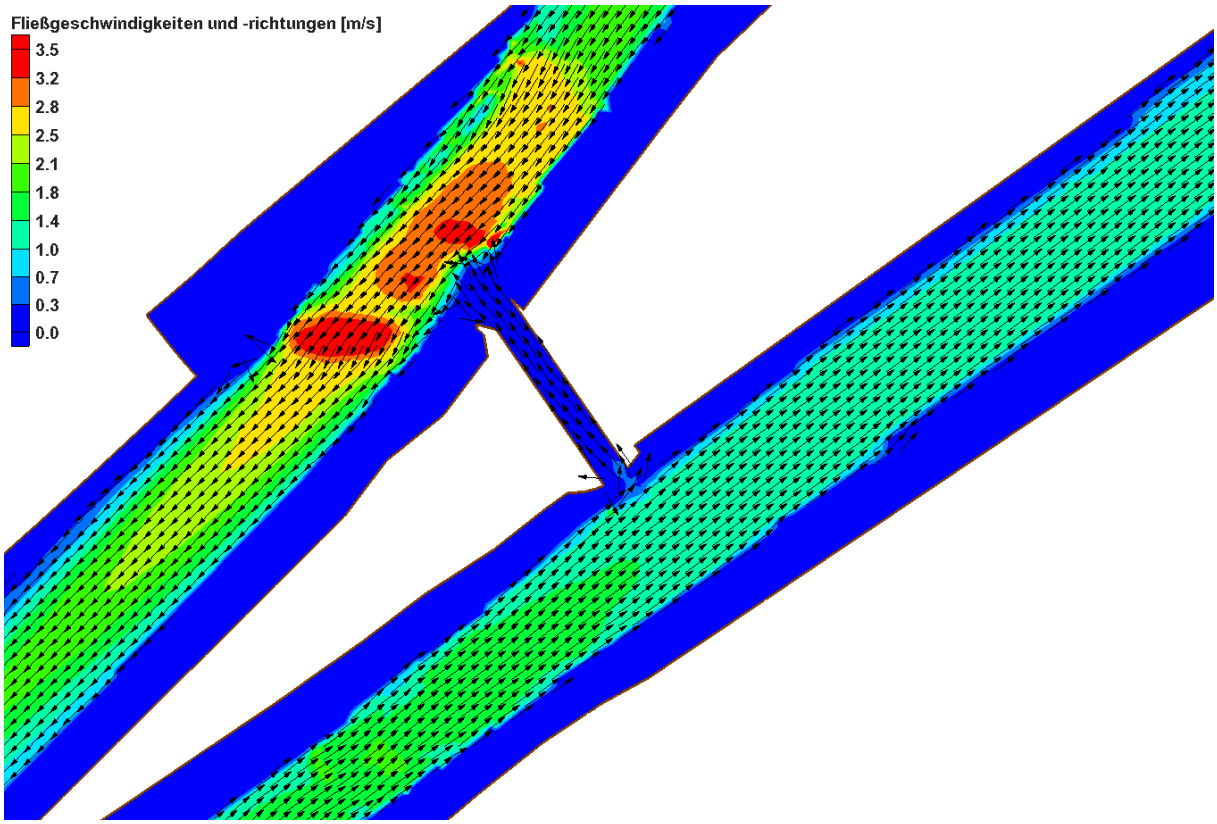


Abbildung 4.15 Fließgeschwindigkeiten (m/s) am Überleitungskanal (HQ_2)

5 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieses Projektes, welches eine Fortsetzung der in den Jahren 2011/2012 durchgeführten Untersuchungen zur „Hydraulische Analyse der Anströmbedingungen zur Wasserkraftanlage Fridingen“ verstanden werden kann, wurde untersucht, inwiefern der existierende Verbindungskanal zwischen Bära und Kraftwerkskanal der Wasserkraftanlage Fridingen (Donau) bei einer Modernisierung der Anlage im Hochwasserfall bei Normalbetrieb Einfluss auf den Abfluss der Bära hat und welchen Abfluss der Donau die gesamte Anlage ohne Ausuferungen im Zuströmbereich des Modells abführen kann.

Das Abführen von Hochwasserabflüssen mit geringen Wiederkehrintervallen (z. B. 2-jährliches Hochwasser) ist ohne Überschreitung der geplanten Betriebswasserstände durch Steuerung der geplanten Wehranlage möglich. Ausuferungen sind oberwasserseitig des vollständig geöffneten Donauwehrs erst über einem Zufluss der Donau von ca. 140 m³/s zu erwarten, bei dem die vermessene Gerinnehöhe von ca. 624,85 m ü. NHN überschritten wird. Höhere Abflüsse wie z. B. ein 20-jährliches Hochwasser (BHQ_1 nach DIN 19700-13) wurden mit dem Modell nicht betrachtet, da aufgrund der vorhandenen Modellgrenzen ein natürlicherweise auftretendes Ausufern der Donau auf die großen Vorlandbereiche in diesem Modell nicht abbildbar ist und es somit zu unrealistisch hohen Wasserspiegellagen führen würde.

Die Betrachtung des Verbindungskanals ergab bei den untersuchten Abflüssen einen Durchfluss von 0,6 m³/s bei HQ_2 bzw. 0,4 m³/s bei MHQ vom Kraftwerkskanal in die Bära. Dieser Abfluss muss als Zirkulationsströmung über den Mündungsbereich der Bära und die Ausleitung des Kraftwerkskanals betrachtet werden, die in ihrem Wirkungsbereich den Abfluss leicht erhöht. Der Verbindungskanal stellt bei Hochwasserabflüssen mit geringen Wiederkehrintervallen und sich im Betrieb befindlicher Wasserkraftanlage also keine Entlastung dar.